



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS I - CAMPINA GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ROSILENE BARROS GOMES

TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
ORGÂNICOS DOMICILIARES: ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS,
QUÍMICOS E SANITÁRIOS

CAMPINA GRANDE-PB

2022

ROSILENE BARROS GOMES

**TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS
DOMICILIARES: ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS E
SANITÁRIOS**

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.

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e Resíduos

Área de concentração: Engenharia Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Valderi Duarte Leite

Coorientadora: Profa. Dra. Monica Maria Pereira da Silva

CAMPINA GRANDE-PB

2022

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.

G633t Gomes, Rosilene Barros.
Tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares [manuscrito] : análise de parâmetros físicos, químicos e sanitários. / Rosilene Barros Gomes. - 2022.
107 p. : il. colorido.

Digitado.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2022.

"Orientação : Prof. Dr. Valderi Duarte Leite, Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental - CCT."

"Coorientação: Profa. Dra. Monica Maria Pereira da Silva, Coordenação do Curso de Ciências Biológicas - CCBSA."

1. Meio ambiente. 2. Biofertilizante. 3. Tratamento biológico. 4. Sustentabilidade. I. Título

21. ed. CDD 363.728 5

ROSILENE BARROS GOMES

**TRATAMENTO BIOLÓGICO AERÓBIO DE RESÍDUOS SÓLIDOS
ORGÂNICOS DOMICILIARES: ANÁLISE DE PARÂMETROS FÍSICOS,
QUÍMICOS E SANITÁRIOS.**

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.

Linha de pesquisa: Tecnologias de Tratamento de Água e Resíduos

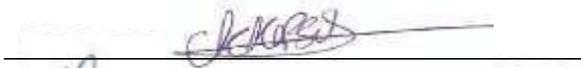
Área de concentração: Engenharia Ambiental

Aprovada em : 15 / 02 / 2022

BANCA EXAMINADORA

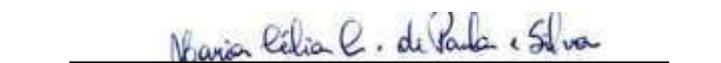


Prof. Dr. Valderi Duarte Leite UEPB
Orientador


Prof. Dra. Monica Maria Pereira da Silva
Coorientadora

Prof. Dra. Eliane de Andrade Araújo
Examinadora Externa


Prof. Dra. Livia Poliana Santana Cavalcante
Examinadora externa


Prof. Dra. Maria Célia Cavalcante de Paula e Silva
Examinadora Externa

Dedico este trabalho à minha mãe, Lúcia (*In memoriam*), mulher guerreira e de fibra que me ensinou a sorrir e ter fé mesmo nos momentos de dor. Sei que apesar de não estar presente fisicamente, ilumina os meus passos e orienta as minhas decisões. Espero um dia poder sentir novamente seu abraço quente e seu colo fofo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pela oportunidade de existir e guiar meus passos, iluminando-me e conduzindo-me pelos melhores caminhos.

Aos meus pais, Lúcia (*In memoriam*) e Manoel, por ser meu bem maior, pelo imenso amor, e confiança que sempre depositaram no meu caráter e no meu potencial profissional.

Aos meus irmãos, pelo simples fato de existirem e acreditarem nos meus sonhos, mesmo com as dificuldades que encontramos no caminho, vocês, em momento algum, fizeram com que eu me sentisse sozinha no mundo. Amo vocês de forma incondicional.

Aos meus amigos “superpoderosos (as)” que me ajudaram a concluir essa pesquisa, sem vocês não teria conseguido. Meus sinceros agradecimentos: Ivanise, Fernando Luiz e Elaine Cristina.

A todo grupo *GGEA* (Grupo de Extensão e de Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental) pela partilha de conhecimentos, amizade, apoio, pelas alegrias, pelos momentos de diversão.

À Banca Examinadora, Profa. Dra. Lívia Poliana, Profa. Dra. Maria Célia e Profa. Dra. Eliane pela prontidão em aceitar o nosso convite. Terei muita satisfação em poder contar com as valiosas contribuições que poderão vir.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, a minha gratidão e o meu orgulho pelas lições aprendidas com os melhores (CAPES NOTA 4) dessa área tão linda e tão essencial.

A Profa. Dra. Karla Luna, por me aceitar e acompanhar no Estágio supervisionado. Meu agradecimento pela paciência, pela partilha de conhecimento, pelos ensinamentos para a vida. Obrigada Professora Karla!

Ao MEU ORIENTADOR, habilidoso, dedicado, ético, justo, crítico, firme e tão educado, tão agradável, tão comprometido com a sua profissão. Sigo com o orgulho de ter trabalhado sob a sua Orientação! Um lamento de não ter aproveitado por mais tempo os seus ensinamentos. Sigo motivada pelo seu exemplo de Professor e de Pessoa! Muito Obrigada, Professor Valderi!

A MINHA COORIENTADORA, Profa. Dra. Monica Maria, que tanto me ensinou, norteou, “aprumou”, esperou, corrigiu, esperou novamente, acreditou, teve a santa paciência e nunca desistiu de mim. Não tenho palavras para agradecer, sua presença foi fundamental em

minha vida. A senhora conseguiu resgatar a minha autoestima, mostrando-me que eu também sou capaz. Obrigada Professora Monica!

Por fim, aos que não mencionei, mas que de forma direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

“Dizem que antes de um rio entrar no mar, ele treme de medo. Olha para trás, para toda jornada que percorreu, para os cumes, as montanhas, para o longo caminho sinuoso que trilhou através de florestas e povoados e vê à sua frente um oceano tão vasto, que entrar nele nada mais é do que desaparecer para sempre. Mas não há outra maneira. O rio não pode voltar. Ninguém pode voltar. Voltar é impossível na existência. O rio precisa aceitar sua natureza e entrar no oceano. Somente ao entrar no oceano o medo irá se diluir, porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano, mas de se tornar o oceano”. **Khalil Gilbran**

RESUMO

A produção de resíduos sólidos orgânicos domiciliares quando não tem destino adequado representa riscos à saúde ambiental e humana. Riscos similares aos de serviços de saúde. Assim, o principal objetivo deste trabalho foi avaliar a influência temporal da temperatura na eliminação de ovos de helmintos no processo de compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. A pesquisa foi realizada no bairro Malvinas, em Campina Grande, Paraíba, Brasil. O método para determinar a composição das amostras foi o de quarteamento múltiplo. O sistema experimental foi formado por duas unidades de tratamento, denominadas de Unidade CAR e Unidade CPC; ambas as unidades foram monitoradas em triplicata. Cada unidade de tratamento constituiu-se por três reatores; cada reator recebeu 26,6 kg de resíduos sólidos orgânicos (80% de resíduos sólidos orgânicos e 20% de estruturantes). Os parâmetros analisados foram temperatura, teor de umidade, sólidos totais, sólidos totais voláteis, nitrogênio total, fósforo total, potássio, pH e ovos de helmintos. A temperatura foi aferida diariamente às 9 horas, em três pontos diferentes da massa do substrato. Em relação aos ovos de helmintos, constatou-se que a eliminação não dependeu unicamente de altos níveis de temperatura, mas de um conjunto de fatores sequenciados, como os níveis de temperatura superiores a 40 °C por no mínimo quatro dias, baixa umidade (< 50%), baixo percentual de matéria orgânica STV (< 53%ST)), pH alcalino (> 8,3). Observou-se redução significativa de ovos de helmintos, iniciando em 4,1 ovos/gST e no final do tratamento não foram encontrados nenhum ovo de helmintos e no composto orgânico produzido. Destaca-se que entre os helmintos avaliados, os ovos de *Ascaris lumbricoides* foram os mais resistentes. De acordo com os parâmetros físicos, químicos e sanitários, os compostos orgânicos resultantes das unidades de tratamento avaliadas, atenderam às exigências estabelecidas pela Instrução Normativa n° 25, de 23 de julho de 2009. Portanto, as unidades de tratamentos estudadas foram eficientes na sanitização dos resíduos sólidos orgânicos, contribuindo no processo de ciclagem dos nutrientes, e transformando problema ambiental em solução sustentável nos aspectos ambiental, social e econômico.

Palavras-chave: meio ambiente. Biofertilizante. variação de temperatura. tratamento biológico.

ABSTRACT

The production of solid organic waste at home when it does not have an adequate destination represents risks to environmental and human health. Risks similar to health services. Thus, the main objective of this work was to evaluate the temporal influence of temperature on the elimination of helminth eggs in the composting process of household organic solid waste. The research was carried out in the Malvinas district, in Campina Grande, Paraíba, Brazil. The method to determine the composition of the samples was multiple quartering. The experimental system consisted of two treatment units, called the CAR Unit and the CPC Unit; both units were monitored in triplicate. Each treatment unit consisted of three reactors; each reactor received 26.6 kg of solid organic waste (80% solid organic waste and 20% structurants). The parameters analyzed were temperature, moisture content, total solids, volatile total solids, total nitrogen, total phosphorus, potassium, pH and helminth eggs. Temperature was measured daily at 9 am, at three different points in the substrate mass. Regarding helminth eggs, it was found that elimination did not depend solely on high temperature levels, but on a set of sequenced factors, such as temperature levels above 40 °C for at least four days, low humidity (< 50 %), low percentage of organic matter STV (< 53%ST)), alkaline pH (> 8.3). There was a significant reduction in helminth eggs, starting at eggs/gST and at the end of the treatment, no helminth eggs and organic compost were found. It is noteworthy that among the helminths evaluated, the eggs of *Ascaris lumbricoides* were the most resistant. According to the physical, chemical and sanitary parameters, the organic compounds resulting from the evaluated treatment units met the requirements established by Normative Instruction No. 25, of July 23, 2009. Therefore, the studied treatment units were efficient in the sanitization of organic solid waste, contributing to the nutrient cycling process, and transforming an environmental problem into a sustainable solution in the environmental, social and economic aspects.

Keywords: environment. Biofertilizer. temperature variation. biological treatment.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Figura 1 | Estrutura das Unidades de Tratamentos da instalada na Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande – PB, Brasil..... | 53 |
| Figura 2 | Esquema das Unidades de Tratamento de polietileno cilíndrica (CPC), Campina Grande-PB..... | 53 |
| Figura 3 | Esquema das Unidades de Tratamentos de alumínio e aço inoxidável (CAR), Campina Grande- PB..... | 54 |
| Figura 4 | Prevalência de ovos de helmintos em Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares (RSO), gerados em ruas situadas do entorno da Comunidade Jesus Libertador, Malvinas, Campina Grande-PB, 2018..... | 62 |
| Figura 5 | Enterobactérias em Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares (RSO), gerados em ruas situadas do entorno da Comunidade Jesus Libertador, Malvinas, Campina Grande-PB. 2018..... | 64 |
| Figura 6 | Magnitudes dos valores médios de Temperatura registrados na Unidade de tratamento CAR..... | 66 |
| Figura 7 | Magnitudes dos valores médios de Temperatura registrados na Unidade de tratamento CPC..... | 67 |
| Figura 8 | Valores médios da variação temporal do Teor de Umidade (%ST) nas Unidades de Tratamento CAR e CPC..... | 68 |
| Figura 9 | Variação temporal dos valores do pH (%ST) do processo de compostagem das Unidades de tratamentos CAR e CPC..... | 69 |
| Figura 10 | Valores médios da variação temporal de STV (%ST) observados ao longo do processo de compostagem para as Unidades de Tratamento CAR e CPC | 70 |
| Figura 11 | Magnitude dos valores médios da diversidade dos ovos de helmintos para Unidade de tratamento CAR..... | 74 |
| Figura 12 | Magnitude dos valores médios da diversidade dos ovos de helmintos para Unidade de tratamento CPC..... | 75 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|------------------|---|----|
| Quadro 1- | Classificação dos resíduos sólidos de acordo com os riscos potenciais ao meio ambiente..... | 19 |
| Quadro 2- | Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos em diferentes países..... | 22 |
| Quadro 3- | Alternativas e objetivos para promover a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos..... | 26 |
| Quadro 4- | Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos em cidades brasileiras.... | 28 |
| Quadro 5- | Métodos e frequência dos parâmetros estudados no processo de compostagem..... | 56 |
| Quadro 6- | Fases identificadas nas unidades tratamentos CAR e CPC e condições que favoreceram a destruição de ovos de helmintos..... | 73 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|------------------|---|----|
| Tabela 1- | Características física, química e sanitária de resíduos sólidos orgânicos coletados em residências de moradores cadastrados no projeto de coleta seletiva. Campina Grande, Paraíba, Brasil..... | 58 |
| Tabela 2- | Valores médios referentes ao balanço de massa de CPC e CAR..... | 77 |
| Tabela 3- | Dados quantitativos das massas de biodegradação na concentração obtidos das diferentes unidades de tratamento CAR e CPC..... | 78 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|----------------|---|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABRELPE | Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| 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 | 15 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 17 |
| 2.1 | Geral..... | 17 |
| 2.2 | Específicos..... | 17 |
| 3 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 3.1 | Resíduos Sólidos; Conceito, Gerais e classificação..... | 18 |
| 3.2 | Problemas Oacionados Pela Falta de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos. | 31 |
| 3.3 | Qualidade Sanitária de Resíduos Sólidos Orgânicos | 33 |
| 3.4 | Organismos Patogênicos..... | 35 |
| 3.4.1 | <i>Ovos helmintos</i> | 35 |
| 3.4.2 | <i>Bactérias e Actinomicetos</i> | 37 |
| 3.5 | Tratamento Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos..... | 39 |
| 3.5.1 | <i>Relação C/N</i> | 40 |
| 3.5.2 | <i>Temperatura</i> | 41 |
| 3.5.3 | <i>Potencial Hidrogeniônico (pH)</i> | 43 |
| 3.5.4 | <i>Sólidos Totais Voláteis (STV)</i> | 44 |
| 3.5.5 | <i>Umidade</i> | 45 |
| 3.5.6 | <i>Granulometria</i> | 46 |
| 3.5.7 | <i>Mesoinvertebrados</i> | 47 |
| 3.6 | <i>Tratamento de Resíduos Sólidos Orgânicos e Legislação Ambiental</i> | 48 |
| 4 | MATERIAL E MÉTODOS..... | 51 |
| 4.1 | Caracterização da Pesquisa..... | 51 |
| 4.2 | Caracterização Geográfica de Área de Estudo | 51 |
| 4.3 | Etapas e Instrumentos de Coleta de Dados..... | 52 |
| 4.3.1 | <i>Contato com os participantes</i> | 52 |
| 4.3.2 | <i>Construção do Sistema Experimental</i> | 52 |
| 4.3.3 | <i>Monitoramento das Unidades de Tratamento Biológico Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares</i> | 54 |
| 4.3.4 | <i>Identificação e Quantificação de Ovos de Helmintos (Ovos/gST)</i> | 56 |
| 4.4 | Análise dos Dados..... | 56 |
| 4.5 | Considerações Éticas..... | 56 |
| 5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.1 | Características físicas, químicas e sanitárias de resíduos sólidos orgânicos domiciliares..... | 58 |
| 5.2 | Características sanitárias de resíduos sólidos orgânicos..... | 60 |
| 5.3 | Avaliação da influência temporal da temperatura no processo de compostagem em relação ao material carbonáceo, nitrogenado e parasitológico..... | 65 |
| 6 | CONCLUSÕES | 80 |
| | REFERENCIAS | 82 |
| | APÊNDICE A – Informativo/ convite..... | 100 |
| | ANEXO A-Comissão nacional de ética em pesquisa..... | 101 |
| | ANEXO B-Termo de Consentimento e Livre Esclarecimento..... | 103 |
| | ANEXO C – Termo de Autorização Institucional | 105 |
| | ANEXO D -Termo de Compromisso do Pesquisador Responsável..... | 106 |
| | ANEXO E - Folha de Rosto para Pesquisa envolvendo Seres Humanos | 107 |

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos países com mais de 200 milhões de habitantes que gera quantidade significativa de resíduos sólidos. Nesse contexto, a geração de resíduos sólidos, em especial daqueles advindos das atividades humanas, registrou-se por volta do ano 10.000 a.c, em que os seres humanos iniciaram a sua organização em grupo (LEITE *et al.*, 2009), cuja destinação final deveria receber tratamento de acordo com a legislação e soluções economicamente viáveis.

Com o advento da Revolução Industrial, passou a existir a formação de aglomerados urbanos, haja vista a dinâmica social e econômica instalada no seio da própria revolução. O lastro destas demandas foi sendo agudizado ao longo da história e com recrudescimento exploratório do sistema capitalista. Ainda hoje nos países periféricos estas demandas continuam perdurando intensamente (LEITE *et al.*, 2010).

No Brasil, em 2017 foram geradas em torno de 71,2 milhões de toneladas de resíduos sólidos, sendo os urbanos responsáveis por 52,5% desse total. Deste modo, a produção per capita diária de resíduos sólidos é estimada em 1 kg/hab. dia. Produzindo diariamente em média 210 mil toneladas, dos quais são coletados regularmente 172 mil toneladas (ABRELPE, 2017).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos produzidos pela população brasileira é constituída basicamente de matéria orgânica, papel, papelão, plásticos de diferentes fontes de produção, vidro, material ferroso e não ferroso e resíduos denominados de rejeitos (LEITE *et al.*, 2010).

Da população total do Brasil, estimada atualmente em 210 milhões de habitantes, 15% residem em áreas rurais e 85% nos centros urbanos, o que já representa um grande gargalo, em especial no que concerne às questões de infraestrutura as associadas ao Saneamento Básico (LEITE *et al.*, 2019). Cerca de 10% desses resíduos sólidos não são coletados e apenas 60% têm destinação adequada.

No geral, a fração mais representativa em termos quantitativos é a matéria orgânica putrescível, que é de 55% (percentagem em peso) e é detentora de capacidade total de utilização, tal quais as demais frações com exceção dos rejeitos que são resíduos (FIGUEIREDO, 2011).

Uma possível solução para contornar a destinação de tais resíduos é a compostagem. Esse processo estimula a decomposição da mistura de resíduos sólidos orgânicos, produzindo

uma matéria orgânica estabilizada, geralmente de cor escura, denominada húmus (MARGARITIS *et al.*, 2017).

A adoção de compostagem, no entanto, em escala residencial poderia, quando adotada por grande número de domicílios, ter efeitos significativos na redução da quantidade de resíduos sólidos orgânicos encaminhados aos lixões e aterros sanitários. Para tanto, os cidadãos precisam ter conhecimentos dessa problemática, como também a respeito da prática de compostagem. O tratamento biológico aeróbio é tecnicamente viável (LOUREIRO *et al.*, 2007; GUARDABASSIO, 2015), 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.

Os sistemas de tratamento de resíduos sólidos orgânicos podem ser estáticos ou móveis e centralizados ou descentralizados. Nestes sistemas podem ser adotados tratamentos aeróbios bem como processos físicos, químicos e biológicos (SILVA, 2016; SILVA, 2020). Esses sistemas são denominado de compostagem, em que acontece a decomposição aeróbia e a 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 (VALENTE *et al.*, 2009; WEI *et al.*, 2016). 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).

Considerando-se que o tratamento biológico aeróbio em sistemas descentralizados, móveis e com aeração mecânica pode promover a estabilização e a higienização da parcela orgânica que constitui os resíduos sólidos domiciliares, questiona-se: este tipo de tratamento favorecerá o aumento da temperatura, influenciando na eliminação de ovos de helmintos? Em que condições ambientais ocorrerão o aumento de temperatura? Quais serão os helmintos que apresentarão maior resistência ao longo do tratamento? Nestes sistemas haverá a redução da quantidade de rejeito e do tempo de estabilização da parcela orgânica?

Estes questionamentos constituem a hipótese de que o tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em unidades de tratamento descentralizados, móveis e com aeração mecânica atingirá níveis de temperatura que eliminarão ovos de helmintos e permitirão a redução do tempo de estabilização e da quantidade de rejeito.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

- ✓ Avaliar a influência da temperatura no tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, em especial no que concerne à eliminação de ovos de helmintos.

2.2 Específicos

- ✓ Identificar as características física, química e sanitária de resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados por uma amostra estatisticamente representativa da população residente no bairro Malvinas, na cidade de Campina Grande (PB).
- ✓ Avaliar a influência temporal da temperatura no processo de tratamento aeróbio biológico em relação ao material carbonáceo, nitrogenado e parasitológico.
- ✓ Analisar a qualidade nutricional e sanitária do composto produzido.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos; Conceito, Gerais e Classificação

Os seres humanos, em geral, consideram resíduos sólidos tudo aquilo que jogam fora e que não tem mais utilidade. Essa visão distorcida tem causado diversos impactos negativos ambientais, sociais e econômicos, como também sobre a saúde humana. Para o senso comum resíduo sólido é definido como lixo, no entanto, há conceitos e fins distintos. Segundo o dicionário Aurélio (2001) significa restos domésticos ou industriais; despejos, resíduos inaproveitáveis; tudo que não presta e se joga fora; sujeira, imundície; coisa ou coisas inúteis, sem valor; resíduos atômicos (conjunto de resíduos radioativos provenientes da fusão nuclear).

Pelo próprio conceito, depreende-se que trata de algo que não se quer ver nunca mais. Que quer se livrar radicalmente e de uma vez por toda. Por sua vez, a Norma Brasileira n.º 10.004/2004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) classificou os resíduos sólidos como aqueles provenientes de atividades industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola e de serviços de varrição.

Na Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei n.º 12.305/2010, a palavra lixo foi substituída pelo termo rejeito, sendo aquele que depois de exauridas todas as possibilidades de tratamento e recuperação, por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010), ou seja, em aterro sanitário.

O descarte desses resíduos não significa que ele não tem mais valor, mas que não é mais necessário para quem o descartou, contudo, a Lei n.º 12.305/10, conceitua-os como “todo material, substância, objeto ou bem descartado, resultante de atividades humanas em sociedade”. Existem grandes chances desses resíduos ainda serem úteis para outras pessoas, na sua forma original ou transformada. Por conseguinte, pode-se afirmar que os resíduos sólidos são diferentes de rejeitos. Estes não têm possibilidade economicamente viável de tratamento e recuperação.

A Lei n.º 12.305/10 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS.) prevê a prevenção e a redução na geração de resíduos sólidos, tendo como proposta a prática de hábitos de consumo sustentável e um conjunto de instrumentos para propiciar o aumento da reciclagem e da reutilização dos resíduos sólidos (aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado) e a destinação ambientalmente adequada dos rejeitos, aquilo que

não pode ser reciclado ou reutilizado (BRASIL, 2018). Essa legislação aborda a prevenção e a redução na geração de resíduos sólidos. Divide-os em categorias, considerando os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública.

Instituída em 2010, após 20 anos de discussões, a PNRS acompanha a evolução das políticas no exterior e impõe uma hierarquia para gestão e gerenciamento, a qual prevê a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (DEMAJOROVIC, 1995; BRASIL, 2010; HEBER; SILVA, 2014; DENMARK, 2016; MCINTOSH, 2016; MACHADO; SANTOS; COSTA-CRUZ, 2018).

Reduzir a quantidade de resíduos gerada pelas atividades humanas é uma estratégia para minimizar os custos de gerenciamento, bem como os impactos ambientais de tratamentos como a disposição em aterros sanitários. Não por acaso, a redução da geração é um dos objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (GOUVEIA, 2012; MAIELLO; BRITTO; VALLE, 2018; AGUIAR; PESSOA; EL-DEIR, 2019).

A ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2004) categoriza os resíduos sólidos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública em duas classes distintas: classe I e classe II. A classe II é subdividida em A (não inertes) e B (inertes), como está descrito, são classificados conforme os riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública (Quadro 1).

Quadro 1 - Classificação dos resíduos sólidos de acordo com os riscos potenciais ao meio ambiente.

| Descrição | Resíduos sólidos | | |
|---------------------------------|--|--|---|
| | Classe I | Classe II | |
| | Perigosos | A (Não inertes) | B (Inertes) |
| Características e Riscos | Em função de suas características de inflamável, corrosiva, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podem apresentar riscos à saúde pública, provocando ou contribuindo para o aumento de mortalidade ou de incidência de doenças. | Podem ter propriedades, tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água. | Submetidos a testes de solubilização não tem nenhum de seus constituintes solubilizados, em concentrações superiores aos padrões de portabilidade de águas, excetuando-se os padrões. |

Fonte: ABNT (2004)

Nesse sentido, a caracterização consiste em identificar os aspectos físico-químicos, biológicos, qualitativo e/ou quantitativo das amostras. De acordo com a caracterização dos

resíduos sólidos, pode classificá-los para a melhor escolha da destinação do mesmo, cumprindo-se a norma da ABNT NBR 10004/04 e a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010).

Neste viés, a gestão integrada de resíduos sólidos é uma importante ferramenta para alcançar uma sociedade com manejo ambientalmente correto desses resíduos. Deve-se 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 de consumo. Isso implica, conforme Margaritis *et al.* (2018) na utilização do conceito de gestão.

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 sólidos de uma cidade (PATIAS *et al.*, 2016).

A implantação de um Plano de Gestão trará reflexos positivos no âmbito social, ambiental e econômico, pois não só tende a diminuir o consumo dos recursos naturais, como proporciona a abertura de novos mercados, gera trabalho, emprego e renda, conduz à inclusão social e diminui os impactos ambientais negativos provocados pela disposição inadequada dos resíduos sólidos, conseqüentemente, melhora a qualidade desses resíduos, especialmente dos orgânicos que são direcionados à compostagem (ANDRADE; FERREIRA, 2011; SANTOS, 2016).

Quando os resíduos sólidos são acondicionados ou dispostos indevidamente acarretam impactos negativos sobre a saúde da população, como o desenvolvimento de agentes patogênicos responsáveis pela proliferação de diversas doenças, constituindo-se um problema de caráter sanitário à população urbana sem serviço de coleta domiciliar, à população adjacente e à população situada num raio próximo de lixões (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

A composição de resíduos sólidos urbano é muito heterogêneo, por serem resíduos domésticos ou industriais, de áreas pobres ou ricas. Assim, a falta de separação na fonte geradora dos resíduos sólidos, promove a contaminação da parcela reciclável (SILVA, 2019), potencializando os riscos sobre a saúde humana.

Em estudo realizado em área de lixão em um município paraibano, Lima *et al.* (2020, p. 70600) constataram “que o local de armazenamento e de disposição final de resíduos sólidos tornou-se um ambiente propício à proliferação de vetores e de outros agentes transmissores de doenças”.

Esses vetores têm a capacidade de se multiplicar rapidamente, devido a disponibilidade de alimento, facilidade de abrigo, umidade e temperatura adequada. Como carregam, em seus corpos, organismos patogênicos, esses vetores têm sido responsáveis pela disseminação de várias doenças entre a população, sobretudo, àquela que vive junta ou próxima às áreas (CHAYB; KOZUSNY-ANDREANI, 2015).

A falta de atenção ou a omissão dos órgãos responsáveis pela gestão dos resíduos sólidos tem agravado ainda mais esta problemática. Embora exista alta cobertura da coleta de resíduos sólidos no Brasil, o Ministério do Meio Ambiente considera três tipos de segregações que busca a facilitação no processo da coleta seletiva: resíduos sólidos secos, constituído por materiais recicláveis; resíduos sólidos úmidos ou orgânicos, podas de árvores, folhas secas; e por último, os rejeitos que são os resíduos não recicláveis, compostos principalmente por resíduos de banheiros e outros de limpeza (BRASIL, 2016).

O desafio que se coloca é garantir a salubridade ambiental desde a geração até a disposição final adequada dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos; é promover a educação ambiental para todas as esferas da sociedade, estimular a responsabilidade compartilhada, garantir a participação popular e da vontade política, requerendo, por conseguinte, conhecimentos e empoderamento deste direito (MAIA *et al.*, 2015).

O cenário internacional vem apresentando preocupação com os resíduos sólidos, desde a geração, acondicionamento e disposição final adequada, a falta de gestão de resíduos alteram as condições ambientais, enquanto o destino adequado favorece a reintrodução da matéria prima no setor produtivo (SOUSA, 2018). Esse retorno dos resíduos sólidos ao setor produtivo, gera benefícios ao meio ambiente, à economia e à sociedade; ao mesmo tempo em que, menos materiais com potencial para serem reutilizados e reciclados estão sendo encaminhados aos aterros sanitários, reduzindo a sua vida útil (MACHADO; SANTOS; COSTA-CRUZ, 2018).

O avanço da gestão integrada de resíduos em países desenvolvidos tem representado grande valorização dos resíduos sólidos, como mostram os dados apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 - Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos em diferentes países.

| Pais | Alternativa aplicada | Resultados | Fonte |
|------------|---|--|--|
| Alemanha | <ul style="list-style-type: none"> - Coleta, triagem e tratamento dos resíduos; - Geração de biogás e incineração; - Reciclagem de resíduos de construção civil; - Incentivo a compostagem domiciliar; - Compostagem de resíduos arbóreos. | <ul style="list-style-type: none"> -Coleta média de 70 mil toneladas de vidro por ano; - 50% dos resíduos sólidos são reciclados; - Uso de concreto reciclado nas construções públicas. | Schulze (2016) |
| China | -Incineradores de leito fluidizado circulante, mais adequado para o seu tipo de resíduos. | <ul style="list-style-type: none"> - Praticamente todo o RSU tem como destino aterros sanitários ou incineradores. - 2,2 % desses resíduos recebem algum outro tipo de tratamento. | Waste Atlas, (2018) e Wei <i>et al.</i> (2017) |
| Dinamarca | <ul style="list-style-type: none"> - Coleta seletiva na fonte geradora; - Reciclagem e reutilização; - Incineração dos rejeitos; - Aterro em último caso. | <ul style="list-style-type: none"> - País da União Europeia que promove a reciclagem de resíduos coletados; - 61% dos resíduos são reciclados ou reutilizados; - 6% são depositados em aterros sanitários; - 29% dos resíduos sólidos são incinerados. | Denmark (2013) |
| França | <ul style="list-style-type: none"> - Coleta, triagem, tratamento dos resíduos; - Incentivo à reciclagem; - Gestão de resíduos de embalagens é realizada pelas indústrias e entidades licenciadas. | - Reciclagem média de 62.7% de vidro; 22.5% de plástico; 86.9% papel; 60.2% metal e 18% de madeira. | Cabral <i>et al.</i> (2014) |
| Inglaterra | <ul style="list-style-type: none"> - Regulação e apoio financeiro a programas de ação voltados para resíduos sólidos; - Fechamento de 130 aterros sanitários para a instalação de tratamentos alternativos: sistemas de compostagem, geração de biogás. | <ul style="list-style-type: none"> - 43% dos resíduos sólidos urbanos são reciclados e compostados; - Redução de 71% dos resíduos destinados a aterros sanitários. - Digestão anaeróbia de 7% dos resíduos orgânicos para aproveitamento energético. | Mcintosh (2014) |

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Os países mais desenvolvidos são apontados como os maiores geradores de resíduos sólidos, considerando o poder aquisitivo, no entanto, a partir do processo de globalização, que se iniciou por volta da década de 1980, novas tecnologias e a prática do comércio

internacional começaram a ser difundidas. Os países em desenvolvimento passaram a ter acesso aos bens de consumo de tecnologia de ponta, tendo como consequência o início de uma curva crescente da geração de resíduos sólidos (BARROS, 2015). Segundo Torres *et al.* (2015), o problema relacionado aos resíduos sólidos torna-se cada vez mais um desafio.

Um estudo da Universidade das Nações Unidas (UNU) revelou que os volumes de resíduos sólidos gerados no mundo podem crescer até 50% na próxima década, atingindo 48 milhões de toneladas em 2017, dos quais 4,5 milhões de toneladas seriam originadas da América Latina (BERNAL *et al.*, 2015).

De acordo com Kushwaha *et al.* (2016), um típico sistema de gestão de resíduos sólidos nos países em desenvolvimento mostra uma matriz de problemas, incluindo baixa cobertura de coleta ou coleta irregular, disposição final irregular e queima sem controle. Condições que não evitam ou mitigam os diferentes impactos negativos sobre o meio ambiente e sociedade humana, ressaltando que os resíduos sólidos de origem animal e vegetal são um dos principais recursos mais subutilizados.

Esses 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 (KIYASUDEEN *et al.*, 2016). 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 e o elevado nível de instrução (PARADELO *et al.*, 2012; ANDRADE; FERREIRA, 2011).

De modo geral, há uma semelhança entre os sistemas de gestão no contexto internacional, através dos quais, busca-se redução, reutilização, reciclagem, recuperação de energia e disposição final do rejeito no aterro sanitário. Estes objetivos são permeados pelos princípios básicos de reaproveitamento dos resíduos sólidos, de forma a reduzir a quantidade de materiais com potencial reciclável que se torna rejeitos (SOUSA, 2018), garantindo, dessa forma, o retorno ao setor produtivo enquanto matéria-prima.

Segundo Ibrahim e Mohamed (2016) a gestão integrada de resíduos sólidos não é uma prioridade por parte dos governos, repercutindo em problemas ao meio ambiente e de saúde pública. Essa visão, verificada nas legislações de diversos países, como Estados Unidos, Canadá e integrantes da União Europeia, estruturada no novo paradigma que se delinea

mundialmente - a valoração dos resíduos sólidos por meio de sua reinserção no mercado -, também é perceptível no escopo da PNRS.

Verifica-se que mesmo em países mais desenvolvidos, não há como obter impacto negativo zero. A exploração dos recursos naturais, o processo produtivo, o consumo e a consequente geração de resíduos sólidos são uma realidade da sociedade contemporânea. Entretanto, nos últimos anos, os resíduos sólidos que antes eram considerados um problema secundário, passaram a serem vistos com maior atenção, mas, um problema que pode ser transformado em solução como sugere e defende Silva (2020).

Leff (2001) argumenta que para obter o meio ambiente equilibrado como direito fundamental dos presentes e futuras gerações, é necessário fortalecer politicamente as comunidades, dotando-a de uma nova capacidade técnica, científica, administrativa e financeira para possibilitar a autogestão dos recursos de forma sustentável.

A gestão de resíduos sólidos tem sido uma ferramenta importante para minimizar os impactos negativos e a conseqüentemente, diminuição do estado de entropia e gastos públicos, contudo, Araújo (2018) explica que mesmos os sistemas de gestão integrada de resíduos sólidos aplicados nos países desenvolvidos apresentam problemas que necessitam serem superados, porém, os benefícios alcançados até o momento têm demonstrado a necessidade de continuar nesse caminho.

Conquistar os mesmos benefícios entre os países em desenvolvimento é um grande desafio, a exemplo do Brasil, um país desenvolvido, é imprescindível resolver problemas básicos relacionados aos resíduos sólidos, como o aumento da coleta e limpeza pública, desativação dos lixões, implantação da coleta seletiva e logística reversa, inclusão socioeconômica de catadores de materiais recicláveis, implementação de tecnologias sociais, sistemas de reciclagem e compostagem, inserção de programas e projetos em educação ambiental nas políticas públicas, empoderamento da população em relação à responsabilidade compartilhada e ao cumprimento das instruções administrativas e jurídicas (MANNARINO; FERREIRA; GANDOLLA, 2016; SILVA, 2016; SILVA 2020; SILVA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020a).

Nos últimos anos, por sua vez, houve crescimento de diferentes frentes que debatem alternativas para minimizar os impactos ambientais negativos no país. Após 20 anos tramitando no Congresso Nacional, foi sancionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída na Lei 12.305/2010, que apresenta a necessidade das cidades brasileiras adotarem um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos que compreenda diferentes ações para solucionar a problemática dos resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões políticas,

econômicas, ambientais, culturais e sociais, sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

A gestão inadequada de resíduos sólidos, em muitos municípios tem contribuído para incidência do acúmulo desses materiais em vazadouros a céu aberto, terrenos baldios, estradas, canais pluviométricos e corpos aquáticos por todo o país, o que representa entraves à implantação de programas de reciclagem e reutilização (KIYASUDEEN *et al.*, 2016).

No Brasil, o crescimento em várias formas de tomada de consciência, por meio de enriquecedores debates e discussões e, principalmente, um direcionamento de ações políticas e sociais. O fato, e que atualmente já se pode falar com segurança que existem formas e canais de participação da sociedade na condução de seu próprio destino e no exercício cada vez mais requisitado da cidadania (CASTRO; SALVADOR; BETTIOL, 2012; MAIA *et al.*, 2012; 2015; CARVALHO *et al.*, 2016; MANNARINO *et al.*, 2016).

Os debates em torno da geração e destinação final dos resíduos sólidos urbanos tem promovido uma nova percepção da população brasileira em relação essa problemática. Isso se deve a luta de diferentes atores engajados que participam dessa cadeia produtiva, contribuindo para alicerçar mudanças de hábitos entre os brasileiros.

Os estados, os municípios e o setor produtivo devem elaborar os seus planos de gestão dos resíduos sólidos, priorizando a implantação e a efetivação da coleta seletiva com a inserção dos catadores de materiais recicláveis e a construção de aterros sanitários para a disposição final dos rejeitos (BRASIL, 2010).

Alternativas e objetivos destacados na Política Nacional de Resíduos Sólidos para favorecer a gestão integrada de resíduos sólidos estão expostos no Quadro 3.

Quadro 3- Alternativas e objetivos para promover a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos

| Alternativa | Objetivo | Fonte |
|---|---|--|
| Educação Ambiental | <ul style="list-style-type: none"> - Promover a inserção da temática ambiental em todos os segmentos da sociedade; - Provocar mudança de percepção ambiental; - Sensibilizar a sociedade dos impactos causados. | Silva e Leite (2008); Santos <i>et al.</i> (2015); Araújo (2016); Faustino <i>et al.</i> (2020) e Freitas <i>et al.</i> (2020). |
| Coleta seletiva | <ul style="list-style-type: none"> - Proporcionar a separação dos resíduos sólidos na fonte geradora; - Favorecer a adoção do princípio de responsabilidade compartilhada. | Barros (2012); Maia <i>et al.</i> (2013); Silva (2016); Cavalcante (2017); Araújo (2018); Sousa (2018) |
| Destinação Catadores de materiais recicláveis | <ul style="list-style-type: none"> - Favorecer a inclusão social; - Reduzir os riscos físicos, químicos e biológicos inerentes ao exercício profissional de catadores de materiais recicláveis; - Desenvolver tecnologias sociais. | Cavalcante <i>et al.</i> (2015); Costa (2016); Costa (2016b); Silva (2016); Sousa (2018) e Silva (2020). |
| Reutilização | <ul style="list-style-type: none"> - Promover a reintrodução dos produtos no mercado; - Incentivar a qualificação de artesãos; - Geração de emprego e renda; - Fomentar a valorização econômica dos materiais recicláveis. | Silva (2007); ICLEI (2011); Barros (2012); Silva (2016; 2020) |
| Tratamento da parcela orgânica Compostagem | <ul style="list-style-type: none"> - Reduzir o aterramento da parcela orgânica; - Tratar os resíduos orgânicos de origem domiciliar; - Destruir os organismos patogênicos; - Gerar adubo estabilizado e higienizado; - Favorecer a recuperação de áreas degradadas por lixões. | Silva (2008); Gomes (2019); Heck <i>et al.</i> (2013); Nascimento <i>et al.</i> (2017); Araújo <i>et al.</i> (2017); Araújo (2018); Faustino <i>et al.</i> (2020); Silva (2016; 2020) e Silva <i>et al.</i> (2020) |
| Destinação final Aterro sanitário | <ul style="list-style-type: none"> - Possibilitar o aproveitamento de biogás; - Tratar o chorume; - Reduzir a emissão de gás metano na atmosfera; - Destinar corretamente os rejeitos. | Paro <i>et al.</i> (2008); ICLEI (2011); Silva (2016); Faustino <i>et al.</i> (2020) e Silva (2020). |

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

O reconhecimento dos resíduos sólidos enquanto matéria prima oferece oportunidade para inovação, crescimento social e econômico, desenvolvimento de novas tecnologias, participação e empoderamento popular, retorno desse material ao setor produtivo, redução dos impactos adversos sobre a saúde ambiental e humana (MCINTOSH, 2014).

Desse modo, foi publicada pela primeira vez na história brasileira, uma Lei diretamente voltada a problemática de resíduos sólidos. No dia 2 de agosto de 2010 foi sancionada, no Brasil, a Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305/2010, após duas décadas como foco de debates no Congresso Nacional.

As diferentes estratégias surgem como forma de traçar alternativas mais viáveis que visem à minimização dos danos ambientais, sociais, econômicos e sanitários que envolvem os resíduos sólidos, através da aplicação de um conjunto de ações sustentáveis, atendendo os princípios e objetivos da Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010). A regulamentação dessa Política promoveu um arcabouço legal para o manejo adequado dos resíduos Sólidos em todo o país, pois fornece diretrizes, objetivos, metas e instrumentos que favorecem a gestão integrada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010). Contrariamente, a legislação ambiental brasileira é composta por uma diversidade de leis, decretos e instruções administrativas e jurídicas que buscam a preservação e/ou conservação ambiental e a minimização dos impactos negativos ao meio ambiente e a saúde da população.

No que tange à problemática de resíduos sólidos, destaca-se a Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988), a Política Nacional de Meio Ambiente (BRASIL, 1981), a Lei de Crimes Ambientais (BRASIL, 1998), Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999), Estatuto das Cidades (BRASIL, 2001), Política Nacional de Saneamento Básico (BRASIL, 2007) e Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Os documentos mencionados revelam a preocupação do legislador infraconstitucional em alertar a sociedade, assim como, o Poder Público, para urgente implementação de ações voltadas a minimização dos problemas decorrentes da gestão inadequada dos resíduos sólidos. Além disso, chama a atenção para a responsabilidade compartilhada pelos resíduos sólidos, cabendo a cada fonte geradora dar destinação adequada aos resíduos gerados (MAIA et al., 2015).

Os esforços para reduzir a quantidade e melhorar a qualidade dos resíduos sólidos urbanos, tem propiciado conquistas no contexto nacional, como mostra o Quadro 4.

Quadro 4 - Modelo de Gestão integrada de resíduos sólidos em cidades brasileiras.

| Unidade da Federação (Estado) | Alternativa aplicada | Resultado | Fonte |
|-------------------------------|---|--|--|
| Bonito de Santa Fé/ PB | - Coleta seletiva em 100% dos bairros e um distrito na zona rural; - Calendário de coleta semanal. | - Renda de R\$ 5.372,00 com a venda de resíduos recicláveis; - Retorno de 20,23 toneladas de material reciclável de out/2012 a jan/2013. | Costa (2013) |
| Campina Grande/ PB | - Implantação da coleta seletiva na fonte geradora, bairro Malvinas; - Tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em escala experimental; - Realização de formação em Educação Ambiental de Líderes comunitários. | - Coleta de materiais recicláveis em 283 residências. - Estudos para implantação da coleta seletiva municipal. - Estabilização e higienização dos resíduos sólidos orgânicos, resíduos de flores e resíduos de folhas. | Nascimento (2015), Ribeiro e Silva (2015); Araújo <i>et al.</i> (2019) Silva <i>et al.</i> (2020; 2020a) |
| Curitiba/ PR | -Coleta seletiva na fonte geradora; - Coleta em ponto de troca; -Programa de coleta de resíduos domiciliares perigosos. | -Inclusão de catadores de materiais recicláveis. - 22% dos resíduos sólidos são recicláveis. | Moura (2014) |
| Lages/ SC | -Lixo Nosso de Cada Dia: projetos que contemplam a recuperação de áreas degradadas; -MTR: Plataforma online que coleta e compila dados sobre os resíduos gerados ou destinados no estado. | -Não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos; - estímulo à adoção de padrões sustentáveis de produção e consumo de bens e serviços. | Semmasp (2013) |
| Santo André/SP | -Coleta diferenciada de resíduos sólidos recicláveis. - 790 Pontos de coleta seletiva voluntária; - 16 Estações de reciclagem. | -Coleta de resíduos urbanos atendendo 100% dos cidadãos; - Retorno dos resíduos sólidos recicláveis à cadeia produtiva. | Guardabassio (2014) |
| São Gonçalo/RJ | -Coleta, transbordo e transporte dos resíduos sólidos. - Triagem dos resíduos sólidos recicláveis para fins de reuso ou reciclagem; -Tratamento da parcela orgânica por compostagem. - Disposição final de rejeitos em aterro sanitário. | -Reconhecimento do resíduo sólido como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. -Disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos. | King (2016) |

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Diante do inevitável crescimento das populações urbanas e suas demandas, é inadiável repensar a sustentabilidade das cidades, o que envolve o partilhar coletivo dos recursos e

espaços, de forma a garantir qualidade de vida plena a seus indivíduos. A gestão dos resíduos sólidos urbanos é um fator fundamental nessa nova concepção de cidade, todavia, se esses novos paradigmas, presentes nas legislações, não se traduzirem em mudanças no plano real da cidade, pouco se avançará em direção à gestão sustentável preconizada (GRIMBERG, 2017).

A gestão integrada de resíduos sólidos baseia-se em diversos princípios que possibilitam a sustentabilidade ambiental, econômica e social. Em virtude da necessária flexibilidade e especificidade das condições locais, a gestão integrada de resíduos não prescreve soluções generalistas: essa visão sistêmica deve ter base princípios que permitam o desenvolvimento de soluções adequadas e compatíveis em nível local (GUTBERLE et al., 2016).

Sabe-se que a problemática relativa à eliminação dos resíduos sólidos é 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. Para isso, é importante ter em mente as etapas que compõem um sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (MCINTOSH, 2016). A gestão dos resíduos sólidos deve ser planejada com criação de conteúdos mínimos, como o aproveitamento energético dos resíduos orgânicos, a eliminação e recuperação de lixões, contemplando metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem e mecanismos de fiscalização e de controle (BRASIL, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos–PNRS (BRASIL, 2010), os estados, municípios e o setor produtivo devem elaborar seus planos de gestão dos resíduos sólidos, priorizando a implantação e a efetivação da coleta seletiva com a inserção socioeconômica dos catadores de materiais recicláveis, a responsabilidade compartilhada através da logística reversa, o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos por compostagem e a criação de aterros sanitários para a disposição final dos rejeitos.

Na cidade de Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil, a Política Municipal de Resíduos Sólidos, instituída por meio da Lei Complementar 087, de 12 de junho de 2014 (CAMPINA GRANDE, 2014), resultou de intenso movimento de diferentes segmentos sociais que através de conferências, fóruns, seminários, audiências e sessões públicas e grupos de trabalhos pressionaram os poderes públicos locais a tomar decisão em relação à problemática que abrange os resíduos sólidos (SILVA, 2020a).

Essas ações têm início na coleta de resíduos sólidos recicláveis secos diretamente da fonte geradora (domicílios horizontais e verticais, dentre outras fontes) e estendem-se até a reintrodução desses materiais no setor produtivo, as indústrias. Essas etapas compreendem a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (GIREs), defendida por vários autores como principal

alternativa para reverter a problemática mencionada ao longo deste trabalho (MAIA *et al.*, 2015; SOUZA; SILVA; BARBOSA, 2014; BARROS; SILVEIRA; 2019; CAMPOS; ALVES, 2019; VIEIRA *et al.*, 2019; ROSA; STEDILE. 2020; SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2020; SILVA *et al.*, 2020a).

O Projeto Recicla Campina, uma das ações que contempla o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Campina Grande (CAMPINA GRANDE, 2014), segundo Silva (2020), embora anteriormente desenhado, pensado e debatido entre os distintos setores da sociedade, não atingiu os objetivos e metas previstas no plano municipal em direção à gestão integrada de resíduos sólidos, entretanto, foi um passo importante dado pelos gestores públicos, uma vez que a coleta seletiva diferenciada está ocorrendo em quatro bairros duas vezes por semana e são os catadores de materiais recicláveis organizados em cooperativas e associações que estão recolhendo a parcela reciclável seca diretamente da residência. Acredita-se que a pressão da sociedade logrará êxito no sentido de que as demais ações sejam postas em prática.

A integração de catadores de materiais recicláveis deve promover, principalmente, a inserção socioeconômica desses profissionais que são imprescindíveis à obtenção dos objetivos previstos nas leis municipal e federal. Essa inserção demanda condições de trabalho e de renda dignas (SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2020a). Requer respeito à história desses profissionais em associação e cooperativa.

Em Campina Grande a história da maioria das organizações que atua na cidade ultrapassa três décadas (COTRAMARE- Cooperativa dos Trabalhadores de Materiais Recicláveis, CATAMAIS- Cooperativa de Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis, ARENSA- Associação de Catadores de Materiais Recicláveis da Comunidade Nossa Senhora Aparecida, CAVI- Centro de Artes em vidros. CATACAMPINA-Cooperativa de Trabalho dos Catadores e Catadoras de Materiais Recicláveis de Campina Grande (SILVA, 2020; 2020a). Atualmente, há mais três organizações em formação nos bairros Pedregal, Mutirão e Aluizio Campos.

Os desafios são vários, mas, a participação popular na elaboração, implementação e fiscalização das políticas públicas é fundamental para empoderamento e garantia do direito cidadão ao ambiente ecologicamente equilibrado e bem de uso comum de todos, como estabelece o artigo 225 da Constituição Federal do Brasil.

3.2 Problemas Ocasionados Pela Falta de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

No Brasil a problemática dos resíduos sólidos agrava-se no espaço urbano, devido ao processo de expansão das cidades, crescimento populacional rápido e o aumento dos padrões de vida que vêm provocando transformações ambientais danosas, devido às dificuldades de alcançar o equilíbrio entre o excesso de geração e as condicionantes ambientais (BRASIL, 2018).

Além do expressivo crescimento da geração desses resíduos, observam-se ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em sua composição e características e o aumento de sua periculosidade. Essas mudanças decorrem especialmente dos modelos de desenvolvimento pautados pela obsolescência programada dos produtos, pela descartabilidade e pela mudança nos padrões de consumo baseados no consumo excessivo e supérfluo (LOUREIRO *et al.*, 2016).

Dessa forma, esse tipo resíduo é caracterizado como uma fonte rica em nutrientes que pode ficar disponível aos organismos autotróficos quando são estabilizados e transformados em matéria inorgânica. Comumente, os problemas compreendem a poluição e a contaminação do solo e dos corpos de água, advindo da decomposição anaeróbia da parcela orgânica (HANSEN *et al.*; 2001; CAMPITELLI, 2010; VILLAMIZAR, 2014).

Com essas práticas, os problemas ambientais, sociais e de saúde pública agravam-se. Além disso, quando os estímulos para o consumo e as necessidades não são originados dentro de cada indivíduo, mas de fora, é normal que se desconheçam os limites das ações, ou que haja falta de responsabilização dos agentes com relação aos seus atos (BRASIL, 2014; YOADA *et al.*, 2015). Para Corvellec (2016) as iniciativas para prevenção da geração de resíduos sólidos classificam em três categorias: conscientização, aumento da eficiência dos materiais e consumo sustentável. Para o autor, a conscientização é a primeira etapa da prevenção e trata basicamente de tornar a população ciente dos problemas decorrentes da geração de resíduos, bem como das atitudes que podem mitigar esses problemas.

A otimização da produção, do consumo e do descarte dos produtos é o cerne do aumento da eficiência dos materiais e visa reduzir a quantidade de resíduos gerada nesses processos e ao mesmo tempo facilitar o descarte e a reciclagem pós-consumo. Já as ações em torno do consumo consciente têm como objetivo promover mudanças no padrão atual ao incentivar o consumo de produtos usados ou mesmo a redução do consumo. (CORVELLEC, 2016). Para a solução adequada dos problemas referentes aos resíduos sólidos têm, sob o aspecto sanitário, o objetivo comum a outras medidas de saneamento, como prevenir e

controlar doenças a eles relacionadas. Assim, a falta de separação adequada dos resíduos sólidos urbanos, provoca a mistura dos resíduos sólidos orgânicos aos resíduos sólidos sanitários, comumente contendo organismos patógenos (SILVA, 2020).

Estudos realizados por Silva *et al.* (2015), Nascimento *et al.* (2017), Araújo (2018) e Araújo *et al.* (2019; 2021) em Campina Grande-PB, registraram a presença de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos coletados diretamente das residências, alertando para o potencial risco de contaminação e para a necessidade de tratar esses resíduos antes de dispor no meio ambiente.

Dessa forma, a presença dos ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares é um alerta, uma vez que esse grupo tem dose infectante baixa (1) e alta resistência ao estresse ambiental, como afirma Neves (2005) e como ratificaram Silva (2008), Silva *et al.* (2011a), Silva (2016), Araújo *et al.* (2019), Gomes (2019), Freitas *et al.* (2020), Silva (2020), Silva *et al.* (2020), Gomes *et al.* (2020), Araújo *et al.* (2021) e Gomes *et al.* (2021).

O manejo ambientalmente correto desses resíduos deve ir além de seu simples depósito ou aproveitamento. 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 (DELGADO, SILVA *et al.* 2010 ; SILVA, 2016).

A ausência de manejo adequado dos resíduos sólidos orgânicos tem ocasionado sérios problemas constituindo fonte de poluição e de contaminação, inviabilizando a coleta seletiva realizada por catadores de materiais recicláveis. Minimizar a produção de resíduos sólidos na fonte é um meio pelo qual os indivíduos podem reduzir o impacto ambiental negativo de seus resíduos (DEHGHANI *et al.*, 2016).

No que se refere às tecnologias de tratamento e disposição final de RSU, de uma forma geral, não existem tecnologias melhores que outras, mas tecnologias apropriadas e que respeitam os aspectos sociais, ambientais e econômicos do local onde será implantada (ABETRE, 2017). De acordo com Batista (2013), desenvolver a gestão integrada dos resíduos sólidos de forma otimizada requer o conhecimento de tecnologias disponíveis para o gerenciamento de custos econômicos e ambientais associados às alternativas e sua aplicabilidade para regiões e contextos específicos.

3.3 Qualidade Sanitária de Resíduos Sólidos Orgânicos

Os resíduos sólidos são constituídos basicamente por restos de animais ou vegetais descartados de atividades humanas. Muitos deles são similares aos resíduos sólidos de serviço de saúde, a exemplo de fezes, sangue, papel higiênico, absorventes, fraldas descartáveis, lenços de papel, preservativos, artigos perfuro cortantes, curativos, luvas, dentre outros. Os resíduos sólidos orgânicos, independentemente da origem e os resíduos sólidos de serviços de saúde apresentam densidades elevadas de organismos indicadores de contaminação fecal e de interesse em clínica médica, na ordem e 10^2 a 10^7 NMP/g de resíduos (LANGE; CUSSIOL, 2006).

Para Neves (2005) a concentração e a prevalência desses organismos na parcela orgânica são variáveis e dependentes do tipo e das condições do organismo (dose infectante, tempo de exposição e virulência), do meio ambiente (condições climáticas, condições sociais e ambientais) e do hospedeiro (estado imune, idade, estado nutricional, fatores genéticos).

Para Costa (2013), a ocorrência de helmintos no ser humano é comum. Cerca de 20% da população humana mundial está parasitada por Ancilostomídeos, situação semelhante em relação à *Ascaris lumbricoides*.

Em análise realizada com resíduos sólidos orgânicos domiciliares em três municípios paraibanos (Cabaceiras, Caraúbas e Queimadas), Silva *et al.* (2010), verificaram a quantidade média de 13 ovos viáveis/gST. Em ordem de prevalência, registraram-se *Ancylostoma sp.*, *Enterobius vermicularis*, *Fasciola hepatica* e *Ascaris lumbricoides*. Reafirmando a contaminação desses resíduos e a necessidade de tratá-los antes do procedimento de disposição final.

Em Campina Grande-PB, no bairro de Santa Rosa, foi encontrada a quantidade média de 0,6 ovos viáveis/gST por Silva *et al.* (2014). Nos estudos de Silva *et al.* (2011; 2012) aplicados no mesmo bairro, foi identificada a diversidade de ovos de helmintos em resíduos sólidos orgânicos coletados na fonte geradora (residências): *Ascaris lumbricoides* (46,0%), *Enterobius vermiculares* (37,0%), *Ancylostoma sp.* (15,0%), *Hymenolepis nana* (2,0%).

Na verificação da quantidade de ovos de helmintos presente em resíduos sólidos orgânicos produzidos em condomínio vertical situado em Campina Grande-PB, Freitas *et al.*, (2020) encontraram 4,6 ovos/g ST, com a viabilidade de 56,5%. Essa quantidade foi inferior ao encontrado por Araújo *et al.* (2019) em resíduos sólidos orgânicos domiciliares gerados em Campina Grande-PB (14,3 ovos/g ST) e superior a quantidade registrada por Gomes (2019) e Silva *et al.* (2011a) que também avaliaram a presença de ovos de helmintos em resíduos

sólidos orgânicos domiciliares produzidos na mesma cidade (4,1 ovos/gST e 0,6 ovos/gST, respectivamente). Esses dados refletem a preocupação de diferentes atores no que se refere à destinação e à disposição desses resíduos sem tratamento prévio.

Dentre os ovos de helmintos identificados em três tipos de resíduos sólidos orgânicos (resíduos sólidos orgânico domiciliares, resíduos de folhas e resíduos de flores) avaliados por Nascimento (2015) em outro bairro de Campina Grande-PB, Malvinas, prevaleceram aqueles de *Ancylostoma sp.* (45%), seguido de *Ascaris lumbricoides* (28%), *Hymenolepis nana* (16%) e *Enterobius vermiculares* (11%). Todos de importância médica para a região estudada, conforme cita Silva (2008).

Os dados identificados por Silva *et al.* (2011, 2011a, 2012, 2014), Nascimento (2015), Gomes (2019), Araújo *et al.* (2020), Freitas *et al.* (2020), Gomes *et al.* (2020), Araújo *et al.* (2021) e Gomes *et al.* (2021), confirmaram a constatação de Silva (2008) e Silva *et al.* (2010) de que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares constituem importante fonte de contaminação para o meio ambiente e para o ser humano, consistindo em risco biológico constante a todos que os manuseiam.

A contaminação dos resíduos sólidos orgânicos pode estar relacionada à manipulação dos vegetais utilizados na alimentação, à qualidade da água utilizada para o consumo humano e para irrigação e às condições precárias de saneamento ambiental. Aponta ainda para a inadequação em torno das formas de produção e armazenamento dos alimentos em suas diferentes etapas, como afirmara (SILVA *et al.*, 2010).

A contaminação em resíduos sólidos orgânicos gerados em municípios do semiárido paraibano por ovos de helmintos indica risco biológico e demanda tratamento antes de sua destinação final (SILVA *et al.*, 2010). O contato desses resíduos com os materiais recicláveis recolhidos pelos catadores de materiais recicláveis expõe-nos a diversos riscos biológicos (BATISTA; LIMA; SILVA, 2013; CAVALCANTE *et al.*, 2015).

Silva *et al.* (2018) em pesquisa realizada em hortaliças coletadas em barracas que as comercializavam no município de Crato, Ceará, Brasil, constataram que 18,8% das amostras das hortaliças estavam contaminadas por cistos de protozoários e/ou ovos e larvas de helmintos. Os autores citaram que a contaminação ocorre por diferentes formas, principalmente pelo contato da água contaminada com material fecal humano ou animal, aplicada para irrigação de hortas. As hortaliças podem configurar importante via de disseminação de parasitas intestinais, representando riscos à saúde dos consumidores.

O grande número de agentes infecciosos envolvido nos resíduos sólidos orgânicos repercute em ampla variedade de manifestações clínicas de doenças gastrointestinais agudas, sendo possível traçar um perfil das condições de saúde da população (WHO, 2015).

Os trabalhos citados de Silva *et al.* (2018) apontam para a possibilidade de contaminação das hortaliças na irrigação e no manejo e a sua permanência quando são transformadas em resíduos sólidos (cascas de frutas e de verduras, restos de alimentos, dentre outros), em decorrência de falhas de higienização.

Para Leite *et al.* (2007), Cavalcante e Silva (2015), Mondelli *et al.* (2016) e Silva *et al.* (2020; 2020a), a parcela orgânica quando não é separada dos demais resíduos, além de prejudicar o exercício profissional de catadores de materiais recicláveis, expressa risco potencial de contaminação e poluição ambiental, comprometendo os recursos naturais. Fato confirmado pelos trabalhos de Batista *et al.* (2013), Cavalcante *et al.* (2016), Cavalcante (2018) e Soares (2019) ao comprovarem que os catadores de materiais recicláveis mesmo organizados em associação estavam submetidos a riscos biológicos, principalmente em virtude da falta de seleção na fonte geradora e/ou ausência de higienização dos resíduos sólidos recicláveis secos.

3.4 Organismos Patogênicos

3.4.1 Ovos *Helmintos*

Os resíduos sólidos orgânicos independentes de sua origem apresentam todas as condições favoráveis para a disseminação de organismos patógenos (FEACHEM *et al.*, 1983; HAUG, 1993; KIEHL, 1998; SILVA, 2008; NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2010; 2011; 2012; 2014; 2020). Os vírus, bactérias, protozoários, helmintos e os fungos são organismos frequentemente encontrados nos resíduos sólidos orgânicos (CARRINGTON, 2001; SILVA, 2008; ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2010; 2011; 2012; 2014; 2020) e grande parte apresenta relevância sanitária.

Pesquisas mostram, contudo, que a prevalência desses organismos na parcela orgânica putrescível é bastante elevada (RASAPOOR; POURAZIZI, 2016). Em pesquisa realizada por Nascimento *et al.* (2017) foi verificado que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares separados e coletados na fonte geradora apresentaram uma concentração média de 3,2 ovos de helmintos g/ST, com uma taxa de viabilidade de 89%.

Os helmintos são organismos de importância médica em virtude da sua resistência ao estresse ambiental, baixa dose infectante e elevada resistência e ampla distribuição geográfica. Os ovos são extremamente resistentes a fatores ambientais e podem sobreviver a diversos tipos de tratamentos (NEVES, 2010).

Os ovos de helmintos, em especial o gênero *Ascaris*, tem grande aderência à superfície, sendo de difícil remoção nas verduras e frutas e, conseqüentemente, são observados nos resíduos sólidos orgânicos (FEACHEM *et al.*, 1983). Além disso, podem sobreviver em meio com 50% de ácido sulfúrico, nítrico e acético (NEVES, 2010). Em virtude da sua resistência são considerados indicadores parasitológicos na eficiência do tratamento de resíduos sólidos orgânicos, pois quando se consegue inativar ou inviabilizar os ovos de *Ascaris*, é muito provável que todos os outros organismos patógenos foram destruídos (SILVA, 2008). Neste contexto, foi sugerido pela OMS (1989) citada por König (2000), que se utilizasse *A. lumbricoide* como o indicador mais adequado para este grupo de patógenos. Fato confirmado por Silva (2008, 2021) ao verificar que esses helmintos são bastante resistentes, sendo os últimos a serem destruídos no sistema de compostagem.

A avaliação para ovos de helmintos, no entanto, não pode ser somente quantitativa, pois é a viabilidade dos ovos que os tornam “importantes” epidemiologicamente. Os ovos férteis não embrionados, quando eliminados pelo hospedeiro, juntamente com as fezes, não são infecciosos até que se transformem em larvas infectantes (WHO, 2015).

Os helmintos são os parasitos mais resistentes às condições ambientais externas, sobretudo seus ovos. O aumento na transmissão das parasitoses teria um efeito equivalente ao aumento da fecundidade do parasito e poderia ser uma estratégia que favoreceria sua manutenção na natureza (WHARTON, 1980). Por isso, é que a estrutura e a função da casca dos ovos têm papel relevante e que deve sempre ser considerada. Sua resistência, complexidade e variabilidade podem ser consideradas como adaptações que aumentariam a sobrevivência do embrião e da larva no meio ambiente.

Os ovos de *A. lumbricoide* tem uma natureza química única, com 25% de proteína e 75% de lipídeos, sendo a principal barreira à permeabilidade (WHARTON, 1980). A camada média, de natureza quitinosa, é geralmente a mais espessa da casca, sendo que sua composição fornece uma resistência estrutural ao ovo onde a proteína está frequentemente presente em associação com a quitina. O papel principal da camada de quitina é, provavelmente, fornece resistência estrutural. Caso fosse removida, a camada lipídica seria facilmente submetida a danos mecânicos, o que permitiria a entrada de produtos químicos nocivos (APHA, 2014, SCHULZE, 2016; WHARTON, 1980).

O efeito da temperatura sobre a permeabilidade da casca do ovo é, dessa forma, um importante fator de influência na capacidade dos ovos em sobreviverem às condições adversas do meio ambiente. Quando os ovos são expostos a dessecação em temperaturas constantes diferentes, a taxa de perda de água aumenta exponencialmente em função do aumento da temperatura. Isto pode ser devido ao efeito da temperatura na permeabilidade da casca do ovo (WHARTON, 1980). Ainda, segundo este autor, a temperatura em que os ovos aparentemente perdem sua capacidade de impedir a perda de água depende do tempo de exposição. A temperatura afeta a capacidade da casca do ovo em diminuir a taxa de perda de água.

3.4.2 *Bactérias e Actinomicetos*

As bactérias são microrganismos unicelulares com tamanho entre 0,5 a 3,0 μm , geralmente são dominantes em comparação aos microrganismos maiores, como os fungos (TUOMELA, *et al.*, 2000). 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).

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). As bactérias apresentam um grupo diversificado de organismos e 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 (YANG; WANG, 2014).

A *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 encontrada em locais variados, incluindo a vegetação, o solo, a água e em ambientes doméstico hospitalar e industrial (MURRAY, 2009; IVERSEN, 2014).

Estudos anteriores têm mostrado que entre os principais grupos bacterianos identificados durante a fase mesófila do processo de compostagem, destacam-se as bactérias produtoras de ácido orgânico, tais como *Lactobacillus* sp. e *Acetobacter* sp., enquanto no

estágio termófilo, as bactérias Gram-positivas como *Bacillus* sp., tornam-se dominantes (PAULUSSEN *et al.*, 2010).

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). 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 (GOMES, 2019).

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).

Pesquisa realizada por Gomes (2019) identificou nove gêneros, apenas o *Proteus* permaneceu do início da compostagem até as fases finais. Na última coleta não foram encontrados indivíduos do gênero *Proteus* nos dois sistemas de tratamentos estudados. Esse gênero *Proteus* foi dominante, diferindo dos resultados obtidos por Shammam e Wang, (2009) 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.

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 (GOMES, 2019). 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 (RUSCHEL, 2013; RYCKEBOER *et al.*, 2003a). *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; BABU; JUNEJA, 2014).

Os actinomicetos fazem parte de um grande filo de bactérias Gram-positivas filamentosas. São amplamente distribuídos 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; GOLDIN *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*), simbioses 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 (BECK, 2011; NIU, 2018). Eles apresentam grande diversidade morfológica, desde cocos simples até formas miceliais complexas, assemelhando-se a fungos (TUOMELA *et al.*, 2000; NIU, 2018).

3.5 Tratamento Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos

A compostagem é o processo de decomposição da matéria orgânica pela ação de fungos, bactérias e outros organismos que, agindo em ambiente aeróbio, promove a higienização e a estabilização de material orgânico contaminado (SILVA *et al.*, 2015), apresentando o potencial de eliminar grande parte dos organismos patogênicos, transformando-o em um fertilizante que melhora as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo agrícola (GUIDONI *et al.*, 2013).

Dentro dos princípios da prevenção e da sustentabilidade, uma possibilidade de mitigar impactos negativos da problemática dos resíduos sólidos compreende favorecer a estabilização da matéria orgânica, e reduzir o volume dos resíduos encaminhados aos aterros sanitários (SILVA *et al.*, 2011; GUIDONI *et al.*, 2013; HERBETS *et al.*, 2015).

O processo de compostagem acontece com a atuação de uma diversificada biota de organismos aeróbios responsáveis pela degradação da matéria orgânica, esses, por sua vez, dependem de condições ambientais favoráveis para completar a degradação do material orgânico, além de ser uma forma efetiva de reduzir o nível de resíduos sólidos orgânicos e inorgânicos que normalmente estariam dispostos de outras formas e que conseqüentemente, permaneceriam no meio ambiente (SILVA, 2016; SILVA, 2020; SILVA *et al.*, 2020a).

Para que o processo se desenvolva satisfatoriamente como descrito, é necessário que os organismos encontrem condições favoráveis para se desenvolver e degradar a matéria orgânica. Alguns parâmetros físico-químicos devem ser respeitados como: o sistema de compostagem, a duração do processo, concentração de oxigênio nos espaços intersticiais, a qualidade química e física da matéria orgânica, o tamanho das partículas, a relação carbono nitrogênio (C/N), temperatura e teor de umidade.

Os ovos de helmintos têm grande capacidade de aderência à superfície, sendo de difícil remoção quando presentes no ambiente e nos resíduos sólidos orgânicos, como citam Meyer *et al.*, (1978) e Neves (2010). Além disso, são resistentes aos fatores ambientais e podem sobreviver a diversos tipos de tratamento (FEACHEM *et al.*, 1983; HAUG, 1993; CARRINGTON, 2001; NEVES, 2010), o que representa um fator importante na transmissão da parasitose.

A profilaxia para tais organismos reside, sobretudo, no saneamento ambiental e, para isso, os resíduos sólidos orgânicos urbanos precisam ser vistos enquanto veículo de infecção de agentes patógenos, necessitando tratamento adequado. A análise dos organismos patógenos é uma alternativa viável para identificar o perfil da comunidade microbiana com potencial contaminante nos resíduos orgânicos e analisar a eficiência do sistema de compostagem na eliminação de organismos patógenos é fundamental para promovê-lo um produto higienizado (SILVA, 2016; SILVA, 2020).

Na compostagem os principais fatores que a influenciam são os que podem condicionar a atividade biológica e por consequência, a velocidade e o curso do processo. Para o adequado desempenho e controle do processo de compostagem, alguns parâmetros devem ser considerados, dentre eles, o teor de umidade, a granulometria, a aeração com o respectivo ciclo de reviramento e a relação C/N, pH e temperatura (Herbets *et al.*, 2014; Teixeira *et al.*, 2015; Silva, 2018; Cezar, 2016; Santos; Santos, 2018; Busnello *et al.*, 2015).

3.5.1 Relação C/N

O equilíbrio da relação C/N é um fator de fundamental importância na compostagem, cujo principal objetivo é criar condições para fixar os nutrientes, de forma que possam ser posteriormente liberados por meio do composto.

Os organismos para se manter ativos no processo durante o tratamento exigem, além do substrato orgânico, uma quantidade mínima de outros elementos necessários à sua constituição celular. Suas maiores necessidades são o Carbono, como fonte de energia para

suas atividades vitais e o Nitrogênio, como fonte para sua reprodução protoplasmática (WHO, 2015).

Dessa forma, para o início do processo é aceitável como ótima a relação C/N de 30:1, o que influencia a boa atividade biológica, atingindo uma relação C/N de 18:1 no final do processo. As Relações C/N baixas, pH acima de 8 e elevadas temperaturas, implicam na perda de nitrogênio sob a forma de amônia; recomenda-se neste caso, a adição de serragem, palha, papel, entre outros, à massa a ser compostada (WHO, 2015).

Com relação C/N 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 organismos 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, 1998).

Pesquisa realizada por Gomes (2019) iniciou o processo de compostagem com C/N no substrato de 40:1, valor superior à faixa recomendada de 25:1 a 35:1, conforme Kiehl (1998) e Bidone (2001), respectivamente, no entanto, essa relação não prejudicou o processo, uma vez atingiram os objetivos previstos para compostagem. Yang *et al.* (2015) e Araújo (2018), iniciaram a compostagem com relação 20:1 e 42:1, respectivamente, assim como aconteceu com o trabalho de Gomes (2019), não houve problema no processo da compostagem.

A relação carbono/nitrogênio C/N é essencial ao 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).

3.5.2 *Temperatura*

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo de compostagem. É considerada por Raut *et al.* (2008) e Chen, Wu (2008), como um dos principais parâmetros no processo de quantificação para monitorar. O efeito da temperatura sobre as características físico-químicas dos compostos e consequentemente, na biodisponibilidade do substrato aos organismos da compostagem devem ser respeitados, como; o sistema de compostagem, a duração do processo,

concentração de oxigênio nos espaços intersticiais, a qualidade química e física da matéria orgânica, o tamanho das partículas, a relação C/N e o teor de umidade (WHO, 2015).

As variações de temperatura durante o processo de compostagem podem ser identificadas em três fases: mesófila, termófila e de maturação, nessa fase, os microrganismos para se manterem exigem quantidade mínima de substrato orgânico necessários à sua constituição (BERNAL *et al.*, 1998; TRAUTMANN; KRASNY, 1997; OLIVEIRA; SARTORI; GARCEZ, 2008). Na fase mesófila predominam temperaturas moderadas, até cerca de 40 °C e tem duração média de dois a cinco dias. Na 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 e do sistema de compostagem. A fase da maturação é caracterizada por uma queda de temperatura, resultado do processo de estabilização da matéria orgânica que tem como produto um composto maturado, estabilizado e higienizado (CHUKWIDI *et al.*, 2016).

Silva (2008) afirma que baixas temperaturas no início do processo de compostagem reflete o desempenho insatisfatório do sistema, dificultando a eliminação dos organismos patogênicos, tais como, ovos de helmintos, frequentemente, encontrados em resíduos sólidos orgânicos. Segundo Kiehl (1998), caso a leira, registre temperatura da ordem de 40-60 °C no segundo ou terceiro dia é sinal de que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem possui todas as chances de ser bem-sucedida. Caso contrário, é sinal de que os parâmetros físico-químicos não foram observados, limitando assim, a atividade organismos.

O efeito da temperatura sobre as características físico-químicas dos compostos e conseqüentemente, na biodisponibilidade do substrato aos organismos da compostagem devem ser respeitados, como: o sistema de compostagem, a duração do processo, concentração de oxigênio nos espaços intersticiais, a qualidade química e física da matéria orgânica, o tamanho das partículas, a relação carbono nitrogênio, temperatura e teor de umidade (GONÇALVES, 2016).

Embora a elevação da temperatura seja necessária e interessante para a eliminação de organismos patogênicos, mas, temperaturas superiores a 65 °C limita as populações aptas a realizarem a degradação, havendo um decréscimo da atividade biológica (KIEHL, 1998). Torna-se evidente que o controle ideal de temperatura dentro dos parâmetros presentes na literatura, permite o desenvolvimento de populações de organismos e, desse modo, asseguram a continuidade do processo de decomposição, facilitando a remoção de água e permitindo uma taxa de compostagem previsível (BERTOLDI *et al.*, 1982).

3.5.3 *Potencial Hidrogeniônico (pH)*

No início do processo de compostagem, quando há colonização dos organismos, o substrato apresenta pH ácido, em torno de 4,5 a 5,5, resultado da ação das bactérias formadoras de ácidos minerais na decomposição de material carbonáceo complexo em ácidos orgânicos. Na fase de intensa ação biológica, o pH apresenta-se em torno de 6,5 a 8,0 e na fase de maturação pode variar entre 7,5 e 9,0. Ao longo da compostagem os ácidos orgânicos juntamente com os ácidos minerais reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e formando um meio alcalino (BARTOLDI *et al.*, 1983; FERNANDES; SILVA, 1999; BIDONE, 2001; RUSSO, 2003).

A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos organismos responsáveis pela compostagem situa-se entre 5,5 e 8,5, uma vez que a maioria das enzimas se encontra ativa nesta faixa de pH (RODRIGUES *et al.*, 2006), porém, Pereira. *et al.*, 2013, afirmam que a compostagem pode ser desenvolvida em uma faixa de pH entre 4,5 e 9,5, sendo que os valores extremos são automaticamente regulados pelos organismos, por meio da degradação dos compostos, que produzem subprodutos ácidos ou básicos, conforme a necessidade do meio. No entanto, Machado, Santos e Costa-Cruz (2018) afirmam que as alterações do pH pode equilibrar as enzimas presentes nos organismos.

Estudo feito por Araújo (2018), registrou 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 regularizam a acidez, gerando um produto com pH básico, entre 8,1 e 8,3.

Pesquisa realizada por Gomes (2019) 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. Brito (2008) e Chayb *et al.* (2014) encontraram valores iniciais de pH para resíduos alimentares, os quais foram 5,8 e 5,4, respectivamente, a faixa de pH considerada ótima, uma vez que a maioria das enzimas se encontra ativas nesta faixa de pH.

3.5.4 Sólidos Totais Voláteis (STV)

Os sólidos totais voláteis (STV) é um indicador da massa total a ser tratada no sistema. Correspondem à parte orgânica que é degradada durante a compostagem e transformada em matéria inorgânica que pode ser assimilada pelos vegetais. A concentração de sólidos refere-se ao resíduo total presente no substrato, quer seja de origem orgânica ou inorgânica (LEITE *et al.*, 2015).

Os valores de STV indicam a degradação da matéria orgânica e a estabilização da massa do substrato. Ao longo da compostagem, a quantidade de STV tende a diminuir, em decorrência da estabilização, reduzindo para um nível eficiente de 40% (FALCÃO, 2014). Embora a matéria orgânica seja fonte de nutrientes liberados no processo de mineralização, as plantas não assimilam a matéria orgânica (MALAVOLTA GOLUEKE *et al.*, 2014, ODUM; BARRET, 2007), requerem a sua transformação em matéria inorgânica (SILVA, 2021).

Pesquisa realizada por Araújo (2018) encontrou alta concentração de STV (76 ST%) nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, indicando a matéria orgânica contida no substrato investigado. Durante o tratamento, observou-se a redução de STV em função do tempo, o que representa uma evolução normal do processo. Esse decaimento gradativo no sistema de compostagem é resultado do consumo de compostos orgânicos complexos pelos organismos participantes, expressando a velocidade de estabilização e nutrientes presentes.

Pesquisa feita por Gomes (2019) encontrou também alto percentual de STV em resíduos sólidos orgânicos domiciliares (83%ST). Dessa forma, esse tipo resíduo é caracterizado como uma fonte rica em nutriente que pode ficar disponível aos organismos autotróficos quando são estabilizados e transformados em matéria inorgânica.

Em pesquisa realizada por Guermandi (2015) com compostagem de resíduos sólidos urbanos registraram valores de STV, variando entre 81 a 90 %ST, dados semelhantes aos citados por Gomes (2019). Quando esses materiais são dispostos de maneira inadequada favorece o desenvolvimento de organismos, podendo causar doenças para a população, como também aos demais elementos do meio ambiente.

3.5.5 Umidade

O teor de umidade é essencial para atividade metabólica e fisiológica dos diferentes organismos presentes na compostagem, afinal, corresponde a quantidade de água presente no sistema, um nutriente indispensável ao metabolismo celular.

Richard *et al.* (2002) e Madigan *et al.* (2017) afirmam que os níveis baixos de umidade inibem a ação dos organismos, enquanto o excesso retarda a decomposição e proporciona condições de anaerobiose, com a formação de subprodutos indesejáveis, chorume e gases que contribuem para o efeito estufa.

A água é fundamental para a vida. No composto, o teor ótimo de umidade, de modo geral, situa-se entre 50% e 60%. Teores de umidade maiores que 65%, fazem com que a água ocupe os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose. Segundo Silva (2016) teores de umidade fora da faixa ideal reduz a quantidade de carbono e nitrogênio necessário à utilização dos organismos, no entanto, o monitoramento deve ocorrer durante todas as etapas da compostagem, tendo em vista que o controle das condições ideais à ação dos organismos responsáveis pela decomposição é que garante a produção de um composto com as características satisfatórias para aplicação em diferentes culturas agrícolas.

Para que o teor de umidade atinja os valores ideais no processo de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos, depende-se da eficácia da aeração, do manejo adequado da água, das características físicas dos resíduos, como estrutura e porosidade (FERNANDES; SILVA, 1999), do reviramento do substrato e o monitoramento e controle satisfatório da temperatura e oxigenação do sistema, pois, caso contrário, podem prejudicar o funcionamento do processo (LIMA, 2015). Como também do tipo de sistema adotado (SILVA, 2021).

Segundo Shammass e Wang (2009) e Sanchez *et al.* (2017), para o desenvolvimento adequado dos organismos, a umidade das matérias primas deve situar 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.

Pesquisa realizada por Gomes (2019) identificou umidade inicial de 72%, valor considerado acima do ideal pela literatura (SHAMMAS; WANG, 2009; SANCHEZ *et al.*, 2017), porém o trabalho realizado por Araújo (2018), em Campina Grande-PB, com resíduos sólidos orgânicos domiciliares reafirma este dado. Segundo a autora, este teor de umidade

evitou a evaporação excessiva e proporcionou a ação e o desenvolvimento de mesoinvertebrados.

Segundo Batista e Batista (2007) a umidade pode variar, uma vez que os organismos aeróbios produzem água metabólica durante oxidação de H_2 contidas em proteínas, carboidratos e gorduras quando decompõe a matéria orgânica, o que contribui para elevar a umidade do sistema. Neste caso, a aeração é fundamental para promover a perda gradativa de umidade.

A redução dos teores de umidade durante o processo de compostagem acontece propiciamente de acordo com o aumento da temperatura na fase de intensa atividade biológica. Outro fator que pode influenciar no comportamento dos teores de umidade está relacionado às condições ambientais que o sistema de tratamento é submetido (NASCIMENTO, 2014).

Desse modo, compreende que é necessária a regulação e o monitoramento das condições ideais aos organismos responsáveis pela degradação do substrato especialmente dos teores de umidade, durante a compostagem de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. O ajuste da umidade pode ser feito pela criteriosa mistura de componentes ou pela adição de água, quando há baixa umidade. Na prática, verifica-se que o teor de umidade depende também da eficácia da aeração e das características físicas dos resíduos como estrutura e porosidade.

3.5.6 Granulometria

A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno biológico, da qual atuam 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).

Bidone (2001) afirma que partículas muito finas, pode provocar a compactação excessiva da matéria, dificultando a aeração. Deve-se agregar material sólido melhorando a sustentação, porosidade e aeração do sistema. Se as partículas forem muito grossas, devem ser trituradas antes da formação das leiras ou pilhas. As dimensões das partículas ideais dos resíduos sólidos orgânicos devem estar entre 1 a 5 cm para a eficiência da compostagem.

Quanto mais fina é a granulometria, maior é a área exposta à atividade microbiana, o que promove o aumento das reações bioquímicas, visto que acrescenta a área superficial em contato com o oxigênio, porém quanto menor forem as partículas, maior é a tendência à compactação do material e a conseqüente redução dos espaços para circulação de ar, criando zonas de anaerobiose. (KIEHL, 1998).

A diminuição do tamanho das partículas do substrato promove maior área exposta à atividade dos organismos, contribuindo para o aumento das reações bioquímicas, em decorrência da área superficial em contato com o oxigênio (TRAUTMANN; KRASNY, 1997; FERNANDES; SILVA, 1999).

Fernandes e da Silva (1996) recomendam que de modo geral, o tamanho das partículas deve estar entre 25 e 75 mm para ótimos resultados. Obeng e Wright (1987) reportam que o tamanho das partículas deve ser aproximadamente de 10 mm para sistemas de aeração forçada e de 50 mm para sistemas de aeração passiva e leiras revolvidas.

O estado físico e a granulometria das partículas afetam a umidade e o processo de compostagem. Quanto mais grosseira a granulometria, maior deve ser a umidade. Uma granulometria consistente garante uma compostagem homogênea e facilita as fases futuras de tratamento do composto (STEEL, BERT, 2011).

3.5.6 Mesoinvertebrados

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 doméstica*) e o soldado negro (*Hermetia illucens*) sendo estas espécies bastante estudadas para este fim (CICKOVÁ *et al.*, 2015; ARAÚJO, 2018).

Os mesoinvertebrados constituem um grupo de organismos frequentes em sistemas de compostagem. Segundo Trautmann e Kutzner (2008) os mesoinvertebrados auxiliam no processo de trituração de matéria orgânica, alterando sua forma química através da digestão. Os organismos são os decompositores químicos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica através da respiração aeróbia, enquanto os organismos maiores são os decompositores físicos importantes à decomposição mecânica da matéria orgânica em partículas menores, durante os processos de degradação e estabilização na compostagem, aumentando assim a área de superfície para a ação microbiana (STAVINS; MOURA, 2014).

A decomposição da matéria orgânica depende da sucessão ecológica de diferentes comunidades de organismos. Identificar a diversidade e estrutura das comunidades de organismos que participam da compostagem tem sido grande interesse na literatura acadêmica (BERTOLDI *et al.*, 1983; REBOLLIDO *et al.*, 2008; CHANDNA *et al.*, 2013), no entanto, a análise biológica, quando ocorre, restringem a mensuração e identificação a bactérias, actinomicetos e fungos (SILVA, 2008).

Essas atividades tornam estes organismos excelentes recicladores de matéria orgânica, uma vez que, ao digerirem o substrato que constituem o sistema, transformam e liberam nutrientes. Conquanto, os diferentes estádios da compostagem detêm uma importante diversidade de organismos, cujos ciclos de vida são completados dentro do sistema, enquanto simultaneamente contribuem e aceleram a decomposição da matéria orgânica (MORALES; VILLAMIZAR, 2014).

3.6 Tratamento de resíduos sólidos orgânicos e Legislação ambiental

Uma alternativa de tratamento dos resíduos orgânicos consiste no processo aeróbio de transformação de resíduos orgânicos. A caracterização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares é favorecer a verificação da qualidade física, química e sanitária da necessidade do tratamento aeróbio desses resíduos. O manejo dos resíduos sólidos de forma mais sistemática e específica, tem como princípios e diretrizes vinculados à preservação e/ou conservação ambiental e ao desenvolvimento econômico e social (CAVALCANTI *et al.*, 2014).

No contexto da compostagem, isso proporcionaria benefícios como harmonização da legislação no mercado interno, padronização do composto orgânico produzido e confiabilidade na sua qualidade, facilidade de comercialização entre os Estados-Membros e menor custo atrelado ao seu uso. Quando o composto tem status de resíduo é necessária autorização para sua utilização no solo, entre outros aspectos burocráticos (BLIVEN; LANPEL, 2017).

No Brasil, o composto orgânico pode ser comercializado como um fertilizante orgânico, fertilizante organo-mineral, condicionador de solo e substrato para plantas, desde que atenda aos requisitos estabelecidos em cada classe. Enquanto os fertilizantes são produtos aplicados diretamente no solo, os condicionares também podem ser utilizados na mistura com outros componentes (areia, terra natural), para a confecção de terra vegetal ou misturas para

gramados, campos desportivos, entre outros. Os substratos para plantas geralmente são empregados como um meio de crescimento para plantas de vários tipos, que podem ou não estarem envasadas (MARTINS *et al.*, 2014).

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) é o órgão que regula a qualidade do composto orgânico para estes usos, por meio das Instruções Normativas (IN) SDA n° 25/2009 (Fertilizantes orgânicos), IN SDA n° 35/2006 (Condicionadores de solo), IN n° 5/2016 (Substratos para plantas) e IN SDA n° 27/2006, alterada pela IN SDA n° 7/2016 (Contaminantes em fertilizantes, condicionadores de solo e substratos para plantas). Estas normativas estabelecem requisitos quanto às características agrônômicas, conteúdo de metais pesados, agentes patógenos e as impurezas físicas do produto, de modo a garantir seu uso seguro. São previstas também tolerâncias máximas de variação em relação às características declaradas, com o objetivo de garantir a uniformidade do produto entre os lotes produzidos ao longo do tempo. No aspecto de sustentabilidade, ampliar seus objetivos e metas, pois o acesso aos recursos da União direcionados à gestão dos resíduos sólidos dependerá da apresentação dos planos.

Para isso, viu-se a necessidade da construção de uma nova hegemonia política e social que disponha de garantias instrumentais jurisdicionais específicas para a concretização do direito ao meio ambiente equilibrado (FIORELLO; ECOCHEM., 2014), estabelecido na Política Nacional do Meio Ambiente, Lei n° 6.938 de agosto de 1981 (BRASIL, 1981) e aprofundado com a promulgação da Constituição da República Federativa do Brasil, em 1988 (BRASIL, 1988), ao estabelecer, no artigo 225: Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Para equacionar a problemática dos resíduos sólidos é necessário sensibilizar a população geradora. Na Lei 9.795 de 1999 dispõe sobre a educação ambiental como um processo por meio do qual o indivíduo e a coletividade constroem valores sociais, conhecimento, habilidades, atitudes e competências que busquem a conservação do meio ambiente, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida e sua sustentabilidade (BRASIL, 1999).

No Brasil como política pública, a institucionalização da educação ambiental é relativamente recente, no entanto, tem ganhado espaço na legislação brasileira com na Constituição de 1988, que trata a educação ambiental, no Art. 225, § 1º, inciso VI: “incumbe ao Poder Público promover a educação ambiental em todos os níveis de ensino e a

conscientização pública para a preservação do meio ambiente”. Na Lei nº 9.394 (BRASIL, 1996) que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB) e o tema Meio Ambiente presente em todos os currículos (BRASIL, 2007) e no Plano Nacional de Educação (PNE), Lei nº 10.172 de 09 de janeiro de 2001 (BRASIL, 2001).

Para alcançar as alternativas voltadas à problemática dos resíduos sólidos, configura-se a sensibilização, formação e mobilização da sociedade em educação ambiental. A educação é um fator primordial para o desenvolvimento de qualquer nação, por favorecer a formação de cidadãos críticos e ambientalmente conscientes, conseqüentemente, mentores de uma sociedade centrada nos princípios da justiça e sustentabilidade (JUSTINO *et al.*, 2017a). Logo, educação ambiental emerge como um instrumento capaz de proporcionar mudanças, novas atitudes da sociedade e formação de cidadãos críticos e comprometidos com o meio ambiente. Contribui para que o ser humano dialogue sobre o cenário de crise ambiental (NASCIMENTO; SANTOS, 2015).

De acordo com Silva (2020) os objetivos elencados para gestão de resíduos sólidos não serão conseguidos, sem a modificação da percepção ambiental equivocada e dos padrões de produção e de consumo. Nesse cerne, a educação ambiental é indispensável ao alcance dessas mudanças.

As leis brasileiras, 11.445/2007 (BRASIL, 2007) e 13.312/2016 (BRASIL, 2016), relacionadas ao saneamento ambiental e a Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010) que instituiu a Política Brasileira de Resíduos Sólidos, reconhecem a importância de educação ambiental no processo de sensibilização e mobilização social para atingir os objetivos previstos nessas leis. “Os programas e projetos em Educação Ambiental, no entanto, não devem ser aplicados por amadores. Requerem formação adequada, observando os princípios, os objetivos e as estratégias estabelecidas em documentos e legislações resultantes de encontros internacionais e nacionais em Educação Ambiental” (SILVA, 2020, 2020a).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Pesquisa

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa quantitativa, do tipo experimental que consiste na elaboração de instrumentos para coleta de dados (MARCONI; LAKATOS, 2011), possibilitando o processo de monitoramento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

O trabalho experimental foi realizado no Laboratório do Grupo de Extensão e Pesquisa em Gestão e Educação Ambiental (LabGGEA), situado no Departamento de Biologia da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), Campus I, em Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil.

Os parâmetros físico, químico e sanitário, exceto à análise de macronutrientes, foram analisados no laboratório de Análise de Tecido de Plantas da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, em Areia, estado da Paraíba, Brasil.

A pesquisa teve início em agosto de 2018 e foi finalizada em janeiro de 2019, com duração de 180 dias. As amostras de resíduos sólidos orgânicos foram coletadas no bairro Malvinas, em Campina Grande, estado da Paraíba, Brasil.

4.2 Caracterização Geográfica de Área de Estudo

O bairro Malvinas está localizado em Campina Grande, município localizado no interior do estado da Paraíba, Brasil; no Planalto da Borborema, com altitude de 550 m acima da superfície do mar e com ocupação geográfica de 593.026 km² e situa-se a 120 km da capital litorânea, João Pessoa (7°13'11" sul, 35°52' 31" oeste).

A escolha do bairro decorreu do processo de sensibilização, formação e de mobilização de diferentes atores sociais que vem sendo aplicado na área em estudo (NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2018; SOUSA, 2018; ARAÚJO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2020; 2020a; 2020b).

4.3 Etapas e Instrumentos de Coleta de Dados

A pesquisa aconteceu em quatro etapas: 1) Seleção dos participantes; 2) Coleta dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares; 3) Estruturação e montagem dos sistemas de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos; 4) Monitoramento e avaliação das Unidades de tratamento biológico aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

4.3.1 *Contato com os Participantes*

Esta etapa foi realizada nas residências das famílias com entrega de folhetos contendo informações sobre os projetos já desenvolvidos no bairro. À medida que foram entregues os folhetos foram questionados aos moradores sobre a possibilidade de disponibilizar os resíduos sólidos orgânicos. Aqueles que aceitaram detinham a compreensão da importância de destinar corretamente os resíduos sólidos que produziam.

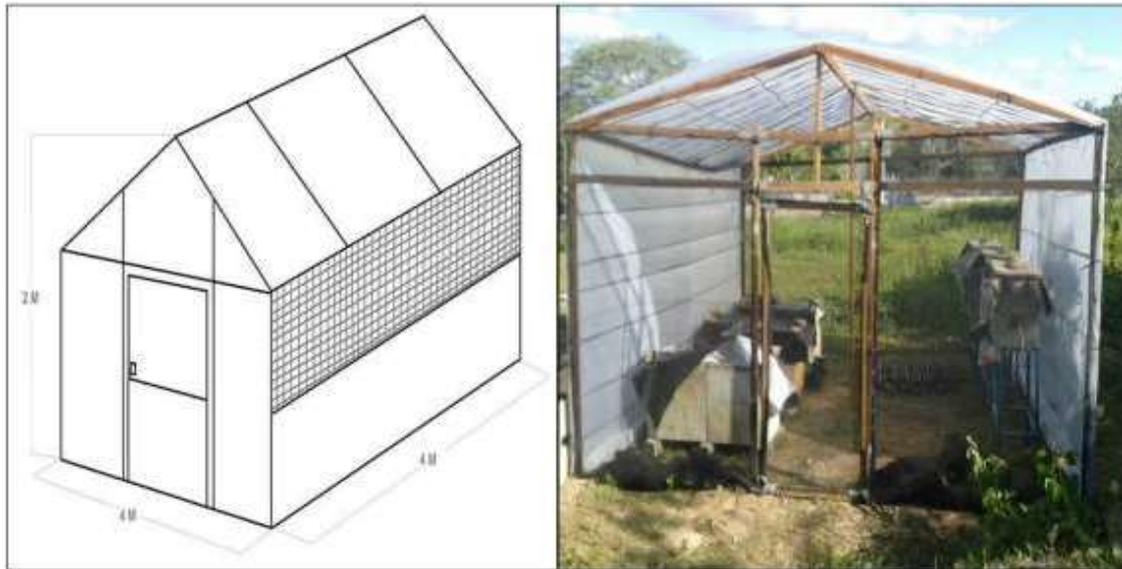
4.3.2 *Construção do Sistema Experimental*

As unidades de tratamento descentralizadas foram instaladas em área pertencente à UEPB, próxima ao LabGGEA, situado no Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Campus I; localizado no bairro Bodocongó, em Campina Grande-PB. Esta abrange uma área de 16 m² e a estrutura é constituída por madeira, lona e telas de proteção (Figura 1). A estrutura tem por finalidade impedir as interferências diretas da chuva e insolação, bem como a presença de animais, sobretudo de grande porte, típicos do período em que foi instalado o sistema de compostagem.

O monitoramento da temperatura foi realizado diariamente, sempre no mesmo horário, às 9 horas, em três pontos da massa de substrato: superfície, centro e base, utilizando-se de termômetro de haste de mercúrio e por observação direta.

As unidades de tratamento foram constituídas por materiais e configurações diferentes: as unidades de tratamento CPC constituído por polietileno cilíndrico e as unidades de tratamento CAR por alumínio e aço inoxidável.

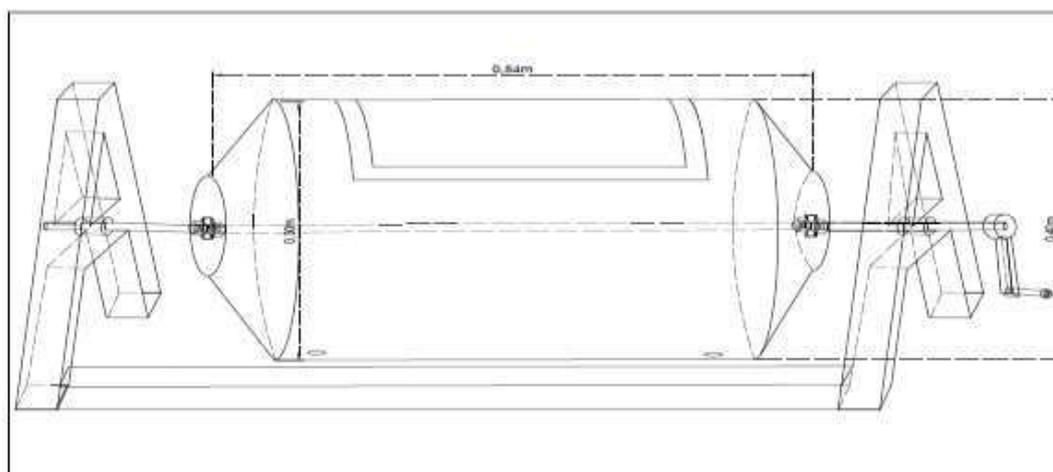
Figura 1 - Estrutura do sistema experimental de compostagem instalada na Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande- PB, Brasil.



Fonte: Araújo (2018)

As unidades de tratamento CPC são formadas por um compartimento com as seguintes dimensões: 0,30 m de largura, 0,54 m de comprimento e altura de 0,40 m (Figura 2). A configuração dessa unidade permitiu o reviramento mecânico por meio de uma manivela.

Figura 2 - Esquema da unidade de tratamento de Polietileno Cilíndrica (CPC), Campina Grande-PB.

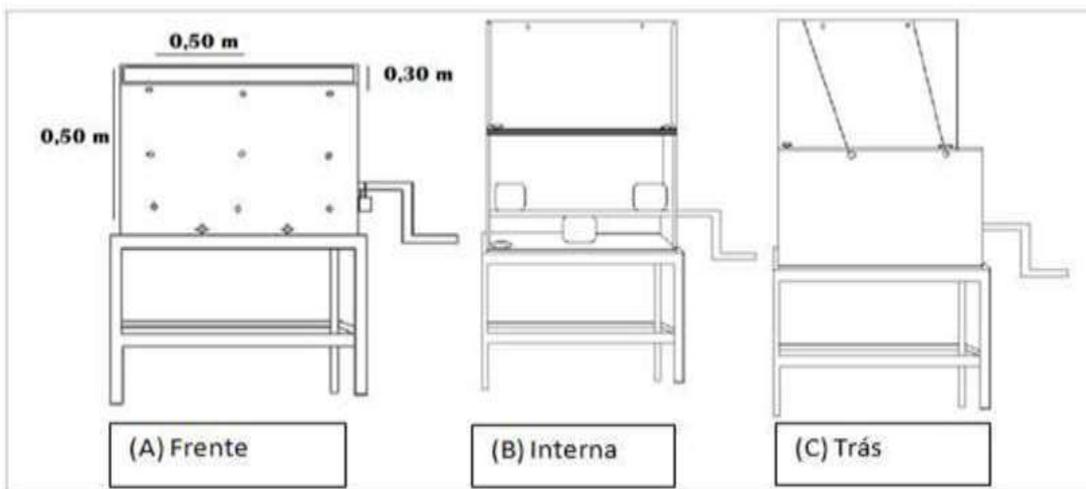


Fonte: Gomes (2018)

As unidades de tratamento CAR são formadas por um compartimento com as seguintes dimensões: 0,30 m e largura, 0,50 m de comprimento e 0,50 m de altura (Figura 3).

Essas têm uma manivela móvel acoplada à parede lateral das unidades para reviramento do substrato (NASCIMENTO, 2015; ARAÚJO, 2018, GOMES; 2019).

Figura 3 - Esquema das unidades de tratamentos de alumínio e aço inoxidável (CAR), Campina Grande-PB.



Fonte: Nascimento (2015); Araújo (2018)

O sistema experimental foi constituído por duas unidades de tratamento. Todas estudadas em triplicata (CPC₁, CPC₂, CPC₃; CAR₁, CAR₂, CAR₃). Cada uma foi alimentada com 26,6 kg de resíduos sólidos orgânicos domiciliares (RSOD). Desse total, 80% foram resíduos sólidos orgânicos e 20% estruturantes, conforme indicação de Silva (2008; 2021).

O estruturante usado foi constituído por materiais não degradados em outros sistemas de compostagem, rejeito e farelo. Essa constituição é resultante do peneiramento após a estabilização da matéria orgânica. A finalidade da inclusão desses constituintes é favorecer a aeração, o teor de umidade adequado à ação dos organismos autóctones e o equilíbrio na relação C/N (SILVA, 2008; 2021).

4.3.3 Monitoramento das Unidades de Tratamento Biológico Aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares.

O monitoramento das unidades de tratamento foi feito a partir de variáveis físicas, químicas e sanitárias (Quadro 5). O conhecimento e o entendimento das variáveis são fundamentais ao processo de compostagem.

Por tratar de processo biológico aeróbio, os organismos responsáveis pela transformação das características físicas e químicas dos resíduos sólidos orgânicos são aeróbios ou anaeróbios facultativos.

Quadro 5 - Métodos e frequência dos parâmetros estudados no processo de compostagem

| | Parâmetros | Frequência | Método utilizado |
|-------------|------------------------------|--------------------------------|--|
| Físico | Temperatura | Diariamente | Termômetro |
| | Umidade | Semanal | Gravimétrico |
| | Aeração | Semanal | Silva (2008) |
| Químico | pH | Semanal | Potenciômetro |
| | STV (%) | Semanal | Gravimétrico |
| | Nitrogênio total (%NTK) | Inicial e final | Método Kjeldhal |
| | Carbono Orgânico Total (%ST) | Inicial e final | Kiehl (1998) 1,8xSTV |
| | Potássio (%ST) | Inicial e final | Fotometria de chama |
| | Fósforo Total (%ST) | Inicial e final | Espectrofotométrico com ácido ascórbico |
| | NH ₄ (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Ferro (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Enxofre (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Magnésio (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Boro (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Manganês (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| | Cálcio (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) |
| Zinco (%ST) | Final | Tedesco <i>et al.</i> , (1995) | |
| Sanitária | Ovos de helmintos (ovos/gST) | Semanal | Meyer (1978) modificado por Silva (2008) |
| | Enterobactérias (UFC/g) | Inicial e final | Silva (2008) |

Fonte: Elaborado pela autora (2021)

Para quantificação da eficiência de transformação da massa final obtida nas unidades de tratamento CAR e CPC foi aplicada a Equação 2.

$$\%T \text{ Massa} = \frac{\text{Massa(a)} - \text{Massa(r)}}{\text{Massa(e)} \cdot 100} \quad (1)$$

Onde:

%T Massa: Percentual de massa transformada (%).

Massa (a): Massa alimentada (kg)

Massa (r); Massa retirada (kg);

Massa (e); composto estabilizado (kg)

4.3.4 Identificação e Quantificação de Ovos de Helminhos (Ovos/gST).

A presença de ovos de helmintos (Ovos/gST) foi monitorada desde a fase inicial (montagem) até o final do processo. Para identificação foram coletadas amostras semanalmente ao longo do período de monitoração.

Para obtenção das amostras, foram coletadas pequenas quantidades de substrato em diferentes pontos e profundidades para formarem uma amostra composta de 25 g. Esse material foi armazenado e ligeiramente homogeneizado em sacos plásticos com zíper e encaminhado ao laboratório para análise. A metodologia de análise seguiu as indicações de Silva (2008; 2021).

Para quantificação de ovos de helmintos na massa de resíduos sólidos domiciliares foi aplicada a Equação 1 (MEYER, 1998).

$$Z = N \times \frac{VF}{(VC+ST)} = \text{ovos/gMS} \quad (2)$$

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

4.4 Análise dos Dados

Os dados foram organizados e analisados por meio de métodos estatísticos, coeficiente de correlação de **Pearson** (r) em planilhas do Excel, figuras e quadros, considerando-se a melhor forma de expressão.

4.5 Considerações Éticas

A pesquisa foi desenvolvida mediante a aprovação e o consentimento de todos os participantes envolvidos de acordo com a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde/MS (BRASIL, 2012).

A resolução assegura os direitos e deveres da comunidade científica em relação aos sujeitos da pesquisa e ao Estado. Por fazer parte de um conjunto de pesquisas voltadas para investigar, avaliar, desenvolver e implementar um modelo de gestão integrada de resíduos sólidos no bairro Malvinas, Campina Grande-PB, sob a ótica da tecnologia social, a pesquisa teve a parceria do trabalho de Dissertação intitulado “Gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares no bairro Malvinas em Campina Grande-PB: alternativas tecnológicas”, também realizado na área de estudo com os mesmos grupos envolvidos. Nessa perspectiva, o trabalho foi submetido ao Comitê de Ética e a aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa Envolvendo Seres Humanos (CEP) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB), com o parecer nº 73948017.3.00005187.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Características físicas, químicas e sanitárias de resíduos sólidos orgânicos domiciliares

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares analisados neste trabalho têm características que demandam tratamento (Tabela 1) para evitar ou reduzir os impactos negativos que podem ser provocados ao meio ambiente e à sociedade: pH ácido (5,2), alto teor de umidade (72%), elevada quantidade de sólidos totais voláteis (83 %ST), presença de enterobactérias ($5,6 \times 10^7$ UFC/gST) e de ovos de helmintos (4,1 ovos/gST).

Tabela 1 - Características física, química e sanitária de resíduos sólidos orgânicos coletados em residências de moradores cadastrados no projeto de coleta seletiva. Campina Grande, Paraíba, Brasil.

| Características dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares | Valores médios (N=3) |
|---|----------------------|
| pH | 5,2 |
| Teor de umidade (%) | 72 |
| STV (%) | 83 |
| COT (%ST) | 40 |
| NTK (%ST) | 1 |
| Enterobactérias (UFC/gST) | $5,6 \times 10^7$ |
| Ovos de Helmintos (ovos/gST) | 4,1 |

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Observa-se que as características identificadas nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, embora de origem domiciliar e coletados previamente selecionados, representam riscos à saúde ambiental e humana, principalmente pela presença de organismos patogênicos, enterobactérias e helmintos na fase de ovo. O lançamento desses resíduos sem o tratamento prévio acarretaria severos impactos negativos, no entanto, como foram recebidos separados e submetidos ao tratamento, esses foram evitados.

Os dados apresentados na tabela 1 mostram que os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentaram pH ácido (5,2). Isso acontece devido os materiais, como cascas de frutas e de verduras que são de natureza ácida, e são considerados como matéria prima na compostagem.

Para Gajalakshmi e Abbasi (2008) o pH do substrato no início da compostagem é ácido, devido à deterioração de compostos facilmente degradáveis e à formação de ácidos orgânicos.

De acordo com a literatura no início do tratamento, a faixa de pH considerada ótima fica entre 5,5 e 8,5, nessa faixa as enzimas se encontram ativas, ideal para o processo de degradação do substrato (WANG et al., 2015). Destaca-se que comumente, os organismos autóctones têm tolerância a esta faixa de pH.

Ao longo do tratamento, os ácidos orgânicos juntamente com os ácidos minerais reagem com as bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e formando um meio alcalino (BARTOLDI *et al.*, 1983; FERNANDES; SILVA, 1999; BIDONE, 2001; RUSSO, 2003). Durante o tratamento ocorrem fase de intensa ação biológica com inúmeras transformações que regularam a acidez, com o consequente aumento de pH, ficando em torno de 6,5 a 8,0.

Para Carneiros (2012) o pH ácido diminui a atividade de bactérias e actinomicetos durante a tratamento e na fase de maturação pode variar entre 7,5 e 9,0, tornando o pH básico.

O teor de umidade encontrado nesta pesquisa foi elevado (72%), indicando que a maior parte da massa dos resíduos sólidos orgânicos é composta por água. Para Batista e Batista (2007) a umidade pode variar, uma vez que os organismos aeróbios produzem água metabólica durante oxidação de H₂ contidas em proteínas, carboidratos e gorduras quando decompõe a matéria orgânica, o que contribui para elevar a umidade do sistema.

No início do tratamento, quando os valores de umidade são maiores que 65%, a água pode ocupar os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose e ainda limitando a atividade metabólica dos organismos, tornando a decomposição lenta, devido à compactação do material.

Para o funcionamento adequado de um sistema de compostagem, o teor de umidade deve se apresentar por volta de 55% e 60% (CARRINGTON, 2001; BIDONE, 2007; RUSSO, 2003; KUSHWAHA, *et al.*, 2008). No experimento em avaliação, o teor de umidade excedeu a esta faixa, no entanto, não houve interferência no processo de compostagem, uma vez que era um sistema submetido às variações ambientais. Neste caso, valores inferiores, travariam a ação dos organismos autóctones em decorrência da diminuição significativa da umidade provocada pela evaporação, uma vez que o tratamento foi montado num período de altas temperaturas ambientais.

Em relação aos sólidos totais voláteis, os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentaram alto percentuais (valor médio=83%ST), devido a sua constituição. Esses tipos de resíduos são caracterizados como uma fonte rica em nutrientes, os quais ao sofrerem transformação, orgânico para inorgânico, torna-nos disponíveis aos organismos autotróficos.

Este parâmetro indica a massa total a ser tratada nas unidades. Quando esses materiais não têm destino adequado favorece o desenvolvimento de organismos que podem causar doenças à população, bem como atrair vetores que podem disseminar organismos patogênicos.

Os sólidos totais voláteis é um indicador da massa total a ser tratada no sistema. A concentração de sólidos refere-se à constituição do substrato, quer seja de origem orgânica ou inorgânica (LEITE *et al.*, 2016).

Observou-se a redução do teor de sólidos totais voláteis em função do tempo durante o tratamento, o que representa uma evolução normal do processo. Esse decaimento gradativo no sistema de compostagem é resultado do consumo de compostos orgânicos complexos pelos organismos participantes, expressando a velocidade de estabilização e nutrientes presentes.

Durante o tratamento, os organismos degradam os compostos orgânicos para obter energia e realizar as suas funções metabólicas e adquirir nutrientes (N, P, K) para geração de nova biomassa (SHEN *et al.*, 2013). 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 e o nitrogênio (N) é fonte básica para a síntese proteica (ALMEIDA; GARBELINI; PINHEIRO, 2013).

A relação C/N no início do sistema foi de 40:1, valor elevado à faixa recomendada pela literatura 25:1 a 35:1, porém não apresentou nenhum prejuízo para o tratamento.

Para o desenvolvimento dos organismos durante a compostagem, a relação carbono/nitrogênio (C/N) é essencial, por constituir fonte de carbono e nitrogênio necessária ao crescimento (CERDA *et al.*, 2017). As pesquisas realizadas por Yang *et al.* (2015) envolveram valores próximos ao trabalho em discussão (20:1). Já Araújo (2018) obtiveram valores elevados (42:1), no entanto, não demonstraram interferência para processo, atingiram os objetivos previstos para compostagem.

A relação carbono/nitrogênio (C/N) é essencial ao desenvolvimento dos organismos, pois fornece carbono e nitrogênio necessários aos organismos e ainda 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).

5.2 Características sanitárias de resíduos sólidos orgânicos

Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentaram quantidade elevada de ovos de helmintos, 4,1 ovos/gST (Tabela 1), apontando para o risco eminente à saúde humana.

Considerando as afirmativas de Neves (2005), a presença de ovos de helmintos é preocupante, ao ponderar a dose infectante (1) e a sua alta resistência ao estresse ambiental.

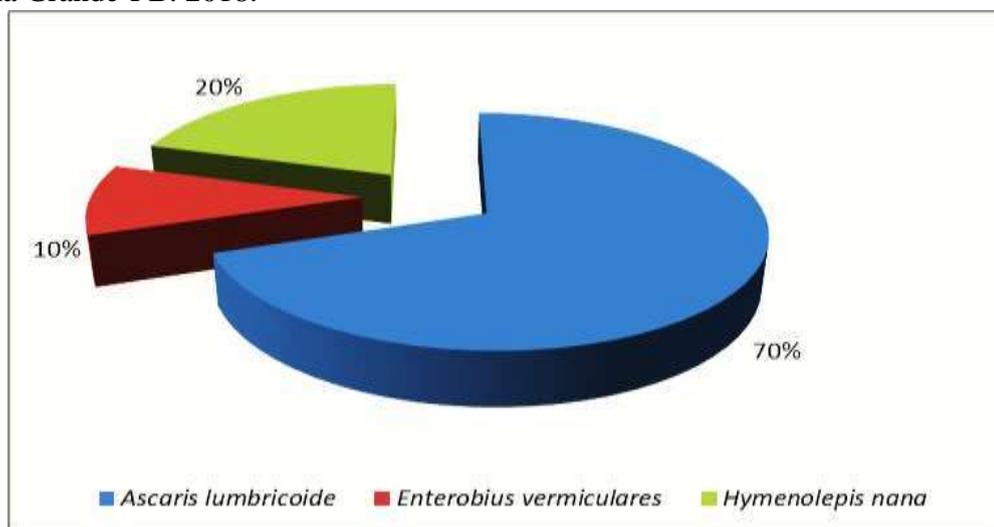
A presença de ovos de helmintos nos resíduos sólidos orgânicos, leva em consideração a alta incidência, a baixa dose infectante e a alta resistência às condições ambientais adversas. Os ovos são resistentes aos fatores ambientais extremos e podem sobreviver a diversos tipos de tratamentos (NEVES, 2010).

As concentrações de ovos de helmintos podem estar relacionadas 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.

Na figura 4, encontra-se a diversidade de ovos de helmintos identificada nos resíduos sólidos orgânicos domiciliares. Essa quantidade de organismos patogênicos nesses materiais é inversamente proporcional às condições sanitárias da população atendida, verificando ser possível traçar as condições de saneamento ambiental da população investigada (SILVA, 2008; 2021).

Verifica-se que os resíduos sólidos orgânicos, embora tenham sido recolhidos diretamente das residências apresentaram organismos que apontam para contaminação desses resíduos. Com destaque aos ovos de helmintos, 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.

Figura 4 - Prevalência de ovos de helmintos em Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares (RSO), gerados em ruas situadas do entorno da Comunidade Jesus Libertador, Malvinas, Campina Grande-PB. 2018.



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Por meio das unidades de tratamento biológico aeróbio foram eliminados os organismos patogênicos encontrados, ao passo que se alcançou a estabilização da parcela orgânica.

As espécies identificadas evidenciam os problemas que podem ser acarretados à saúde quando não ocorre o tratamento. Os ovos de helmintos, em especial *Ascaris*, tem grande aderência à superfície, sendo de difícil remoção nas verduras e frutas e, conseqüentemente são observados nos resíduos sólidos orgânicos (FEACHEM *et al.*, 1983).

Os helmintos da espécie *A. lumbricoide*s ocorrem com frequência variada, devido às condições ambientais e do grau de desenvolvimento socioeconômico da População. Atualmente, mesmo com o aumento das campanhas, os níveis de parasitismo continuam elevados, sobretudo em crianças menores de 12 anos (SILVA; MASSARA, 2005). As espécies de *Ancylostomidae* que parasitam o ser humano desencadeiam processos patológicos crônico, podendo levar até morte (LEITE, 2005). O *E. vermicularis*, apresenta distribuição geográfica mundial; atinge comumente indivíduos de 5 a 15 anos (NEVES, 2005). O helminto *H. nana*, é um organismo cosmopolita que atinge 75 milhões de pessoas infectadas é expressivo no mundo e no Brasil (WHO, 2015), em decorrência, principalmente, das condições precárias de saneamento ambiental (NEVES, 2005).

As enterobactérias encontradas na pesquisa são relatadas na literatura como indicadoras de patógenos. Essas enterobactérias pertencem a família de bacilos gram-negativos, podendo ser móveis ou sem motilidade, dependendo da espécie, e aeróbias ou

anaeróbias, e têm uma preferência por habitar o trato gastrointestinal responsáveis por uma ampla gama de infecções em humanos e animais, crescem em uma variedade de meios sólidos orgânicos, apresentando relevância como indicador de patogênicos.

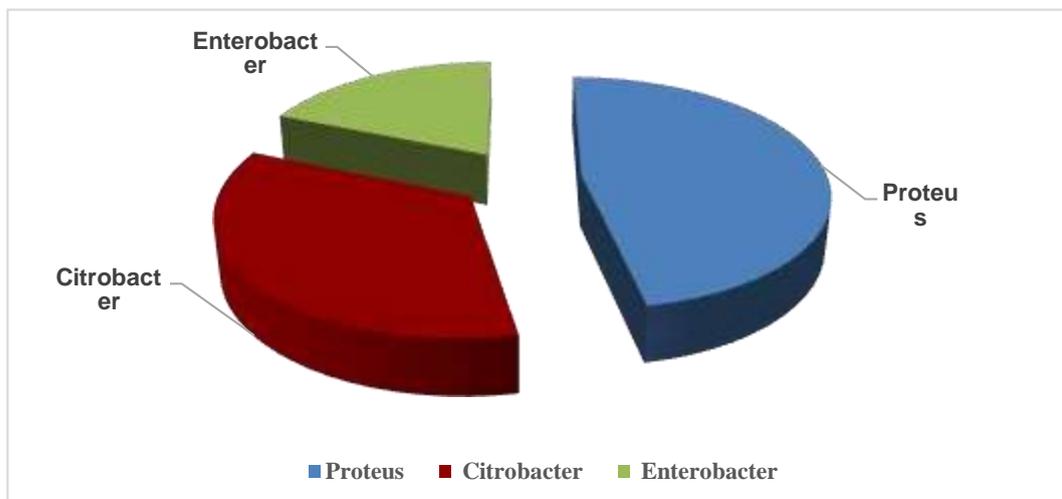
As enterobactérias fazem parte desse grupo de organismos que degrada a matéria orgânica durante a compostagem. Essas bactérias ajudam na transformação e na concentração de nutrientes no composto e no solo, como constatado pela pesquisa de Sanchez *et al.* (2017).

Chandna *et al.* (2013) estudando a diversidade bacteriana durante a compostagem de subprodutos agrícolas, destacaram em sua pesquisa a ausência das enterobactérias no produto da compostagem. Esses organismos encontram condições ideais para a sua sobrevivência, e em alguns casos para a sua reprodução: alto teor de umidade e de sólidos totais voláteis (72% e 83%ST, respectivamente), pH ácido (5,2), carbono (40%ST) e nutrientes, como N (1%ST).

No trabalho executado por Gomes (2019), as enterobactérias do gênero *Proteus* foram dominantes, diferindo dos resultados obtidos por Symanski (2005), que verificou o domínio do gênero *Enterobacter* na comunidade bacteriana presente nas unidades da compostagem. Apontando para o fato de que a comunidade bacteriana na compostagem é bem complexa e varia de acordo com o substrato utilizado. Dentro deste gênero foram identificadas três espécies *Citrobacter freundii*, *Citrobacter diversus* e *Citrobacter amalonaticus* (GOMES, 2019). Sendo que as espécies *Citrobacter freundii*, *Citrobacter diversus* são patógenos oportunistas, podendo causar gastroenterites e meningites em indivíduos imunodeprimidos (PEREIRA, S.S; MELO, 2013).

A figura 5 mostra a diversidade de Enterobactérias em resíduos sólidos orgânicos domiciliares.

Figura 5 - Enterobactérias em resíduos sólidos orgânicos domiciliares (RSO), gerados em ruas situadas do entorno da Comunidade Jesus Libertador, Malvinas, Campina Grande-PB. 2018.



Fonte: (Gomes, 2019)

A presença de Enterobactérias em resíduos sólidos orgânicos é relatada na literatura, demonstrando que já estavam presentes no produto alimentício original ou não foram cumpridas as barreiras sanitárias. Por outro lado, não há dados suficientes que relatem a sua importância e funcionalidade neste tipo de resíduo no sistema de compostagem, destaca-se, todavia, a sua importância clínica e sanitária, como afirmam Wu *et al.* (2018).

As enterobactérias patogênicas são as mais comuns infectando humanos em todo o mundo. Esses organismos são resistentes às múltiplas medicações. Tornaram-se endêmicos, levando a problemas substanciais no manejo de infecções graves (GOMES, 2019). Da mesma forma, a presença de enterobactérias nos resíduos sólidos orgânicos é um alerta, por ser um indicador de provável contaminação fecal, como citam Gomes *et al.* (2021).

Nesta pesquisa, os valores médios encontrados para enterobactérias foram de $5,6 \times 10^7$ UFC/gST. Este grupo de bactérias aponta para a possibilidade de causar doenças, podendo, no entanto, desempenhar outras funções que permitam mudanças favoráveis ao ambiente onde atuam.

No ambiente, a maioria dos membros das enterobactérias é importante à degradação da matéria orgânica, e as chances de causarem doenças irão depender da dose infectante, idade e a resposta imunológica do indivíduo (GOMES *et al.*, 2021). Neste viés, a falha na higienização dos alimentos reflete diretamente nos resíduos sólidos orgânicos que são destinados para compostagem em escala domiciliar. Embora, estudos tenham mostrado a compostagem enquanto procedimento eficaz para inativação dos patógenos (RUSSO, 2003;

SILVA, 2008; MEDEIROS, 2009; HECK *et al.*, 2013; NASCIMENTO, 2015, SILVA *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2021).

5.3 Avaliação da influência temporal da temperatura no processo de compostagem em relação ao material carbonáceo, nitrogenado e parasitológico.

Durante o monitoramento dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares, a temperatura foi utilizada como indicador universal para o monitoramento das duas unidades em triplicata: unidade de tratamento CAR e unidade de tratamento CPC, totalizando seis unidades de tratamento móveis. A aferição da temperatura foi realizada a partir de nove pontos distintos do material, em cada sistema, alternando-as entre a superfície, centro e base.

Considerando que os níveis de temperatura termófilos prevaleceram na superfície e que estes são essenciais para averiguar as mudanças ocorridas nos sistemas, as análises tomaram por base estes níveis. Fato que não prejudicará fidedignidade dos dados, haja vista que os reviramentos realizados inicialmente três vezes por semana favoreceram a oxigenação e homogeneidade dos substratos em tratamento.

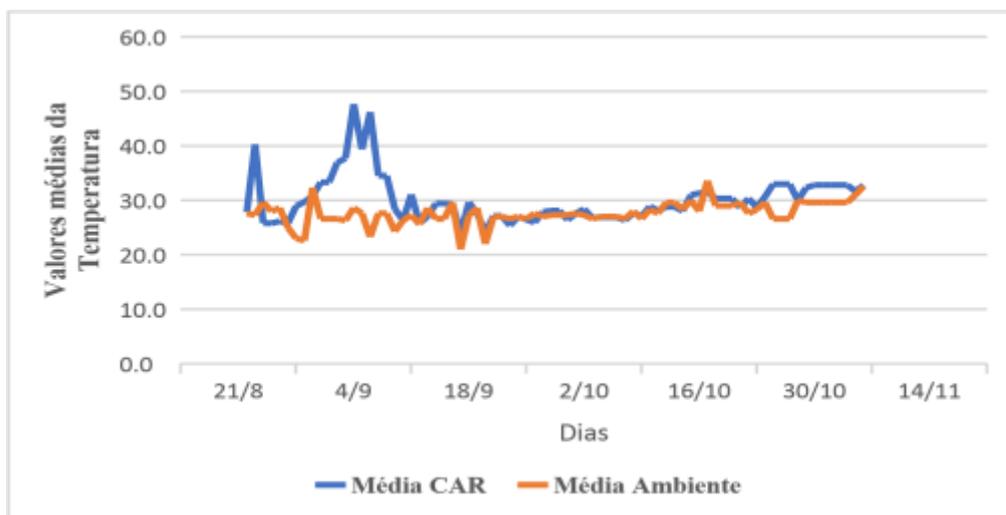
Destaca-se que foi evidenciada apenas quantidade de ovos de helmintos viável, haja vista que esses são os que detêm interesse sanitário. Ovo de helminto não viável não continuará o seu ciclo. A sua estrutura morfológica é danificada, como foi constatado durante as análises, por isso, são corados quando é aplicada a técnica de coloração rápida, utilizando-se solução de Safranina a 0,1% (corante biológico).

As unidades de tratamento estudadas apresentaram mudanças nos níveis de temperatura, conforme mostra as Figuras 6 e 7. Observa-se que o início do tratamento não houve aumento significativo das temperaturas médias na massa do substrato, no processo de bioestabilização aeróbia das unidades de tratamento CAR e CPC. Estes valores se encontraram baixos, próximos à temperatura ambiente. Isso é presumível, para o início do processo de compostagem, em face ao alto teor de umidade (>70%), STV (>80%ST) e pH ácido (5,2), condições que reduzem a permeabilidade do substrato, limitando assim, a atividade dos organismos aeróbios.

Os valores máximos de temperatura obtidos foram diferentes para CAR e CPC, indicando que a degradação e os organismos presentes nos materiais em compostagem também variaram, provavelmente em consequência do material e da configuração das

unidades. Ao longo do processo, a temperatura em ambas as unidades de tratamentos, aumentaram como previsto (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Magnitudes dos valores médios de temperatura registrados na unidade de tratamento CAR

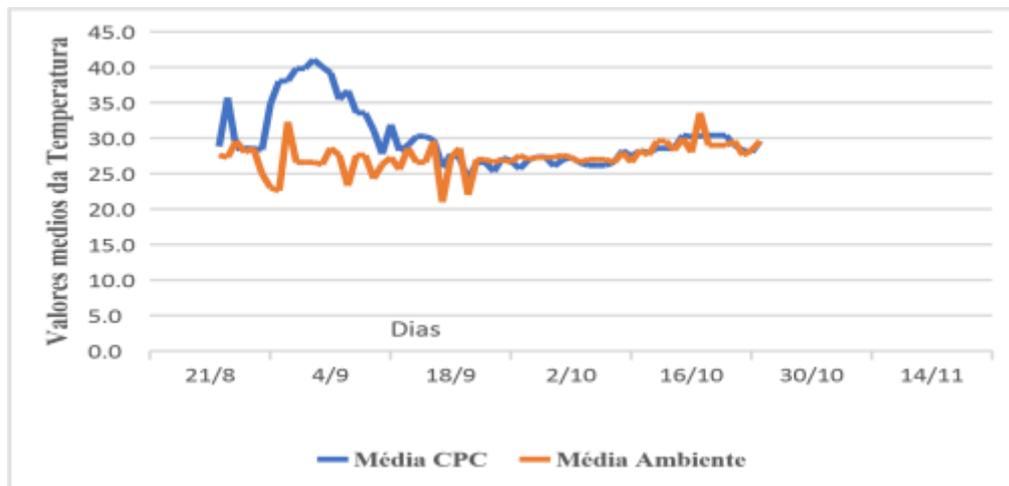


Fonte: Elaborada pela autora (2021)

No 13° ao 18° dia, as faixas de temperaturas médias registradas para a unidade de tratamento CAR variaram entre 40 e 50° C. Em CPC as temperaturas médias variaram entre 40 e 43 °C. As altas temperaturas verificadas caracterizaram a fase termófila (figuras 5 e 6). A unidade de tratamento CAR alcançou as maiores faixas de temperatura, o que pode estar relacionado ao tipo do material que constitui a unidade, bem como à atividade metabólica dos organismos presentes.

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).

Figura 7 - Magnitudes dos valores médios de temperatura registrados na unidade de tratamento CPC



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

As unidades de tratamento CAR e CPC em estudo não atingiram as faixas de temperaturas consideradas ótimas (55 °C e 60 °C) por muitos pesquisadores. 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.

Para melhor compreensão do comportamento temporal foi realizado a análise estatística, ANOVA. De acordo com o resultado obtido, observa-se que as variações das temperaturas entre as unidades CAR e CPC, não apresentaram diferenças significativas, sendo o valor de F (0,04) menor do que o valor de F crítico (4,41), demonstrando assim, a tendência à uniformidade da temperatura.

Na variação temporal dos valores referentes ao teor de umidade, nas unidades de tratamento CAR e CPC, foram observados altos percentuais de umidade (67,33 e 68,3%, respectivamente), conforme mostra a figura 8. 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% e 77,32%.

Figura 8 - Valores médios da variação temporal do Teor de Umidade (%ST) nas Unidades de Tratamento CAR e CPC.



Fonte: Elaborado pela autora (2021)

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 (GOMES, 2019). Como o sistema foi instalado em escala real, o alto teor de umidade não afetou o desempenho das unidades estudadas. No início do processo, ocorreu a ação de organismos adaptados a estas condições somadas a evaporação provocada pela alta temperatura ambiente. Dessa forma, compreende-se que as unidades de tratamento CAR e CPC ficaram suscetíveis às variações da umidade relativa do ar, temperatura ambiente e exposição à radiação.

Destaca-se que outros autores também constataram teores de umidade alto, a exemplo de Margarida et al. (2017), os quais trabalharam com a compostagem doméstica utilizando diferentes minerais e registraram valores de umidade entre 69,56% e 74,82%.

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

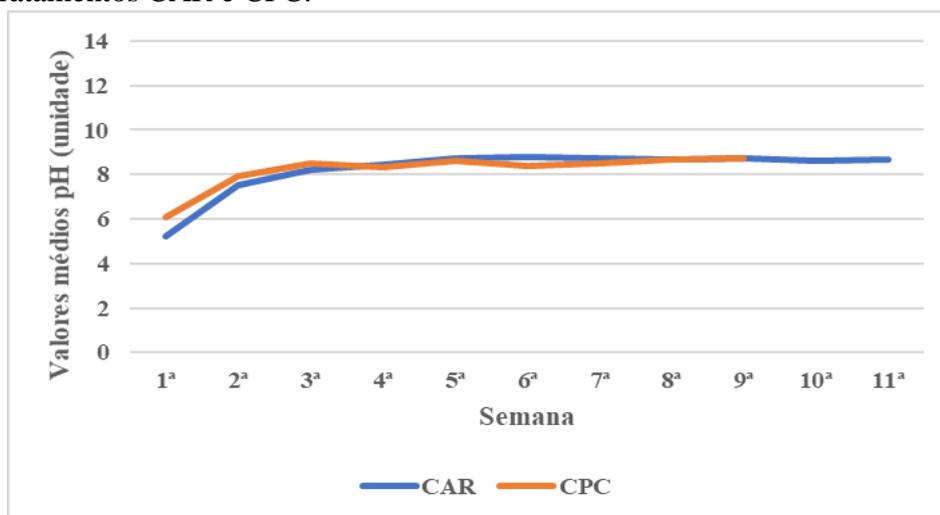
Para verificar a existência de diferença significativa do parâmetro teor de umidade entre as unidades de tratamento CAR e CPC, foi aplicada a análise de variância (ANOVA), observando-se que os resultados demonstraram a existência de diferença significativa entre a unidade de tratamento CAR e CPC, uma vez que o $F(6,5)$ foi maior que o valor do F crítico (4,41).

Na variação temporal dos valores do pH, nas unidades de tratamento CAR e CPC, foram encontrados pH ácido (6,11 e 5,2, respectivamente), indicando que os materiais em tratamento 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. Notou-se durante a faixa de pH ácido, a presença frequente de fungos em ambas Unidades. A ação de diferentes organismos e subsequentemente, a oxidação do nitrogênio orgânico em nitrogênio amoniacal resultou no aumento do pH na compostagem, conforme citam Valente et al. (2009).

Na 3ª semana do experimento, o pH aumentou chegando a níveis alcalinos, 8,23 para CAR e 8,49 para CPC, caracterizando a compostagem em um processo de mudanças rápidas, tendo vista as variações de pH, umidade e temperatura que ocorreram no curto período, conforme mostra a figura 9.

Figura 9 - Variação temporal dos valores do pH (%ST) do processo de compostagem das unidades de tratamentos CAR e CPC.



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

As faixas de pH registradas foram semelhantes para CAR e CPC. Os valores seguiram um padrão similar aos relatados por Symanski (2000), Margaritis et al. (2017) e Araújo (2018). Esses trabalharam com resíduos sólidos orgânicos provenientes também de residências.

Segundo a literatura, o valor de pH do composto é amplamente utilizado para avaliar a qualidade dos produtos de compostagem, porque influencia no pH do solo e na biodisponibilidade de nutrientes para plantas após a sua aplicação, assim como citam Wang et

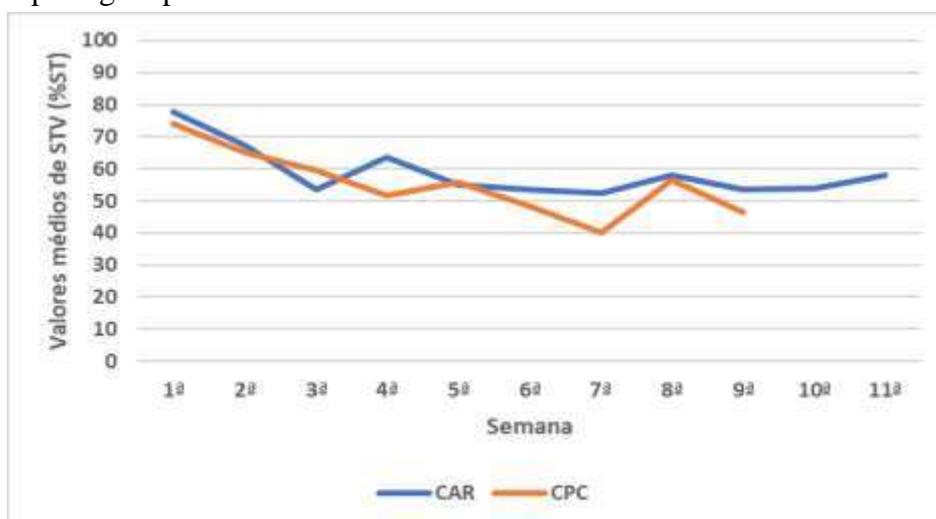
al. (2015). Ainda conforme os autores, o valor de pH ideal para o composto encontra-se entre 6,9 e 8,3.

Para verificar a possibilidade de existência de diferença significativa do parâmetro pH entre as unidades de tratamento CAR e CPC, foi feita a análise de variância (ANOVA). Os resultados demonstraram a não existência de diferença estatística significativa, uma vez que o F (0,0003) foi menor que o valor do F crítico (4,41).

Avaliando-se a variação temporal para os valores de sólidos totais voláteis (STV) para as unidades de tratamento CAR e CPC, foram identificados valores expressivos (71,1 e 74,11%, respectivamente). No decorrer do tratamento houve o decaimento gradual da matéria orgânica, refletindo que na constituição dos substratos em tratamento havia conteúdo orgânico facilmente degradável, como açúcares proteínas e lipídios, o que resultou em maior atividade dos organismos presentes, acelerando a velocidade de estabilização do composto.

Por meio dos valores de STV foi possível acompanhar a degradação da matéria orgânica ao longo do processo de compostagem, como mostra a figura 10.

Figura 10 - Valores médios da variação temporal de STV (%ST) observados ao longo do processo de compostagem para as unidades de tratamentos CAR e CPC



Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Na 4ª semana foi verificado o acréscimo de STV. 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, como aponta Gomes (2021).

Para verificar a possível existência de diferença significativa para STV (%ST) entre as unidades de tratamento CAR e CPC foram aplicadas a análise estatística, ANOVA. Observou-se que os resultados obtidos não apresentaram diferença significativa, uma vez que o F (0,55) foi menor que o valor do F crítico (4,41).

Em relação à presença de helmintos na fase de ovos, nos resíduos sólidos orgânicos coletados foi encontrada quantidade significativa de ovos de helmintos, 4, 10 ovos/gST (Tabela 1). Ao longo do processo de compostagem ocorreu redução significativa nas duas unidades estudadas, obtendo-se um composto com 0,00 ovos/gST, atingindo-se um dos objetivos da compostagem: sanitização dos resíduos sólidos orgânicos.

Em termos de comparação, na unidade de tratamento CPC a sanitização foi mais acelerada. Demandou menor tempo, assim como ocorreu com o processo de estabilização.

Apointa-se que a configuração cilíndrica da unidade de tratamento CPC propiciou níveis de temperaturas termófilas na superfície por maior espaço de tempo (sete dias), no entanto, na base não foram registrados níveis superiores a 40 °C. Entende-se que há maior probabilidade de ovos de helmintos se localizarem em ambiente de menor incidência de radiação solar e de nível de temperatura. No entanto, nas semanas posteriores à fase termófila, houve a diminuição de ovos de helmintos no substrato, alcançando-se no final do tratamento a sanitização do composto.

Ressalta-se que os substratos que alimentaram as unidades tratamento eram de origem comum e foram submetidas a igual procedimento no que se referem ao monitoramento, as transformações decorreram do respectivo das unidades tratamento (CAR e CPC), apontando para a influência direta da configuração e do tipo de material usado para sua construção.

Dando prosseguimento aos ovos de helmintos, estes ainda foram encontrados nas Unidades CAR e CPC (3,1 e 2,7 ovos/gST), refletindo que na fase mesófila 2 (FM2C), embora o substrato esteja próximo à estabilização, ainda não há a sanitização. Este dado demonstra que é necessário o monitoramento durante todas as fases da unidade de compostagem.

Em sucessão a fase mesófila 2 (FM2C), observaram-se mudanças peculiares à fase de maturação (FMTC) estabilidade, nessa fase houve a redução dos níveis de temperatura, diminuição de fungos e mesoinvertebrados, principalmente de dípteros na fase de larva, mas foram notados na forma de pupa nas unidades CAR e CPC (30 < 40°C), de teor de umidade (46,53 e 65,33%, respectivamente) e STV (53,6 e 59,4 %ST, respectivamente) e pH alcalino, com valores mais distante do pH neutro (8,24 e 8,49, respectivamente),

direcionando para estabilização e sanitização, principais objetivos intencionados para tratamento dos resíduos sólidos orgânicos; com maior tempo de duração na unidade tratamento CAR, comparando-se com a Unidade tratamento CPC.

Estas mudanças caracterizaram a terceira fase da compostagem, a fase mesófila 2 (FM2C). Nesta fase, foi identificada diferença temporal entre as unidades (03 e 06 dias, respectivamente) e os substratos mostraram-se com menor granulometria, coloração mais escura e cheiro mais próximo de solo (terra).

Entre as alterações, constataram-se níveis de temperatura próximo ou igual a ambiente em todos os pontos aferidos dos sistemas ($25 < 30$ °C), exceto na base da unidade tratamento CAR nos dias 24 a 26 e 28 e nos três pontos medidos na Unidade tratamento CPC, dias 21, 24 a 26; teores de umidade (CAR= 13,47 - 42%; CPC=27,6 - 46,27%) e de STV baixos (52,5 - 63,5%ST; CPC= 40,2 - 56,6%ST) e pH alcalino (CAR=8,44 - 8,77; CPC=8,35 - 8,75).

Em referência aos ovos de helmintos, ao longo da FMTC aqueles que ainda estavam nas unidades de tratamentos CAR e CPC foram eliminados. Os ovos de helmintos ainda percebidos durante o exame microscópico apresentaram-se com deformação na sua estrutura morfológica, logo eram inviáveis. Nota-se que a eliminação de ovos de helmintos decorreu de um conjunto de fatores, conforme mostram os dados apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 - Fases identificadas nas unidades tratamento CAR e CPC e condições que favoreceram a destruição de ovos de helmintos.

| Fase | Nível de temperatura (°C) | | Umidade (%) | | STV (%ST) | | pH | | Ovos de helmintos (gST) | | Duração | |
|---|---------------------------|-------------|-------------|------------|-----------|----------|-----------|-----------|-------------------------|-------|-----------|-----------|
| | CAR | CPC | CAR | CPC | CAR | CPC | CAR | CPC | CAR | CPC | CAR | CPC |
| Fase inicial (FIC)¹ – instável | 26,53 -27 | 30,63 | 72 | 72 | 83 | 83 | 5,2 | 5,2 | 4,1 | 4,1 | 5 | 1 |
| Fase mesófila 1 (FM1C) - instável | 31,87-39,20 | 29,43-38,73 | 67,33 | 68,3 | 74,1 | 74,11 | 5,2 | 6,11 | 4,5 | 4,7 | 9 | 6 |
| Fase termófila (FTC) - instável | 40,97-52,97 | 40,07-44,43 | 64,53 | 69,2 | 67,2 | 65,1 | 7,5 | 7,9 | 1,5 | 5,7 | 4 | 7 |
| Fase mesófila 2 (FM2C)- instável | 30,50-35,63 | 31,67-38,73 | 46,53 | 65,33 | 53,6 | 59,4 | 8,24 | 8,49 | 3,1 | 2,7 | 3 | 6 |
| Fase de Maturação (FMTC) - em estabilidade | 23,77-28,63 | 23,77-29,83 | 13,47-63,5 | 27,6-46,27 | 52,5-63,5 | 40,2-6,6 | 8,44-8,77 | 8,35-8,75 | 0 -1,5 | 0-2,7 | 50 | 35 |
| Total de duração (dias) | | | | | | | | | | | 71 | 55 |

Fonte_ Dados referentes a primeira análise para umidade, STV, pH e ovos de helmintos.

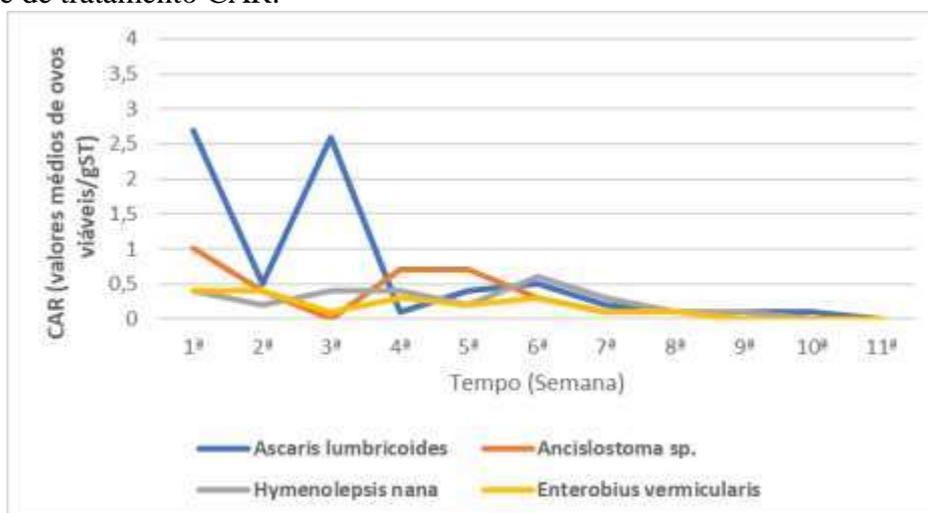
Constatou-se que a eliminação de ovos de helmintos não depende unicamente de um fator, mas de um conjunto de fatores que propicia o trabalho dos organismos autóctones e consequentemente, favorece o aumento de temperatura. Fatores denominados neste trabalho de condições ambientais adversas: níveis de temperatura superiores a 40 °C, por no mínimo quatro dias, baixa umidade e matéria orgânica (STV) e pH alcalino (Quadro 6).

Os ovos de helmintos ainda percebidos durante o exame microscópico apresentaram-se com deformação na sua estrutura morfológica, logo eram inviáveis.

Ao longo do monitoramento do processo de compostagem, foram identificados ovos de *Ascaris lumbricoides*, *Ancylostoma sp.*, *Enterobius vermicularis* e *Hymenolepis nana*, no entanto, observou-se diferença entre as duas unidades de tratamento CAR e CPC, em termos de prevalência e resistência de helmintos durante o tratamento aplicado.

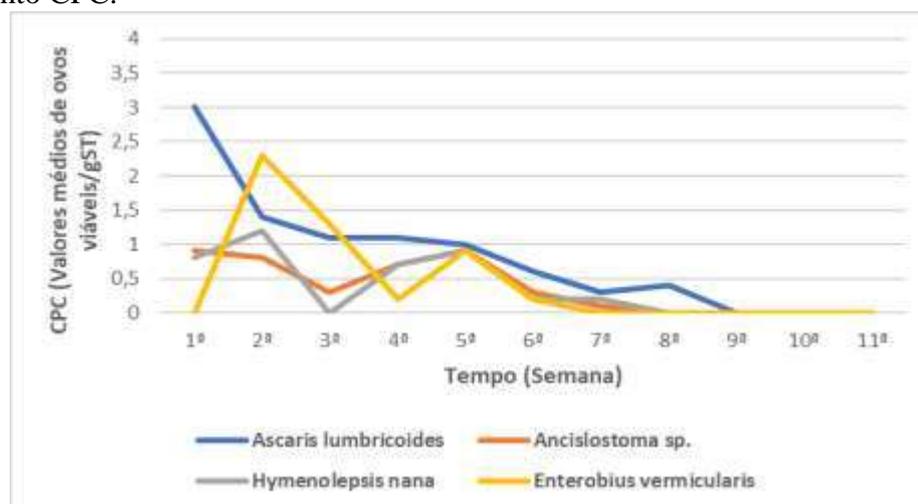
Considerando o número de ovos visualizado, averiguou-se que na unidade de tratamento CAR, prevaleceram ovos de *Ascaris lumbricoides*, seguidos de ovos de *Ancylostoma sp.*, *Hymenolepis nana* e por fim, de *Enterobius vermicularis* (Figura 11). Para a unidade de tratamento CPC, predominaram ovos de *Ascaris lumbricoides*, seguidos de ovos de *Enterobius vermicularis*, *Ancylostoma sp.* e *Hymenolepis nana* (Figura 12).

Figura 11 - Magnitude dos valores médios da diversidade dos ovos de helmintos para unidade de tratamento CAR.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

Figura 12 - Magnitude dos valores médios da diversidade dos ovos de helmintos para unidade de tratamento CPC.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

De acordo com Nascimento (2015), Nascimento et al. (2017), Araújo et al. (2018; 2019), Silva (2021) e Silva et al. (2020), os resíduos sólidos orgânicos domiciliares apresentam condições favoráveis para disseminação de organismos patógenos, logo, segundo Silva (2021), o tratamento deve reunir condições adversas para estes organismos e há várias tecnologias que podem ser aplicadas para o tratamento, dentre as quais, o tratamento biológico aeróbio descentralizado.

Ponderando-se a variável resistência ao tratamento aplicado, verificou-se nas duas unidades de tratamentos que os ovos de *Ascaris lumbricoides* foram os mais resistentes. Permaneceram até oitava semana na CPC e até a décima semana na CAR. Seguido por ovos de *Ancylostoma sp.*, *Hymenolepis nana* e *Enterobius vermicularis* (Figuras 11 e 12).

Who (2004), Carrington (2001) e Feachem et al. (1983) mencionam que umidade baixa, níveis de temperatura superiores a 40 °C são condições adversas aos diferentes ovos de helmintos, inclusive aos mais resistentes, tais como: *Ascaris lumbricoides*, *Taenia sp.* e *Trichuris trichiura*.

Carrington (2001) cita que a exposição de ovos de helmintos à temperatura de 50° C por três dias os inativam, no entanto, segundo a USEPA (1999) neste nível de temperatura são necessários cinco dias de exposição para sua inativação.

De acordo com os autores Insam e Bertoldi (2007), Bernal et al. (2009) e Troy et al. (2012), a elevação dos 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.

Para Pereira e Gonçalves (2011), a temperatura é o fator mais indicativo do equilíbrio biológico e o calor gerado no processo da compostagem elimina microrganismos patogênicos que não sobrevivem a temperaturas acima de 55°C por mais de 24 horas.

Na visão de Kiehl (2004), durante as etapas do tratamento ocorrem sucessão que predominam microrganismos. Esses estão diretamente envolvidos com influência da temperatura que varia conforme as características do composto, como o teor de umidade, a disponibilidade de oxigênio, relação C/N e pH.

A maior resistência de ovos de *Ascaris lumbricoides* de acordo com os dados coletados, justificada pela sua estrutura morfofisiológica, ratifica as teses de Wharton (1980), Silva (2008), Neves (2010), Schultz (2016) e Silva (2021) e reafirma o seu uso como indicador de qualidade sanitária do composto orgânico proposta por Silva (2008; 2021).

Para verificar a existência de diferença significativa em relação à diversidade de ovos de helmintos entre as unidades de tratamento CAR e CPC foi aplicada a análise de Variância (ANOVA). Os resultados encontrados não demonstraram diferença significativa, durante o período de monitoramentos, uma vez que o F (1,85) foi menor que o valor do F crítico (4,4), conforme mostram as Figuras 7 e 8.

5.4 Análises da qualidade Nutricional e sanitária do composto produzido

Cada Unidade de tratamento foi alimentada com 26,6 kg de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, totalizando 79,8 kg por tipo de Unidades triplicadas. Esses resíduos passaram por várias transformações físicas, químicas e biológicas ao longo da tratamento, alcançando estabilização da matéria orgânica. A massa final obtida nas unidades de tratamento CAR e CPC constituíram-se de composto tipo pó (3,4 e 2,6 kg, respectivamente), composto tipo farelo (2,8 a 2,8 kg, respectivamente) e rejeito (6,3 a 7,2 kg, respectivamente), como mostra na Tabela 2.

O rejeito compreendeu basicamente pedaços de ossos, galhos de árvores e caroços de frutas, resíduos de difícil degradação, mas que podem ser utilizados na composição do substrato de outro tratamento como estruturante, contribuindo para o controle de umidade.

Tabela 2 - Valores médios referentes ao balanço de massa de CPC e CAR.

| Unidades de tratamento | 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 |

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

A composição da massa final das unidades de tratamento CPC e CAR como também o percentual de transformação do substrato em composto, não apresentaram variação estatística significativa. O percentual de transformação foi de 16,3% e 16,2%, respectivamente (Tabela 2).

A quantidade de composto orgânico gerada nas duas unidades de tratamento CAR e CPC foi 25,1 kg, no entanto, ponderando-se o composto tipo pó, a unidade de tratamento CAR mostrou-se mais eficiente, gerando maior quantidade deste tipo de composto. (Tabela 2). Fato refletido na menor quantidade de rejeitos. Uma vez que nas unidades de tratamento ocorreu a produção significativa de rejeitos, constituindo 57% do composto em CPC e 50,4% em CAR. Por conseguinte, verifica-se que a unidade de tratamento CAR gerou maior quantidade de composto tipo pó e menor quantidade de rejeito.

Sobre os sólidos totais voláteis, as massas iniciais continham 18,57 kg para CAR e CPC individualmente. Estes valores estão relacionados à composição dos resíduos sólidos orgânicos coletados nas residências, os quais detinham alto percentual de STV. Ao longo do processo de compostagem, a matéria orgânica foi degradada, por conseguinte, os valores de STV decresceram.

Em termos comparativos, a maior redução de STV foi encontrada na unidade de tratamentos CPC (eficiência de 26,17% de transformação). Esta diminuição gradativa de STV era esperada e a maior eficiência de CPC pode estar relacionada à sua configuração e material construtivo.

Destaca-se que com a redução de STV houve também menor quantidade de organismo participando da compostagem, como também menor níveis de temperatura. Apontando-se para a redução da atividade biológica em função das características do material em

tratamento, podendo-se considerar que a transformação destas Unidades está dentro do que preconiza a literatura (WHARTON, 1980).

Na verificação da velocidade de biodegradação da matéria orgânica, foram analisados os parâmetros das unidades de tratamento CAR e CPC, esses apresentaram diferentes valores na decomposição, em termos do decaimento dos parâmetros físico, químico e sanitário monitorados durante o tratamento, conforme mostra a Tabela 3.

Tabela 3 - Dados quantitativos da massa de biodegradação na concentração obtidos das diferentes unidades de tratamento CAR e CPC.

| UNIDADE DE TRATAMENT | STV% | COT(%ST) | N(%ST) | K(%ST) | P(%ST) |
|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| CAR | K= 0,0176 dia ⁻¹ | K=0,00056dia ⁻¹ | K= 0,042 dia ⁻¹ | K= 0,005 dia ⁻¹ | K= 0,009 dia ⁻¹ |
| CPC | K= 0,023 dia ⁻¹ | K=0,0084dias ⁻¹ | K= 0,057 dia ⁻¹ | K= 0,007dia ⁻¹ | K= 0,015 dia ⁻¹ |
| VALORES MÉDIOS | K= 0,02 dia ⁻¹ | K=0,007 dias ⁻¹ | K= 0,049 dia ⁻¹ | K= 0,006 dia ⁻¹ | K= 0,015 dia ⁻¹ |

Fonte: Elaborada pela autora (2021)

Nas unidades de tratamento CAR, os valores encontrados da constante (K) variaram de $k=0,017 \text{ dia}^{-1}$ a $k=0,009 \text{ dias}^{-1}$, indicando que os parâmetros monitorados apresentaram o processo de estabilização do substrato de forma lenta, levando a formação dos ácidos graxos voláteis consequentemente, os sólidos totais voláteis nessas Unidades, influenciando na redução da velocidade da degradação de STV, resultando na diminuição do valor de pH, refletindo-se nas menores temperaturas no decorrer do tratamento, limitando-se a ação dos organismos e consequentemente, reduzindo a velocidade de degradação de substrato, como afirmam Rasapoor e Pourazizi (2016).

Ressalta-se que as temperaturas menores aumentaram o tempo requerido para eliminação de ovos de helmintos.

Nas unidades de tratamento CPC, os valores obtidos para K variaram de $k=0,023 \text{ dias}^{-1}$ a $k= 0,015 \text{ dias}^{-1}$ expondo maior velocidade de biodegradação de STV, justificando-se por apresentarem temperaturas maiores, diminuição do teor de umidade e dos sólidos totais, demonstrando a interdependência entre os parâmetros e reforçando a importância do controle dos parâmetros para o processo de estabilização, assim como defendem Rasapoor e Pourazizi (2016). A maior velocidade de degradação de STV identificada na unidade CPC refletiu-se em menor tempo para o alcance da estabilização do substrato (31 dias), comparando-se a

unidade CAR (51 dias), ou seja, para a transformação de resíduos sólidos orgânicos em composto.

Nota-se que os substratos das unidades de tratamento CAR e CPC se comportaram diferentes quanto à velocidade de decomposição da matéria orgânica (STV). Este fato é demonstrado através de suas constantes de velocidade k , expressas em dia, pois quanto maior seu valor, maior a rapidez de decomposição.

Para os percentuais de NTK e de fósforo não aumentaram durante o tratamento gradativamente nas unidades de Tratamentos, no entanto a diminuição na concentração de NTK está associada à concentração do nitrogênio desprendida para fase gasosa, diferente da concentração de COT que se perde, principalmente na forma de CO_2 .

6 CONCLUSÕES

De acordo com os dados coletados, os resíduos sólidos orgânicos domiciliares, apresentaram características física, química e sanitária que demandam tratamento antes de sua destinação final. O alto teor de umidade (72%ST) e de sólidos totais voláteis (83%ST), presença de enterobactérias ($5,6 \times 10^7$ UFC/g) e de ovos de helmintos viáveis (4,1 ovos/gST), podendo acarretar problemas quando não são tratados.

A tecnologia avaliada, unidades de tratamento CAR e CPC confeccionadas com materiais e configurações distintas: CAR- aço inox (retangular) e alumínio e CPC- polietileno (cilíndrico) apresentaram tempo de estabilização aquele registrado na literatura (CAR- 76 dias; CPC- 56 dias), transformou dessa forma, problema em solução.

Dentre os ovos de helmintos identificados nos resíduos sólidos orgânicos coletados, 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 obtidas nas unidades de tratamento CAR e CPC foram fundamentais à eliminação de ovos de helmintos, não sendo registrado no composto final, composto tipo pó, garantindo um produto com qualidade sanitária.

A destruição de ovos de helmintos não dependeu unicamente de um fator, mas de um conjunto de fatores que propiciou o trabalho dos organismos autóctones e conseqüentemente, favoreceu o aumento de temperatura. Fatores denominados neste trabalho de condições ambientais adversas: níveis de temperatura superiores a 40 °C, por no mínimo quatro dias, baixa umidade e matéria orgânica (STV) e pH alcalino. Somada à configuração e ao material empregado para construção das unidades, bem como as relações de predação que ocorreram nas unidades com a participação sucessional de diferentes organismos, a exemplo de dípteros na forma de larva, os quais foram consumidores vorazes. Estes fatores observados demonstram a necessidade de monitoramento das Unidades durante o tratamento, não apenas na fase termófila e aponta para a necessidade de uso de estruturante na montagem do tratamento (80% de resíduos sólidos orgânicos domiciliares + 20% de estruturantes).

No produto, composto tipo pó, não foram registrados ovos de helmintos, apontando-se para o alcance de um dos objetivos da compostagem, a higienização ou sanitização. Os resíduos sólidos orgânicos domiciliares que continham expressiva quantidade de ovos de helmintos (4,1 ovos g/ST) foram transformados em adubo sem a presença desses organismos (0,0 ovos g/ST), considerados de relevância sanitária e médica.

Nas condições estudadas, constatou-se a maior resistência de ovos de *Ascaris lumbricoides*, justificada pela sua estrutura morfofisiológica, reafirmando a importância de seu uso como indicador de qualidade sanitária do composto orgânico (adubo).

Conclui-se que o tratamento biológico aeróbio em sistemas descentralizados, móveis e com aeração mecânica favoreceu o aumento de temperatura e conseqüentemente, provocou condições adversas aos ovos de helmintos, destruindo-os; promoveu a estabilização e a higienização dos resíduos sólidos orgânicos domiciliares em menor espaço de tempo, no entanto, não reduziu a quantidade de rejeitos.

Recomenda-se o estudo taxonômico dos fungos que participam do processo de tratamento de resíduos sólidos orgânicos domiciliares, bem como dos mesoinvertebrados, haja vista que as interações biológicas são essenciais à efetivação dos objetivos previstos para o tratamento desses resíduos.

Por fim, considera-se que a compostagem constitui uma ação primordial à gestão integrada de resíduos sólidos, no entanto, deve ser aliado às ações de educação ambiental, visando sensibilizar e mobilizar os diferentes atores sociais para a separação da parcela orgânica na fonte geradora.

REFERENCIAS

- ABETRE - Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluente. **Panorama dos resíduos sólidos e efluentes no Brasil**. São Paulo: ABETRE, 2017.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR, 10004: 2004. **Resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, 2004.
- ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Sólidos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2020.
- ABRELPE. Roteiro para encerramento de lixões. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE. <http://abrelpe.org.br/roteiro-para-encerramento-de-lixoes>, 2017.
- AGUIAR, A. C; PESSOA, L. A; EL-DEIR, S. G. Modelos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos: Proposta para Melhoria Contínua. *In*: NUNES, I. L. S; PESSOA, L. A; EL-DEIR, S.G. (org.). **Resíduos Sólidos: Os desafios da Gestão**, Recife: Edufrpe, p. 313-325, 2019.
- AIMEIDA, L. M. S; GARBELINI, E. R. PINHEIRO, P. B. G. (org.). Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos: apostila para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos. **Ministério Público do Estado do Paraná**. Centro de Apoio Operacional das Promotorias de Meio Ambiente. Curitiba. 2012, 67 p.
- ANDRADE, R. M; FERREIRA, J. A. A. Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil frente às questões da Globalização. **Revista Eletrônica do Prodepa**, v. 6, p.7-22, 2011.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington, DC: APHA-WEF, 2014.
- ARAUJO, E. C. S. **Avaliação das estratégias aplicadas à gestão integrada de resíduos sólidos no bairro Malvinas, Campina Grande-PB**. 2016. 100f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.
- ARAUJO, E. C. S.; COSTA, M. P.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, A. V.; SILVA, M. M. P. Estratégias em educação ambiental: contribuições para gestão integrada de resíduos sólidos no âmbito municipal. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29., 2017, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: ABES, 2017.
- ARAUJO, E. C. S. **Organismos que participam das diferentes fases do tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares**. 2018. 176p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.
- ARAUJO, E. C. S; SILVA, M. M. P; SILVA, A. V; SANTOS SOBRINHO, J. B. Tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em sistemas descentralizados móveis. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019. Rio de Janeiro, Brasil. **Anais [...]** do 30º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro: ABES, 2019.

ARAÚJO, E. C. S; SILVA, M. M. P; SILVA, A.V; BARROS, A. T; LEITE, V. D. Diversidade de mesoinvertebrados associada ao tratamento aeróbio de resíduos sólidos orgânicos domiciliares. **Research, Society and Development**. v. 10, n. 1, p. 1-12, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. Resíduos sólidos – classificação. **NBR - 10004**. São Paulo: ABNT, 2004

BARROS, R. T. V. (org.). **Elementos de gestão de resíduos sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p.

BARROS, R. T. V; DUARTE, S. F; ALMEIDA, S. M; COUTO, R. C. A.; VARELLA, C. V. S; Análise do fluxo e gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos em Belo Horizonte e região. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, 6., Porto Alegre, 2015. **Anais [...]** Porto Alegre: Ibeas, 2015.

BATISTA, J.G.F.; BATISTA, E.R.B. Compostagem: Utilização de compostos em horticultura. Universidade dos Açores, Centro de Investigação e Tecnologias Agrárias dos Açores, 2007.

BATISTA, F. G. A; LIMA, V. L. A; SILVA, M. M. P. Avaliação de riscos físicos e químicos no trabalho de catadores de materiais recicláveis – Campina Grande, Paraíba. **Revista Verde**, v. 8, n. 2, p. 284 - 290, 2013.

BECK, U. (org.). **Sociedade de risco: rumo a outra modernidade**. São Paulo: ed. 34, 2º, 2011.

BERTOLDI, M; VALLINI, G; PERA, A; ZUCCONI, F. Comparison of three windrow compost systems. **Biocycle**, v.23, n.2, p.45-50, 1982.

BERNAL M.P, ALBURQUERQUE, J.A & MORAL, R.Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment: A review. **Bioresource Technology**, 100:5444-5453.2009.

BERTOLDI, M; VALLINI, G; PERA, A. The biology of composting. **Waste management e research**, 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, 1998.2015.

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

BIDONE, F, A (Coordenador). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização**. Porto Alegre: ABES. 2001.

BIDONE, R. F. **Tratamento de lixiviado de aterro sanitário por um sistema composto por filtros anaeróbios seguidos de banhados construídos: Estudo de caso – Central de**

resíduos do recreio, em Minas do Leão/MS. 2007. 157f. Dissertação (Mestrado em hidráulica e saneamento), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BLIVEN, H; LAMPEL, K. A. Foodborne diseases. **Elservier**, p 171-188, 2017.

BONITO DE SANTA FÉ. **Lei orgânica municipal.** Lei 05 de abril de 1990

BRAGA, M. C. B.; RAMOS, S. I. P. Desenvolvimento de um modelo de banco de dados para sistematização de programas de gerenciamento integra do de resíduos sólidos em serviços de limpeza pública. **Revista Brasileira de Engenharia sanitária e ambiental**, v.11, n.2, p. 162-168, 2006.

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente.** Ministério do Meio Ambiente, 2018.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação.** Brasília, 1981. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm. Acesso em: 2 fev. 2021.

BRASIL. Constituição 1988. **Constituição da República Federativa do Brasil.** Brasília, DF: Senado Federal: Centro Gráfico, 1988. 292p. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/518231/CF88_Livro_EC91_2016.pdf. Acesso em 9 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. **Lei de crimes ambientais.** Ações lesivas ao meio ambiente. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em 9 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 9.795 de 27 de abril de 1999. **Política Nacional de Educação Ambiental.** Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm. Acesso em 9 fev. 2021

BRASIL. **Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.** Estabelecer o código de cores para os diferentes tipos de resíduos, a ser adotado na identificação de coletores, transportadores e nas campanhas informativas para a coleta seletiva. Resolução nº 275 de abril de 2001.

BRASIL. Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001. **Estatuto das cidades:** diretrizes gerais da política urbana. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10257.htm. Acesso em 13 fev. 2021.

BRASIL. Lei 11.445 de 05 de janeiro de 2007. **Política Nacional de Saneamento Básico.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/L11445compilado.htm. Acesso em 13 fev. 2021.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de saneamento.** 3. ed. rev. - Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2007. Disponível em: http://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manual_saneamento_3ed_rev_p1.pdf. Acesso em 13 fev. 2021.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília, 2011. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 13 fev. 2021.

BRASIL. Ministério da saúde. **Conselho Nacional da Saúde**. Resolução nº466 de 12 de dezembro de 2012. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/cns/2013/res0466_12_12_2012.html. Acesso em 13 fev. 2021.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm. Acesso em 13 fev. 2021.

BATISTA, F. G. A.; LIMA, V. L. A.; SILVA, M. M. P. Avaliação de riscos físicos e químicos no trabalho de catadores de materiais recicláveis - Campina Grande, Paraíba. **Revista Verde**, Mossoró/RN, v. 8, n. 2, p. 284 - 290, 2013

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, Aracaju, 2008.

BUSNELLO, J. F.; KOLLING, F. D.; DALLA, C. R.; MOURA, C. L. pH e granulometria em compostagem de pequena escala com diferentes fontes de resíduos. **Cadernos de Agroecologia**, v.8, p. 01-06, 2013.

CABRAL, M; FERREIRA, S; SIMÕES, P; CRUZ, N. F; MARQUES, R. C. Financial flows in the recycling of packaging waste: the case off France. **Polish Journal of environmental studies**, France, v.22, n.6, p.1637-1647, 2014.

CAMPINA GRANDE (PB). **Lei complementar nº 087**. Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos. Prefeitura Municipal de Campina Grande, 2014. Disponível em: http://sesuma.org.br/estudos/Prognostico_2204_VF.pdf. Acesso em 13 fev. 2021.

CAMPITELLI, P. **Calidad de compost y vermicompuestos para su uso como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas**. 231f. Tesis (Doctoral) - Universidad Nacional de Córdoba, Córdoba, 2010.

CARNEIRO, J.L. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

CARRINGTON, E.G. Evaluation of sludge treatments for pathogen reduction. Final Report. European Commission Directorate-General Luxembourg: **European Communities**. 2001. 44 p. Disponível em: https://ec.europa.eu/environment/archives/waste/sludge/pdf/sludge_eval.pdf. Acesso em 13 fev. 2021.

CARVALHO, M. L. F.; FURTADO, G. D.; COSTA, T. V.; SOUZA, M. L. F. Modelo de gestão dos resíduos sólidos implementado pelo município de Bonito de Santa Fé no estado da Paraíba. **Revista Educação em Ação**, v.57, p.1-5, 2015.

CASTRO, M. L; CANHEDO JUNIOR, S. G. Educação Ambiental como Instrumento de Participação. *In*: PHILIPPI JUNIOR; A.; PELICIONI; M. C. F. (org.). **Educação Ambiental e Sustentabilidade**. Barueri: Manole, 2005.

CAVALCANTI, C. R; SOUZA, F. C. S; ALVES, G. S. Estudo do gerenciamento da coleta seletiva dos resíduos sólidos no município de Mossoró-RN: **Holos**, v. 4, p.51-64 2014.

CAVALCANTE, L. P. S; SOUSA, R. T. M; MAIA, H. J. L; RIBEIRO, L. A; SILVA, M. M. P. Impactos positivos decorrentes do processo de sensibilização, formação e mobilização de catadores e catadoras de materiais recicláveis de um bairro de Campina Grande – PB, de 2008 a 2012. *In*: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. III., 2012, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: ABES, 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VII-008.pdf>. Acessado em: 24 dez. 2020.

CAVALCANTE, L. P. S; SILVA, M. M. P. Influência da organização de catadores de materiais recicláveis em associação para melhoria da saúde e minimização de impactos socioambientais. **Revista Monografias Ambientais**, v. 14, n. 1, p. 01-13, 2015.

CAVALCANTE, L.P.S.; SILVA, M.M.P.; LIMA, V.L.A. Risks inherent to work environment of formal and informal recyclable material collectors. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais – RICA**, v.7, n.2, maio, 2016.

CAVALCANTE, L.P.S. **Educação Ambiental como instrumento para mitigar os riscos inerentes à profissão de catadores e catadoras de materiais recicláveis em Campina Grande – PB**. 137p. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais). Universidade Federal de Campina Grande, UFCG. 2018.

COSTA, T. V. Implantac;ao da coleta seletiva de resfduo s6lido no municfpio de Bonito de Santa Fe-PB. In CONGRESSO BRASILEIRO DE GEST.AO AMBIENTAL ESUSTENTABILIDADE, 2011. Joao Pessoa. **Anais...** Joao Pessoa/PB: CONGESTA,v.1, p.203-207, 2013.

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, 2016b.

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, 2015.

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.

CEZAR, N. Prevalence and distribution of soil-transmitted helminth infections in India. **BMC Public health**, v. 17, 2016.

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

CORVELLEC, H. A. Performative definition of waste prevention. **Waste Management**, v. 52, p. 3–13, 2016.

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

CHAYB, E; KOZUSNY-ANDREANI, D. Estudo Comparativo da Contaminação por Micro-Organismos Patogênicos em Resíduos Domiciliares e de Saúde em Uberlândia (MG). **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, n. 37, p. 72-87, 30, 2015.

CHEN, J. H; WU, J. T. Benefits and drawbacks of composting. *In*: CHEN, Z. S.; GLORIA, C. B. (org.). **Compost production: a manual for asian farmers**. Food and fertilizer technology center, Taiwan, Cap. 2, 2008.

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.

COSTA, T. V. Implantação da coleta seletiva de resíduo sólido no município de Bonito de Santa Fé-PB. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL E SUSTENTABILIDADE, 1., 2011. João Pessoa. **Anais [...]** João Pessoa/PB: CONGESTA, 2016b. Disponível em: <http://eventos.ecogestaobrasil.net/congestas2013/trabalhos/pdf/congestas2013-et-03-035.pdf>. Acessado em: 14 fev. 2021.

COSTA, B. D. **Alternativas mitigadores de riscos ocupacionais no exercício profissional de catadores de materiais recicláveis vinculados à Arensa, Campina Grande-PB**. 2016. 127f. Dissertação (Mestrado de Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

COSTA, M. P. **Alternativas tecnológicas para coleta seletiva e viabilização do exercício profissional de catadores e catadoras de materiais recicláveis, no bairro Malvinas, Campina Grande – PB**. 2016. 117f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental - PPGCTA) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2016.

CUSSIOL, G. Influence of municipal solid waste composto on soil properties and plant reestablishment in peri-urban environments. **Chilean Journal of agricultural research**, v.70, n.3, p.446-453, 2006.

DENMARK WITHOUT WASTE: **recycle more – incinerate less**, The Danish Governmental. nov. 2013. Disponível em: Acesso em: 29 de ago. 2019.

DEMAJOROVIC, J. Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos. **Revista de Administração de Empresas**, v. 35, n. 3, p. 88–93, 1995.

ECOChem. **Composting process**. 2014. [http:// www.ecochem.com/t_compost_faq2.html](http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html). Acesso em: 2 set. 2019. DEHGHANI, R.;

CHARKHLOO, E; VOSOUGHI, M; MOSTAFAIL, G; MAHAMMADIAN, M. ZARRABI, M.; AMRANEC, A. Study os Arthropoda associated with the windrow composting of municipal solid waste. **Journal of entomology and zoology studies**, v. 4, n.5, p. 1034-1039, 2016.

DEHGHANI, R.; CHARKHLOO, E.; VOSOUGHI, M.; MOSTAFAIL, G.; MAHAMMADIAN, M. ZARRABI, M.; AMRANEC, A. Study os Arthropoda associated with the windrow composting of municipal solid waste. **Journal of entomology and zoology studies**, v. 4, n.5, p. 1034-1039, 2016.

DELGADO, L. J. A; CORDOLA, J. C; PEREZ, G. S; ARANGO, Y. L. Decomposición de resfduos organicos en pacas: aspectos fisicoqufmicos, biológicos, ambientales y sanitarios. **Revista producción + limpia**, v.10, n.2, p.38-52, 2015.

EPA - **Environment Protection Agency. Climate Change and Waste**. Reducing Waste Can Make a Difference. Disponível em:<http://www.epa.gov/epawaste/nonhaz/municipal/pubs/ghg/climfold.pdf>.. Acesso em: 3 set. 2010.

EUROPEAN COMMISSION. **Assessment of separate collection schemes in the 28 capitals** of the EU. Final Report. Bruxelas: Comissão Europeia. 2015. 161 p. Disponível em: Acesso em: 23 out. 2016.

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

FEACHEM, R. G; BRADLEY, D. J; GARELICK, H.; MARA D. (org.). **Sanitation and disease e Heath aspects of excretas and wastewater management**. 3 ed. Washington: Publisher Wiley, 1983. 501p.

FERNANDES, F; SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB, UEL: Londrina, 1999. Disponível em <http://www.finep.gov.br/Prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>>. Acesso em: 15 fev. de 2015.

FERNANDES, F; DA SILVA, S. M. C. P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. PROSAB/FINEP, Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 1996.
FIORELLO, C. A. P; CONTE, C. P. **Crimes Ambientais**. São Paulo: Saraiva, 2014.

FIGUEIREDO, F. F. (2011). Panorama dos resíduos sólidos brasileiros: análises de suas estatísticas. Biblio 3W. **Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales**, 17 (928), 10.

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.

GOLDIN, C.; CARD, B. J.; MCGAUHEY, P. H. A critical of inoculums in composting. **Applied Microbiology**, v.2, n.1, p.45-53, 1992.

GOLUEKE, C.; CARD, B. J.; MCGAUHEY, P. H. A critical of inoculums in composting. **Applied Microbiology**, v.2, n.1, p.45-53, 2004.

GOMES, I. **Comportamento de Enterobactérias em Sistemas de Tratamento Aeróbio Descentralizado de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares**. 2019. 129f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB: UEPB, 2019.

GOMES, I; SILVA, M. M. P; GOMES, R. B; FARIAS, F. L. B.; ARAUJO, E. C. S.; BARROS, A. T. Tecnologia para tratamento aeróbio de Resíduos Sólidos Orgânicos Domiciliares. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, 2021.

GONÇALVES, T. G. B. **Periferias segregadas, segregação nas periferias: por uma análise das desigualdades intraurbanas no município de São Gonçalo, RJ**. 2014. 218f. Dissertação (Programa de pós graduação em urbanismo). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

GONÇALVES, E; VESPA, T; FUSCO, N. Tragédia Evitável. **Revista Veja**. Minas Gerais, n.46, p. 70-71, 2015.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e saúde coletiva**, v.17, n.6, p.1503-1510, 2012.

GUARDABASSIO, E. V. **Gestão pública de resíduos sólidos urbanos na região do grande ABC**. 2014. 249f. Dissertação (Mestrado em Administração) – Universidade municipal de São Caetano do Sul. São Caetano do Sul, 2014.

GUERMANDI, J. I. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Paulo/SP**. 2015. 181f. (Mestrado em engenharia hidráulica e saneamento) – Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

GUIDONI, E.; HAVAS, G.; NTZAMILIS, P. Municipal solid waste composition determination supporting the integrated solid waste management system in the island of Crete. **Waste Management**, v.26, n.6, 668-679p., 2013.

HAUG, R. T. (org.). **The practical handbook of compost engineering**. Flórida, Lewis Publishers: 1993. 717p.

HERBETS, R. A.; COELHO, C. R. A.; MILETTI, L. C.; MENDONCA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saude e Ambiente**, Joinville, v. 6, n.1, p.41-50, 2014.

HEBER, F; SILVA, E. M. Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Revista de Administração Pública**, v. 48, n. 4, p. 913–937, 2014.

HECK, K; MARCO, E. G; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M; SPILKI, F. R; SAND, S. T. V. D. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 17, n. 1, p.54-59, 2013.

ICLEI; Mesofauna de los colembolos en el compost de la corporación Universitaria Lasallista. Sao Paulo: portico, 2ºed., cap. 15, 2011, .251 p.

IBRAHIM, M. I. M; MOHAMED, N. A. E-M. Towards Sustainable Management of Solid Waste in Egypt. **Procedia Environmental Sciences**, v.34, p.336–347, 2016.

INSAM, H.; BERTOLDI, DE M. MICROBIOLOGY OF THE COMPOSTING PROCESS. IN: INSAM, M. H.; RIDDECH, N.; KLAMMER, S (COORD). **Microbiology of Composting**. Ed. Springer, p. 25-48. 2007.

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

JURADO, M; LÓPEZ, M. J; SUÁREZ-ESTRELLA, F; VARGAS-GARCÍA, M. C; LÓPEZGONZÁLEZ, 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.

JUSTINO, E. D; CAVALCANTE, L. P. S; SOUZA, D; SILVA, E. H. DA; SILVA, M. M. P. Avaliação dos Impactos sobre a Percepção Ambiental dos Diferentes Atores Sociais Provocados pelo Curso de Agentes Multiplicadores em Educação Ambiental, Campina Grande – PB. In: III CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL. III., 2017a, Goiânia. **Anais [...]** Goiânia: ABES, 2013. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/VII-009.pdf>. Acessado em: 04 jan. 2021.

KIEHL, E. J. (org.) **Manual de Compostagem**. Piracicaba: Editora Ceres, 1998. 171 p.

KING, M. F.; GUTBERLET, J.; SILVA, D. M. **Contribuição de cooperativas de reciclagem para a redução de emissão de gases de efeito estufa**. In: PEREIRA, B. C. J.; GOES, F. L. (org.). Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional. cap. 22. Rio de Janeiro: Ipea, 2016. p. 507-536.

KIYASUDEEN, K. S; IBRAHIM, M. H; QUAIK, S; ISMAIL, S. A. **Introduction to Organic Wastes and Its Management**. In: KIYASUDEEN, K.S.; IBRAHIM, M.H.; QUAIK, S.; ISMAIL, S.A. *Prospects of organic waste management and the significance of earthworms*. Nova York: Springer. 2016. p. 1-21.

KUSHWAHA, K; BABU, D; JUNEJA, K. Proteus. **Food science**, v. 2, p. 238-243, 2016.

LANGE, C.. 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, 2006.

LEFF, E. (org.). **Epistemologia ambiental**. 1. ed. São Paulo: Editora Cortez, 2001. 240 p.

LEITE, L. R; SILVA, C. L. C; MENEZES, E. A. Sustentabilidade: Um Diferencial Competitivo para Micro e Pequenas Empresas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 29., 2009, Salvador. **Anais [...]** Salvador, 2009. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_097_655_13918.pdf. Acessado em: 22 out. 2019.

LEITE, A. C. R; SILVA, P. A. Ancylostomidae; capítulo 30. In NEVES, D. P.; MELO, A. L.; LINARDI, P. M.; VITOR, R. W. A. (org.). **Parasitologia Humana**. 11ª ed. São Paulo: Atheneu, 2016. 494 p.

LEITE, V. D; LOPES, W. S; SOUSA, J. T; PRASAD, S; SILVA, S. A. Tratamento Anaeróbico de Resíduos Sólidos Orgânicos com Alta e Baixa Concentração de Sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.34-47, 2016.

LEITE, V. D; SILVA, S. A; LOPES, W. S; SOUSA, J. T. Resíduos sólidos urbanos no estado da Paraíba: aspectos conjunturais. *In: I SIMPÓSIO NORDESTINO DE SANEAMENTO AMBIENTAL*, 1., 2010, Paraíba. **Anais [...]** Paraíba, Simpósio Nordeste de Saneamento Ambiental, 2010.

LEITE, M. M. S; DINIZ, K; ROCHA, A. B. F; SILVA, J. D. G; LISBOA, A. R; ROSA, S. P. S; SOUSA, J. B. G; RICARTE, F. S; FERRAZ, I. R; MEDEIROS, C. I. S; OLIVEIRA FILHO, A. A. Análise parasitológica das amostras de alface (*Lactuca sativa*) comercializadas em um município do nordeste brasileiro. **Journal of medicine and health promotion**, v. 1, n. 1, p. 243-253, 2019.

LIMA, V. G. S; SILVA, M. M. P; FAUSTINO, R. F; BARBOSA, G. F. Resíduos sólidos e impactos adversos sobre o bioma caatinga em município paraibano de pequeno porte. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n.9, p. 70593-70614, 2020.

LIMA, C. Insetos do Brasil. Himenópteros, 12º tomo, 2º parte, Cap. XXX. Escola Nacional de Agronomia, série didática nº 14, 1962. LIMA JÚNIOR, R. G. S. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2015. 209f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.

LOUREIRO, D. C; AQUINO, A. M; ZONTA, E; LIMA, E. Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesq. agropec. bras.**, v.42, n.7, p.1043-1048, 2007.

LOPES, L. H. S; FERRO, V. C. C. Limpeza Urbana. **Revista do Tribunal de Contas do Estado de Minas Gerais**, v. 34, n. 1, p. 133-144, 2016.

MACHADO E. R.; Santos, D. S; Costa-Cruz, J. M. Enteroparasites and commensal among children in four peripheral districts of Uberlândia, State of Minas Gerais. **Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical**, v. 41, n. 6, p. 581-585, 2018.

MAIA, H. J. L; FREITAS, J. P; ALENCAR, L. D; CAVALCANTE, L. P. S; BARBOSA, E. M. Legislação ambiental da Paraíba: contribuições à gestão integrada de resíduos sólidos. **Revista Monografias Ambientais**, v.14, n.1, p.14-19, 2015.

MAIA, H. J. L; SILVA, P. A; CAVALCANTE, L. P. S; SOUZA, M. A; SILVA, M. M. P. Impactos positivos advindos com a implantação da coleta seletiva no bairro de Santa Rosa, Campina Grande-PB. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL, III.*, 2012, Goiânia. **Anais** [...] Goiânia: ABES, 2013. Disponível em: (<https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/III-016.pdf>. Acessado em: 04 jan. 2021.

Mondelli, A; BRITTO, A. L. N. DE P. VALLE, T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 1, p. 24– 51, 2018. Para Leite *et al.* (2016),

MADIGAN, M. T; MARTINKO, J. M; PARKER, J. (org.). **Microbiologia de Brock**. 10. ed. São Paulo: Ed. Prentice Hall, 2007. 608 p.

MALAVOLTA, E; PIMENTEL-GOMES, F; ALCARDE, J. C. (org.). **Adubos e adubações**. 1. ed. São Paulo: Ed. Nobel, 2011.

MANNARINO, C. F; FERREIRA, J. A; GANDOLLA, M. Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Europeia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.21, n.2, p.379-385, 2016.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. (org.). **Fundamentos de metodologia científica**. 6° ed, São Paulo: Ed. Atlas, 2011.

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, p.87-100, 2018.

MARTINS, W. A; ALBUQUERQUE, W. G; NUNES, F M. S; ALMEIDA, R. N; COSTA, F. F. Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de Pombal – PB– Brasil. **Revista Verde**, v. 9, n.1, p.333-342, 2014.

MEDEIROS, A. C. **Avaliação do processo de co-compostagem de lodo de tanque séptico unifamiliar e resíduos sólidos orgânicos**. 2009. 83f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2009.

MENEZES, J. M. C. **Influência da concentração de sólidos totais e temperatura na bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos**. 2012. 95f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Campina Grande-PB, 2012.

MEYER, K. B; MEYER, K. B; MILLER, K. D; KANESHIRO, E. S. Recovery of ascaris eggs from sludge. **Journal of Parasitology**, v. 64, n. 2, p. 380- 383, 1978.

MOURA, R. R. **Impactos e perspectivas socioambientais na gestão de resíduos sólidos: estudo de caso do município de Curitiba**. 2012. 142f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014

MORALES, G. E.; WOLFF, M. Insects Associates with the composting processo of solid urban waste separated at the source. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.54, n.4, p.645-653, 2014.

MORALES, G. Insects Associates with the composting processo of solid urban waste separated at the source. **Revista Brasileira de Entomologia**, v.54, n.4, p.645-653, 2014.

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

MCINTOSH, A. Waste management in England. Fourth report of session 2014- 2015, 2014. Disponível em: Acesso em: 29 de ago. 2016.

NASCIMENTO, C. R; SANTOS, A. A. Educação Ambiental para a Formação do Cidadão Socioambientalmente Crítico. *In*: II CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL & IV ENCONTRO NORDESTINO DE BIOGEOGRAFIA, 2011, João Pessoa -Paraíba. **Anais** [...] João Pessoa -Paraíba: Editora Universitária da UFPB, 2014.

NASCIMENTO, C. R. **Sistema de Tratamento Aeróbio Descentralizado de Resíduos Sólidos Orgânicos no Bairro Malvinas, Campina Grande-PB**. 2015. 110f. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

NASCIMENTO, A. S; et al. Logística solidária para inclusão social e produtiva de catadores e catadoras: a experiência do Cataforte II. *In*: PEREIRA; G. (org.). **Catadores de Materiais Recicláveis um Encontro Nacional**. 1 ed. Rio de Janeiro: Ed. Mapas color, 2017.

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. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. 29., 2017, São Paulo, Brasil. **Anais** [...] Rio de Janeiro: ABES, 2017. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/analseletronicos/trabalhos.php?evento=36&grupo=1&pagina=66>. Acessado em: 15 nov.2020.

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. 11.ed. São Paulo-SP: Ed. Atheneu, 2005. 494 p.

NEVES, D. P. **Parasitologia humana**. Sao Paulo: editora atheneu, 2010.

NIU, G. Genomics-Driven Natural Product Discovery in Actinomycetes. **Trends in Biotechnology**, v.36, n.3, p.238-241, 2018.

OBENG, L. A; WRIGHT, F. W. 1987. The co-composting of domestic solid and human wastes. **Washington, D.C**, World Bank.

ODUM, E. P; BARRETT, G. W. **Fundamentos de Ecologia**. 5ª ed. São Paulo-SP: Ed.Thompson Learning, 2007. 612 p.

OLIVEIRA, V. C. Dípteros muscóides como vetores mecânicos de ovos de helmintos em jardim zoológico. **Revista Saúde Pública**. v.36, n.5, p.614-620, 2001.

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, 2015.

OLIVEIRA, E. C. A; SARTORI, R. H; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. 2008. Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo, Piracicaba- SP. 2008.

OMS - Organização Mundial da Saúde. The World Health Report 2007 - A safer future: **global public health security in the 21st** century. Disponível em: <http://www.who.int/whr/2007/en/index.html>. Acesso em: 3 set. 2021.

PACE, N. R; STAHL; D. A; LANE, D. J; OLSEN, G. J. The Analysis of Natural Microbial Populations by Ribosomal RNA Sequences. In: Marshall K.C. (org.). **Advances in Microbial Ecology**. Boston: Ed. Springer. v.9, p.1-55. 1995.

PARADELO, R; DEVESA-REY, R; CANCELO-GONZÁLEZ, J; BASANTA, R; PENA, M. T; DÍAZ-FIERROS, F; BARRAL, M. T. Effect of a compost mulch on seed germination and plant growth in a burnt forest soil from NW Spain. **Journal of soil science and plant nutrition**, v.12, n.1, p.73-86, 2012.

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, 2010.

PEREIRA, S.S.; MELO, J.A.B. Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 4, p. 193-217, set/dez, 2013.

PATIAS, T. Z; LISZBINSKI, B. B; GOMES, C M. A gestão sustentável dos resíduos sólidos em Caxias do Sul – RS. **Diálogo**, Canoas, n.28, p.126-145, 2016.

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.

RASAPOOR, M; ADL, M; POURAZIZI, B. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran. **Journal of Environmental Management**, v.184 p.528-534, 2016.

RAUT, M. P; WILLIAN, P. 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**, v. 99, n.14, p. 4255–4262, 2008.

RIBEIRO, L.A.; SILVA, M.M.P. Tecnologia social para coleta e transporte de resíduos sólidos: uma contribuição ao exercício profissional de catadores de materiais recicláveis. **Polêm!ca**, v. 15, n.3, p. 68-89, out/nov/dez. 2015.

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.

RICHARD, T; TRAUTMANN, N; KRASNY, M; FREDENBURG, S; STUART, C. The science and engineering of composting. The Cornell composting website, Cornell University, 2002. Disponível em: http://www.compost.css.cornell.edu/composting_homepage.html. Acesso em: 18 abr. 2020.

RODRIGUES, M.S.; LOPEZ-REAL, J.M.; LEE, H.C. Use of composted societal organic wastes for sustainable crop production. In: BERTOLDI, M. de; SEQUI, P.; LEMMES, B.; PAPI, T. (Ed.). *The Science of composting - Proceedings of The European Commission International Symposium*. London: Blackie Academic & Professional, 2006. p. 447-456.

RUSCHEL, C. B. V. **Compostagem de resíduos vegetais por diferentes métodos de aeração**. 2013. 60f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2003. 196f. (Dissertação) Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003.

RYCKEBOER, J; MERGAERT, J; COOSEMANS, J; DEPRINS, K; SWINGS, J. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. **Journal of Applied Microbiology**, v.94, p.127-137, 2003.

SALVADOR, J; BETTIOL, V. R. Projeto de gestão de resíduos sólidos no município de Sertão – RS sob ótica de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos (GIRSU). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL 3, 2012, Goiânia. **Anais[...]** Goiânia-GO: IBEAS, 2012. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2012/III-020.pdf>. Acessado em: 29 dez. 2020.

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, Campina Grande, 2015.

SANTOS, N. M: Avaliação parasitológica de hortaliças comercializadas em supermercados e feiras livres no município de Salvador/BA. **Revista de ciências medicas e biológicas**, Salvador, v. 8, n. 2, p. 146-152, 2018.

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

SANTOS, B. D; RAMOS, M. B; COSTA, M. P; SABINO, S. N; SILVA, M. M. P. Educação ambiental na formação complementar de graduandos de ciências biológicas de uma universidade pública: uma contribuição à inserção da temática ambiental na educação básica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 28., 2015, Rio de Janeiro. **Anais[...]** Rio de Janeiro: ABES, 2019. Disponível em: http://abes-dn.org.br/?page_id=1560. Acessado em: 5 dez. 2020.

SHAMMAS, N. K; WANG L. K. Biosolids Composting. In: Wang L.K.; Pereira N.C.; Hung YT. (org.) **Biological Treatment Processes**. Totowa: Handbook of Environmental Engineering, 2009, v. 8, p.669-714.

SILVA, A. V. M; MASSARA, C. L. Ascaris lumbricoides. In: **Parasitologia Humana**. 11. ed. São Paulo: Ed. Atheneu; 2005. p.253-259.

SILVA, M. M. P. **Tratamento de lodos de tanques sépticos por co-compostagem para municípios do semi-árido paraibano: alternativa para mitigação de impactos ambientais**. 2008. 220f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, 2008.

SILVA, M. M. P; SOUSA, J. T; CEBALLOS, B. S. O; FEITOSA, W. B. S; LEITE, V. D. Avaliação sanitária de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em municípios do semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 23, n.2, p.87-92, 2010

SILVA, M. M. P; OLIVEIRA, A. G; LEITE, V. D; SOARES, L. M. P; OLIVEIRA, S. C. Avaliação de sistema de tratamento descentralizado de resíduos sólidos orgânicos domiciliares em Campina Grande-PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 26., 2011, Porto Alegre. **Anais[...]** Porto Alegre – RGS: ABES, 2011.

SILVA, E. H; SILVA, P. A; SOUZA, M. A; NASCIMENTO, J. M; SILVA, M. M. P. Resíduos de serviços de saúde produzidos em residências, Campina Grande-PB. In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 7., 2014, Natal-RN. **Anais [...]** Natal: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2014. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/abeseventos/30cbesa-natal/anais-eletronicos/> Acesso em: 14 dez. 2020a.

SILVA, M. M. P; SOUSA, M. U; SANTOS, B. D; COSTA, M. P; SOARES, E. S; RIBEIRO, L. A; CAVALCANTE, L. P. S. Tecnologias sociais para gestão de resíduos sólidos recicláveis secos e prevenção de riscos no exercício profissional de catadores de materiais recicláveis. **Brazilian Journals of Development**. v. 6, n.3, p. 14951-14978, 2020b.

SILVA, M. M. P. **Alternativas tecnológicas para viabilização do exercício profissional e inclusão social de catadores de materiais recicláveis – Universal CNPq 14/2011 Faixa B**. Relatório final (Projeto apresentado ao programa de Iniciação Científica cota 2014/2015) – Universidade Estadual da Paraíba, 2015.

SILVA, M. M. P. (org.). **Manual teórico metodológico de Educação Ambiental**. Campina Grande- PB: Ed. Maxgraf Ltda. 2016. 174 p.

SILVA, L. G. B; SILVA, L. M. B; ARRAIS, F. M. A; MELANDA, G. C. S; FERREIRA, R. J. Prevalência de estruturas parasitárias de protozoários e de helmintos em hortaliças comercializadas em barracas de rua no município de Crato-Ce, Brasil. **Revista Saúde**, v. 44, n. 3, p. 1-12, 2018.

SILVA, M. M. P; ARAÚJO, E. S. A; SOUSA, M. A; SILVA, A. V; SANTOS SOBRINHO, J. B. Educação Ambiental como Instrumento de Mudança Social e Ambiental, Campina Grande-PB. In CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E

AMBIENTAL, 30., 2019, Natal, **Anais** [...]. Natal: ABES, 2019. Disponível em: <http://abes-dn.org.br/abeseventos/30cbesa-natal/> Acesso em: 29 de dez. 2019.

SILVA, M. M. P; GOMES, R. B; ARAÚJO, E. C. S; GOMES, I; FREITAS, A. F; SILVA, A. V; LEITE, V. D. Prevalência de helmintos em resíduos sólidos orgânicos domiciliares; um risco à saúde ambiental e humana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.5, p. 28689-28702, 2011.

SILVA, M. M. P. S; LIMA, R. A; GOMES, R. B; MENDES, R. A; SOBRINHO, J. B. S; ARAÚJO, E. C; LIMA, V. G. S; BARBOSA, G. F. Educação ambiental: ferramenta indispensável à gestão municipal de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development; International Scientific Journals.**, v. 6, n. 5, p. 28743-28757, 2020.

SILVA, M. M. P. (org.) **Manual de educação ambiental: uma contribuição à formação de agentes multiplicadores em educação ambiental**. 1. ed. Curitiba- PR, Brasil: Ed. Appris, 2011. 233 p.

SILVA, M. M. P; LIMA, R. A; GOMES, R. B; MENDES, R. A; SANTOS SOBRINHO, J. B; ARAUJO, E. C. S; LIMA, V. G. S; BARBOSA, G. F. Educação ambiental: ferramenta indispensável à gestão municipal de resíduos sólidos. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.5, p. 28743-28757, 2012.

SILVA, M. M. P; SOUSA, M. U; SANTOS, B. D; COSTA, M. P; SOARES, E. S; RIBEIRO, L. A; CAVALCANTE, L. P. S. Tecnologias sociais para gestão de resíduos sólidos recicláveis secos e prevenção de riscos no exercício profissional de catadores de materiais recicláveis. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.3, p. 14951-14978, 2020.

SILVA, M. M. P; GOMES, R. B; ARAÚJO, E. C. S; GOMES, I; FREITAS, A. F; SILVA, A. V; LEITE, V. D. Prevalência de helmintos em resíduos sólidos orgânicos domiciliares; um risco à saúde ambiental e humana. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n.5, p. 28689-28702, 2020.

SOARES, R. S. **Os novos paradigmas na Política Nacional de Resíduos Sólidos e os desafios do programa de coleta sustentável em João Pessoa**. 2019. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Jurídicas) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, 2019.

SOUSA, M. U. **Gestão de resíduos sólidos sob a ótica da tecnologia social: Uma experiência em Campina Grande – PB**. 2018. 197f. Dissertação (Mestrado em ciência e tecnologia ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2018.

SCHULZE, C. **Berlin Senate Department for Urban Development and the Environment**, ed 1°, 2016. Disponível em: http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/abfallwirtschaft/downloads/siedlungsabfall/Abfall_Broschuere_engl.pdf. Acesso em: 14 jan. 2021.

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. **European Journal of Soil Biology**. v.57, n.4, p. 1–8, 2013.

STEEL, H; BERT, W. Biodiversity of compost mesofauna and its potential as an indicator of the composting process status. **Dynamic soil, dynamic plant**, v.5, n.2, p.45-50, 2011.

STAVINS, R. N. The problem of the commons: Still unsettled after 100 years. **American Economic Review**, v. 101, n. 1, p. 81–108, 2014.

SYMANSKY, C. S. **Caracterização de Bactérias Mésofilas presente no Processo de Compostagem**. 113f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.

TEIXEIRA, F.; GUNAWARDENA, K.; KIHARA, J. H.; SMITH, J. L.; DRAKE, L.; MAKKAR, P.; RAMAN, S.; SINGH, S.; KUMAR, S. The epidemiology of soil-transmitted helminths in Bihar state, India. **Plos neglected tropical diseases**, v. 20, n.9, 2015.

TEDESCO, J. M; GIANEWLLO, C; BISSANI, C. A; BOHENEM, H; VOLKWEISS, S. J. (org.). **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2 ed. Porto Alegre – RS: Departamento de Solos da UFRGS (Boletim n° 5), 1995. 174p.

TORRES, D; GUZMÁN, S; KÜHR, R; MAGALINI, F; DEVIA, L; CUEVA, A; HERBECK, E; KERN, M; ROVIRA, S; DRISSE, M. N. B; SILVA, A. S; PASCALE, A; LABORDE, A.; KITSARA, I; SOUZA, G. C. G; RIVERO, I. B. **Gestión sostenible de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos em América Latina**. UIT, Convenio de Basileia, CRBAS. UNESCO, OMS, ONUDI, OMPI, CEPAL: Centro Regional Basileia para América del Sur, 2015.

TUOMELA, M; VIKMAN, M; HATAKKA, A; ITAVAARA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v.72, n.2, p.169-183, 2000.

TRAUTMANN, N. M; KRASNY, M. E. **Composting in the classroom: scientific inquiry for high school students**. 126p. 1997.

TROY, S. M; NOLAN, T; KWAPINSKI, W; LEAHY, J. J; HEALY, M. G; LAWLOR, P. G. Effect of sawdust addition on composting of separated raw and anaerobically digested pig manure. **Journal of environmental Management**. ed. 111, p. 70 -77.,2012.

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; LOPES, D. C. N. Fatores que Afetam o Desenvolvimento da Compostagem de Resíduos Orgânicos. **Archivos Zootecnia**, v,58, p.59-85, 2009.

VILLAMIZAR, J. P. Publicidad infantil em las redes sociales: tipografia digital. **Revista Mundo FESC**, v.4, n.7, p.43-48, 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.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Investing to overcome the global impact of neglected tropical diseases. Third WHO report on neglected tropical diseases. **Document production services**, Geneva, Switzerland, p.191, fev, 2015.

WALLISCH, S; GRILL, T; DONG, X; WELZL, G; BRUNS, C; HEATH, E; ENGEL, M; SUHADOLC, M; SCHLOTTER, M. Effects of different compost amendments on the abundance and composition of alkB harboring bacterial communities in a soil under industrial use contaminated with hydrocarbons. **Articles from frontiers in microbiology**, v.5, n.96, p.1-10, 2014

Wei, J. Q; ZHAO, Y; Qi, H. S; 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, n.1, p.8220-8228, 2018.

YANG, X.Q; WANG, H. "Pathogenic E. coli (Introduction).", *In*: Batt, C.A.; Tortorello, M.L. (org.). - **Encyclopedia of Food Microbiology**, v.1, Elsevier Inc. Academic Press, 2014. Introduction, p. 695-701.

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.

ANEXO A-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 B-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) 33331436 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 C – Termo de Autorização Institucional



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

6.1 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 D-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 do responsável pelo projeto

.....

Assinatura da Orientadora

ANEXO E-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 BAIRRO 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: MATEUS URTIGA SOUSA | | | |
| 6. CPF: 084.783.394-18 | | 7. Endereço (Rua, n.º): EDUARDO DE OLIVEIRA LOBO CATOLE 500, Apartamento 301 A CAMPINA GRANDE PARAIBA 58430173 | |
| 8. Nacionalidade: BRASILEIRO | | 9. Telefone: 83987054361 | 10. Outro Telefone: |
| | | 11. Email: matheusurtiga@gmail.com | |
| <p>Termo de Compromisso: Declaro que conheço e cumprirei 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/Órgão: UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA |
| 15. Telefone: (83) 3315-6058 | | 16. Outro Telefone: | |
| <p>Termo de Compromisso (do responsável pela instituição): Declaro que conheço e cumprirei 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 TAVARES DE SOUSA</u> | | CPF: <u>131.401.204-49</u> | |
| Cargo/Função: <u>COORDENADOR DO PPGETA</u> | |  UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAIBA PPGETA José Tavares de Sousa 528.291-0 Coordenador PPGETA | |
| Data: <u>12</u> / <u>03</u> / <u>2017</u> | | Assinatura | |
| PATROCINADOR PRINCIPAL | | | |
| Não se aplica | | | |