



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS

COMPOSTAGEM ORGÂNICA NO LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS
AGROAMBIENTAIS UFCG – CAMPUS I COM FOCO NOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Orientando: Gilberlando Gomes da Silva

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Maria de Fatima Nobrega Barbosa

Campina Grande - PB

Setembro, 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS

COMPOSTAGEM ORGÂNICA NO LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS
AGROAMBIENTAIS UFCG – CAMPUS I COM FOCO NOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia e Recursos Naturais -
PPGEGRN da Universidade Federal de Campina
Grande, como requisito parcial para a obtenção do
Mestre em Gestão de Recursos Naturais.

Orientando: Gilberlando Gomes da Silva

Orientadora: Prof^a Dr^a Maria de Fatima Nobrega Barbosa

Campina Grande - PB

Setembro, 2022

S586c

Silva, Gilberlando Gomes da.

Compostagem orgânica no laboratório de Tecnologias Agroambientais UFCG-Campus I com foco nos objetivos do desenvolvimento sustentável / Gilberlando Gomes da Silva. – Campina Grande, 2022.

88 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2022.

"Orientação: Profa. Dra. Maria de Fatima Nobrega Barbosa".

Referências.

1. Compostagem Orgânica. 2. Desenvolvimento Sustentável. 3. Agricultura Orgânica. 4. Planejamento Experimental. 5. Reciclagem Orgânica. I. Barbosa, Maria de Fatima Nobrega. II. Título.

CDU 628.312.1(043)

GILBERLANDO GOMES DA SILVA

COMPOSTAGEM ORGÂNICA NO LABORATÓRIO DE TECNOLOGIAS
AGROAMBIENTAIS UFCG – CAMPUS I COM FOCO NOS OBJETIVOS DO
DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia e Recursos Naturais -
PPGEGRN da Universidade Federal de Campina
Grande, como requisito parcial para a obtenção do
Mestre em Gestão de Recursos Naturais.

Aprovado em: 19/09/2022.

BANCA EXAMINADORA



Prof.^a Maria de Fatima Nobrega Barbosa - Dr.^a

Orientadora /UFCG/CTRN



Prof.^a Vera Lúcia Antunes de Lima - Dr.^a

Examinadora Interna



Prof.^a Soahd Arruda Rached Farias - Dr.^a

Examinadora Externa

À minha Mãe, Francisca Gomes da silva,
pelo ensinamento de caráter ao longo da
minha vida; à minha esposa, Edilane
Ribeiro pelo apoio, compreensão e carinho
dispensados ao longo desta jornada e à
nossa filha, Karen Evellyn, que ilumina e
alegra as nossas vidas

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força incomparável perante os desafios e fortalecimento da fé diante as adversidades.

À Professora, Pesquisadora e Orientadora Dr.^a Maria de Fatima Nobrega Barbosa, que representa grande exemplo de simplicidade, competência, dedicação e pelo auxílio e companheirismo ao longo dessa jornada.

À Professora Dr.^a Luiza Eugenia da Mota Rocha Cirne pela irmandade, incentivo, atenção, paciência e conhecimento que colaboraram para o meu processo de aprendizagem. Agradeço também pela oportunidade de crescimento profissional e pela confiança em mim depositada.

Às professoras Dr.^a Vera Lúcia Antunes de Lima e Dr.^a Soahd Arruda Rached Farias, que muito me horaram por terem aceitado fazer parte da banca de defesa deste trabalho. A todos os professores que tive a oportunidade de conhecer e que contribuíram para evolução do conhecimento e aprendizagem.

Aos colegas de trabalho, Antônio Francisco Pedro, Aldaniza Gonçalves de Moraes, Roberto Roman dos Santos, por toda colaboração, boa vontade e cooperação que tiveram ao longo dessa jornada, contribuindo significativamente com a minha pesquisa. A todos que passaram pelo Laboratório de Tecnologias Agroambientais, obrigado pelo apoio.

À coordenação PPGEGRN, Maria de Fátima Martins e Viviane Farias Silva, pela presteza dos serviços, por nunca medirem esforços para solução de dúvidas e problemas.

A todos os colegas do mestrado, que foram numerosos, obrigado pelo apoio, pelas conversas e bons momentos vividos e que o destino nos reúna novamente.

E, por fim, a todos os meus amigos que sempre estiveram presentes me incentivando e aconselhando e que, de forma direta ou indireta, contribuíram para realização desta Dissertação de Mestrado.

“O maior líder não é aquele que é capaz de governar o mundo, mas o que é capaz de governar a si mesmo.”

Augusto Cury

SILVA, G.G. Compostagem orgânica no laboratório de tecnologias agroambientais UFCG – campus I com foco nos objetivos do desenvolvimento sustentável. 2022, 82f. (**Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais**), Universidade Federal de Campina Grande, 2022, Campina Grande.

RESUMO

Compostagem é uma técnica utilizada para reciclagem do material orgânico por decomposição aeróbica, controlada, com o objetivo de obtenção de um produto estável, sanitizado, rico em compostos húmicos e, cuja utilização no solo, não oferece riscos ao meio ambiente. A qualidade do composto produzido está associada a alguns fatores como uma boa relação entre os macros e micronutrientes, pH, umidade. Ademais, o sucesso do processo de compostagem está associado diretamente a quantidade de composto produzido (QCP), que se resume no rendimento final. O objetivo deste trabalho foi analisar o composto orgânico produzido no Laboratório de Tecnologias Agroambientais UFCG – CAMPUS I de forma quantitativa e qualitativa com foco no alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS 2, 12 e 15. Para isto, foi utilizado o planejamento experimental fatorial composto central, 2^2+3 , analisando os efeitos das variáveis independentes: reviramento e inoculante na variável dependente QCP. Durante a compostagem para analisar o desempenho, foi monitorada a temperatura, umidade e pH. Além disso, foi feita análise química, carbono orgânico, nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro, e física, medições de temperatura, pH e umidade, para avaliar o produto. Por fim, o produto compostado foi quantificado, alcançando o rendimento. Por meio do planejamento experimental, foi alcançado um modelo ajustado e preditivo para a determinação da variável dependente, QCP. Neste modelo, o valor medido e calculado apresentou erro mínimo em torno de 2,51%. Este modelo é estatisticamente significativo e preditivo, podendo ser utilizado para alcançar uma estimativa do rendimento (QCP) da compostagem. O rendimento máximo foi alcançado com a variável inoculante no seu nível superior, 32,4kg, e a variável reviramento no nível inferior, 7 dias. A leira testemunha não apresentou evidências do processo de compostagem após 105 dias. O rendimento máximo alcançado foi de 73,9%. Este trabalho pode contribuir para alcançar metas estabelecidas pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), agenda 2030, como combate à desertificação e produção responsável.

Palavras-chave: Compostagem orgânica; desenvolvimento sustentável; planejamento experimental; agricultura orgânica; reciclagem orgânica.

SILVA, G.G. Organic composting in the laboratory of agroenvironmental technologies UFCG - campus i focusing on the goals of sustainable development. 2022, 82f. (**Dissertação de Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais**), Universidade Federal de Campina Grande, 2022, Campina Grande.

ABSTRACT

Composting is a technique used for recycling organic material by aerobic, controlled decomposition, with the objective of obtaining a stable, sanitized product, rich in humic compounds and whose use in the soil does not pose risks to the environment. The quality of the compost produced is associated with some factors such as a good relationship between macro and micronutrients, pH, humidity. Furthermore, the success of the composting process is directly associated with the amount of compost produced (QCP), which is summarized in the final yield. The objective of this work was to analyze the organic compost produced in the Laboratory of Agroenvironmental Technologies UFCG - CAMPUS I in a quantitative and qualitative way with a focus on achieving the Sustainable Development Goals - SDGs 2, 12 and 15. For this, factorial experimental planning was used. central compound, 2^2+3 , analyzing the effects of the independent variables: overturning and inoculant on the dependent variable QCP. During composting to analyze performance, temperature, humidity and pH were monitored. In addition, chemical analysis, organic carbon, nitrogen, potassium, phosphorus, calcium, magnesium, sulfur, copper, zinc, iron, manganese and boron, and physical, temperature, pH and humidity measurements were carried out to evaluate the product. Finally, the composted product was quantified, reaching the yield. Through the experimental design, an adjusted and predictive model was achieved for the determination of the dependent variable, QCP. In this model, the measured and calculated value presented a minimum error of around 2.51%. This model is statistically significant and predictive and can be used to reach an estimate of the yield (QCP) of composting. The maximum yield was reached with the inoculant variable at its upper level, 32.4kg, and the turning variable at the lower level, 7 days. The witness windrow did not present evidence of the composting process after 105 days. The maximum yield achieved was 73.9%. This work can contribute to achieving goals established by the Sustainable Development Goals (SDGs), agenda 2030, such as combating desertification and responsible production.

Key words: Organic compost; sustainable development; experimental planning; organic agriculture; organic recycling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Fluxograma metodológico para o desenvolvimento do trabalho.....	50
Figura 2– Universidade Federal de Campina Grande, Campus I. (a) Vista Superior; (b)Entrada principal.....	51
Figura 3– Resíduo orgânico coletado	52
Figura 4– Montagem das leiras. (a) Leira coberta durante a realização do ensaio (b) conjunto de leiras.....	54
Figura 5– Medição de pH.....	57
Figura 6– Teste de maturação: (a) Coloração escura característica de composto maturado; (b) partículas em suspensão	58
Figura 7-Diagrama de Pareto de efeitos associados a quantidade de composto produzido	61
Figura 8-Valores preditos x valores observados	62
Figura 9- Superfície de resposta evidenciando a influência do reviramento e inoculante no QCP. (a)Superfície de resposta plotada em 3D;(b) superfície de resposta plotada em 2D	63
Figura 10 - Tratamento com 32,4 kg de inoculante e reviramento a cada 15 dias, com duração total de 105 dias.....	65
Figura 11-Tratamento com 10,8 kg de inoculante e reviramento a cada 15 dias, com duração total de 105 dias.....	65
Figura 12-Tratamento com 32,4 kg de inoculante e reviramento a cada 7 dias, com duração total de 70 dias.....	66
Figura 13-Tratamento com 10,8 kg de inoculante e reviramento a cada 7 dias, com duração total de 70 dias.....	66
Figura 14- Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias.....	67
Figura 15-Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias.....	67
Figura 16-Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias.....	68
Figura 17-Leira testemunha. (a) aparecimento de ervas espontâneas; (b) material não compostado.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– Níveis para os fatores e seus valores codificados para a produção de composto orgânico	55
Tabela 2– Planejamento experimental 2^2+3	55
Tabela 3– Matriz do planejamento composto central utilizado no estudo	59
Tabela 4- Dados comparativos entre a quantidade produzido e calculado.....	63
Tabela 5 - Temperatura medida durante os reviramentos	64
Tabela 6 - Tempo de duração da compostagem por ensaio.....	69
Tabela 7 - Valores para a umidade medidos durante os reviramentos	70
Tabela 8- Umidade final do composto orgânico produzido	71
Tabela 9- Valores de pH aferidos durante os reviramentos.....	72
Tabela 10- Dados de temperatura, umidade e pH para a leira testemunha	73
Tabela 11– Análise de macronutrientes.....	74
Tabela 12– Análise de micronutrientes	75
Tabela 13- Macronutrientes primários e secundários em percentual	75
Tabela 14 - Rendimento das leiras	76

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1. Desenvolvimento Sustentável	18
3.2. Agenda 2030	19
3.3. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	21
3.3.1. ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável	23
3.3.2. ODS 12 - Consumo e produção responsáveis	24
3.3.3. ODS 15 - Vida terrestre	25
3.4. Resíduos Sólidos e Destinação	26
3.4.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos	27
3.4.2. Classificação dos resíduos quanto à origem	29
3.4.3. Classificação dos resíduos quanto à composição química	29
3.4.4. Processo de Compostagem	30
3.4.5. Composto Orgânico	32
3.4.6. Fases do processo de compostagem	33
3.4.6.1. Fase Termófila	34
3.4.6.2. Fase Mesófila	35
3.4.6.3. Fase de Maturação	35
3.5. Classificação da qualidade do composto orgânico	36
3.6. Principais parâmetros que influenciam no processo de compostagem	37
3.6.1. Aeração	37
3.6.2. Temperatura	38
3.6.3. Granulometria	39
3.6.4. Umidade	39
3.6.5. Relação Carbono / Nitrogênio	40
3.6.6. Índice de pH	41

3.6.7. Microrganismos	41
3.7. Potencialidades da compostagem	42
3.8. Métodos de Compostagem	43
3.8.1. Método de leiras revolvidas ou sistema Windrow	43
3.8.2. Método de leiras estáticas aeradas	44
3.8.3. Método fechado ou acelerado	44
3.9. Compostagem e Impactos Ambientais	45
3.10. Importância do composto na fertilidade do solo	47
3.10.1. Esterco Bovino	47
4. MATERIAL E MÉTODOS	50
4.1 Materiais Utilizados	51
4.2 Desenvolvimento das leiras	53
4.3 Planejamento fatorial composto central	55
4.4. Determinação física	56
4.4.1 Monitoramento da temperatura	56
4.4.2 Monitoramento da Umidade	56
4.4.3 Medições de pH	56
4.5 Análise química	57
4.6 Determinação da maturação e quantificação do composto produzido	57
5. Resultados e Discussão	59
5.1 Análise dos ensaios através do planejamento experimental	59
5.2 Efeito da temperatura e Umidade	64
5.2.1 Efeito da temperatura	64
5.3 Efeito da umidade	70
5.4 Efeito do pH	72
5.5 Análise da leira testemunha	73
5.6 Análise química	74
5.7 Volume Mássico	76
6 CONCLUSÃO	78
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento sustentável tem como pilares a preservação ambiental, o desenvolvimento econômico e a justiça social, e tem seu foco na utilização racional dos recursos naturais sem comprometer as gerações futuras, sendo ambientalmente correto, economicamente viável e socialmente justo (PERON, 2019).

Dessa forma, o desenvolvimento sustentável tem sido tema de grande preocupação no mundo moderno. É necessário satisfazer as necessidades atuais da sociedade sem comprometer as gerações futuras e, para isso, torna-se imprescindível a construção de sociedades sustentáveis. Como importantes ferramentas para gestão dos recursos naturais e para o desenvolvimento de uma sociedade sustentável surgem a coleta seletiva e a reciclagem, pois podem contribuir, respectivamente, para uma destinação correta dos recursos descartados e reaproveitamento desses recursos como fonte de matéria-prima (PERON, 2019).

O Brasil é o quarto maior consumidor de fertilizantes minerais do mundo, atrás apenas da China, dos Estados Unidos e da Índia. Atualmente, a demanda nacional por fertilizantes tem aumentado a taxas muito superiores ao crescimento da oferta, tornando-se necessária uma importação cada vez maior. Em 2007, segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), foram produzidas 3.253 toneladas (27,4%) de NPK e importadas 8.613 toneladas (72,6%). Essa dependência externa é preocupante e pode tornar-se um entrave à produção e à competitividade dos produtos brasileiros (ADHIKARI, et.al., 2010).

A ascensão econômica do Brasil nos últimos anos refletiu no aumento do consumo pela população e conseqüentemente na geração de resíduos urbanos. Neste sentido, a geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) em 2012 no nosso país foi estimada em 1,223 kg/habitante/dia. Porém 42% destes resíduos são dispostos inadequadamente, contribuindo como um impacto negativo ao meio ambiente e para a degradação da qualidade de vida. Entre os diversos constituintes do material coletado no RSU, a matéria orgânica merece destaque, pois corresponde a 52% do total gerado no Brasil (GUIDONI, et. al., 2012). Destaca-se ainda, a grande maioria dos municípios brasileiros que não efetua reciclagem da fração orgânica dos RSU, que se tornam em um elevado volume depositado em aterros sanitários ou contaminando o ambiente (ADHIKARI, et. al., 2010).

Os resíduos orgânicos podem constituir uma fonte de poluição do solo, recursos hídricos e um meio de proliferação de insetos quando dispostos de forma inadequada no meio ambiente.

No Brasil é baixa a proporção de resíduos que efetivamente são reciclados, sendo a maioria encaminhada para aterros sanitários, em lixões ou descartados ao ar livre. Desse modo, surgiram legislações que almejam a gestão ordenada desses resíduos, tais como a Lei Federal nº 12.305/2010 que estipula a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, que visa uma destinação e disposição final ambientalmente adequada a esses resíduos (BRASIL, 2010).

O aproveitamento dos resíduos orgânicos pode ser realizado por meio de um processamento, denominado compostagem, em pequena, média e grande escala. É uma alternativa para transformação dos resíduos sólidos orgânicos através da biodegradação por microrganismos (BRASIL, 2010).

O processo de compostagem, provavelmente, surgiu a partir dos primeiros cultivos agrícolas, pois se têm registros de operações similares realizadas há 2000 anos na China. Todavia, a partir do século XX o agrônomo sir Albert Howard sistematizou e apresentou o processo, que ele observou e adquiriu conhecimento quando trabalhou na Índia, nas décadas de 20 e 30. Assim, com a expansão das áreas urbanas e o aumento populacional, os métodos de depósito dos resíduos sólidos urbanos se tornaram inadequados, rapidamente. Simultaneamente, com a intensificação da produção agrícola e animal, aumentou-se o volume de dejetos orgânicos produzidos.

Dessa maneira, a compostagem se torna indispensável para o desenvolvimento sustentável, representando a reciclagem dos nutrientes, da matéria orgânica, de maneira ampla e benéfica, como enfatiza INÁCIO et al (2009), tornando o processo de compostagem uma questão de eficiência ecológica, não só pelos benefícios do uso agrícola do fertilizante orgânico, mas também pela diminuição do lixo enviado diariamente para aterros sanitários e lixões, evitando a liberação de metano, efluentes poluentes e atração de vetores que causam doenças.

Atualmente o cenário brasileiro dispõe da Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela lei nº 12.305/2010, aprovada pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2010, a qual propõe a gestão integrada e o gerenciamento desses resíduos sendo atribuído valor econômico (CHIERRITO-ARRUDA, 2019). O “Art. 4º” no capítulo II em “Disposições gerais” cita:

A Política Nacional de Resíduos Sólidos reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Para Baptista (2014) a Lei nº12.305/2010 refere-se a uma temática ampla e complexa, transcendendo a saúde pública uma vez que possui valor social, econômico e ambiental. Dessa forma, se faz necessário uma abordagem integrada para um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, de modo a evitar os múltiplos impactos em consequência da ineficiência do mesmo (MAIELLO, 2018).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos sustenta a gestão compartilhada, a qual enfatiza responsabilidade coletiva, social e econômica. A literatura com base em evidências demonstra que campanhas públicas e educação ambiental, proporcionam aumento da conscientização estimulando participação do cidadão na reciclagem. Além disso, a participação democrática impulsiona estratégias coletivas, que permitem a valorização e qualidade dos resíduos, portanto, permitindo sustentabilidade e ainda desenvolvimento econômico (CHIERRITO-ARRUDA, 2019).

Segundo a Lei N 12.305, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), todo resíduo caracterizado como reciclável não deve ser direcionado a aterros sanitários, ficando somente para uso de rejeitos (BRASIL, 2010).

Considerando que a matéria orgânica é um resíduo passível de reciclagem, não deve ser direcionada aos aterros, considerando infração prevista pela Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Um dos meios mais eficazes e baratos para a reciclagem de matéria orgânica, e, em específico o RSO, é o uso da compostagem. Processo biológico aeróbio e controlado, a compostagem simplificada consiste na mineralização de componentes orgânicos por ação de microrganismos, que metabolicamente consomem a matéria orgânica e geram CO₂ e H₂O (CORRÊA et al., 2012). Portanto, este processo caracteriza-se como um dos métodos mais eficazes no reciclo de material orgânico, com um produto final rico em minerais para dispor em solo, fechando assim um ciclo sustentável na produção de alimentos (GUO, et al. 2012).

Quando se trata da compostagem, diversas particularidades devem ser levadas em consideração para que o processo seja eficaz. Dentre esses requisitos, o mais importante recai sobre a presença de oxigênio no processo. Com a ausência deste, as degradações ocorrem de forma anaeróbia, gerando mau cheiro com produção de compostos voláteis de baixo peso molecular, lentidão no processo de degradação, atração de moscas e outros insetos (GUO et al., 2012).

A Universidade Federal de Campina Grande (Campus I), Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, produz no Laboratório de Tecnologias Agroambientais LTA, um

composto orgânico baseado no método IPT/CEMPRE (2000), que define a compostagem como processo biológico de decomposição de matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal.

O composto orgânico produzido é utilizado no solo dos Jardins do Campus I, escolas, comunidade local, produtores da EMPAER e também acontece permuta em iguais quantidades por resíduos sólidos recicláveis no Posto de Entrega Voluntária de Resíduos Sólidos – LTA bloco BX/UFCG.

Com a aplicação dos ODS 2, 12 e 15, haverá uma maior conscientização da comunidade universitária, com vistas, ao entendimento dos impactos causados pelas suas ações. O ODS 2, enfatiza sobre a segurança alimentar e qualidade do alimento produzido, analisando sua forma de produção, promovendo uma agricultura sustentável e saudável. As ações do ODS 12, visam a produção sustentável, menos impactantes ao ambiente, o consumo consciente, além de envolver a comunidade em projetos que visem a produção orgânica dos alimentos. Por fim, o ODS 15, prioriza a conservação e proteção da biodiversidade, através da execução de projetos juntos aos acadêmicos.

A realização dessa pesquisa associada às ações de gestão de resíduos sólidos na Universidade Federal de Campina Grande, busca até o ano de 2030, garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos, por meio de políticas de pesquisa, de assistência técnica e extensão rural, entre outras, visando implementar práticas agrícolas resilientes que aumentem a produção e a produtividade e, ao mesmo tempo, ajudem a proteger, recuperar e conservar os serviços ecossistêmicos, fortalecendo a capacidade de adaptação às mudanças do clima, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, melhorando progressivamente a qualidade da terra, do solo, da água e do ar.

Considerando que a prática de compostagem orgânica é uma ferramenta relevante para a redução de resíduos, ocasionando diminuição dos impactos ambientais entre outros. A aplicação dos ODS 2, 12, e 15, também poderá ser uma linha de incentivo para as empresas, de maneira a adotarem práticas sustentáveis e relatórios de sustentabilidade. A possibilidade de segurança de padrões de consumos sustentáveis e conscientização, apresenta um considerável grau de importância nesse estudo.

Através do processo de reciclagem dos resíduos produzidos na UFCG, possibilitará a contribuição de uma educação para produção e consumo sustentável, conforme estabelecido pela Agenda 2030.

A partir desse contexto, delinea-se o seguinte problema de pesquisa: como analisar o composto orgânico produzido no Laboratório de Tecnologias Agroambientais UFCG –

CAMPUS I de forma quantitativa e qualitativa, no sentido de avaliar essa prática na instituição visando atender aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável ODS-2, ODS-12 e ODS-15?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar o composto orgânico produzido no Laboratório de Tecnologias Agroambientais UFCG – CAMPUS I de forma quantitativa e qualitativa com foco no alcance dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável ODS-2, ODS-12 e ODS-15.

2.2. Objetivos específicos

- Avaliar os tratamentos sobre efeito das variáveis inoculante, esterco bovino nas proporções de 10,20 e 30%, e reviramento, por 7, 11 e 15 dias;
- Realizar análises físicas: umidade e maturação no composto orgânico produzido;
- Realizar análises químicas: pH, macronutrientes (C.O., N, P, K, Ca, Mg, S) e micronutrientes, (Cu, Zn, Fe, Mn e B) e carbono total;
- Quantificar o composto orgânico produzido;
- Explicar a contribuição da compostagem orgânica para o atendimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS-2, ODS-12 e ODS-15), pela Universidade Federal de Campina Grande.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Desenvolvimento Sustentável

A partir do século XX, devido ao crescimento econômico os recursos naturais passaram a ser consumidos de forma desenfreada (BARROS; AMORIM; CÂNDIDO, 2010). Considerando inúmeros efeitos negativos ambientais causados na sociedade e decorrentes da falha humana, fica evidente que “[...] a questão ambiental é uma questão de vida ou morte, de morte ou vida, estas, não apenas de animais e plantas, mas do próprio homem e do planeta que o abriga” (BRAZ, 2019).

Nesta perspectiva, levando em consideração a forte presença do consumismo decorrente do capitalismo, era nítido que tal ação do homem gerasse sinais de que se continuassem da mesma maneira, consumindo sem pensar nas próximas gerações, o meio ambiente entraria em colapso. Observa-se claramente que no tocante ao desenvolvimento, durante os anos 60 a prioridade do país não era o meio ambiente, e sim, os investimentos nas áreas de petróleo, energia, siderurgia, infraestrutura e dentre outros, que por consequência acarretavam inúmeros prejuízos ambientais (BRAAZ, 2019).

O reconhecimento internacional da importância do desenvolvimento sustentável para o crescimento e desenvolvimento das nações concretizou-se recentemente na instituição da Agenda 2030. A iniciativa busca avançar nas três dimensões do desenvolvimento sustentável - social, econômica e ambiental - propondo modelos de desenvolvimento nos quais “ninguém fique para trás” (ONU, 2015).

Assim como no Brasil, a compreensão do desenvolvimento como sinônimo de crescimento econômico tem perdido força no cenário internacional, dando espaço para uma compreensão de desenvolvimento mais abrangente. O surgimento do termo desenvolvimento sustentável, definido no Relatório Brundtland, como o desenvolvimento que “[...] implica o atendimento das necessidades do presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender suas próprias necessidades [...]” (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 1987, tradução nossa), traz às discussões sobre desenvolvimento um olhar mais apurado sobre as dimensões social e ambiental, além da econômica. Assim, as três dimensões passam a ser vistas como integradas e complementares para o alcance do desenvolvimento (ONU, 2015).

A iniciativa da ONU para a instituição dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) surge a partir da experiência com os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM),

cuja agenda esteve vigente de 2000 a 2015 (ONU, 2018). Originalmente mais restrita que a Agenda 2030, a agenda dos ODM trouxe oito objetivos, que buscavam promover o desenvolvimento global, com destaque para o combate à fome e à extrema pobreza (BRASIL, 2004).

O Brasil apresentou grande destaque quando conseguiu atingir os ODM, tendo alguns dos mais importantes resultados no mundo. O Ipea elaborou Relatórios Nacionais de Acompanhamento ao longo da vigência dos ODMs, de forma a monitorar o atingimento dos Objetivos. O Relatório do ano de 2014, último publicado, detalha os principais avanços, destacando que o Brasil “[...] alcançou e superou a maioria dos ODM bem antes do prazo final de dezembro de 2015” (IPEA, 2014). O Relatório aponta importantes avanços na erradicação da miséria, com redução da taxa de extrema pobreza de 13,4% em 1990 e para 3,5% em 2014, segundo a linha nacional de pobreza extrema; no combate a doenças, com redução nos casos de malária e tuberculose; na redução da mortalidade infantil, cuja taxa passou 53,7 de mortos por nascidos vivos em 1990, para 17,7 em 2011; e na universalização do acesso à educação, atingida, com melhoria nos dados referentes à quantidade de crianças no ensino fundamental na idade correta (IPEA, 2014).

3.2. Agenda 2030

Após a Cúpula da Terra em 1992, decorrente dos inúmeros debates nas conferências internacionais sobre a temática ambiental, no mês de setembro de 2000, durante a Cúpula do Milênio das Nações Unidas, foram estabelecidos oito principais objetivos, também conhecidos como “8 jeitos de mudar o mundo”. Os Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM) vinham com o intuito de promover um considerável desenvolvimento na sociedade até o ano de 2015, o qual 192 países-membros da ONU assinaram um pacto para alcançar os objetivos até o ano previsto (ONU, 2015). Dessa forma, quanto aos objetivos do Milênio, Garcia (2016) destaca sua opinião, expondo que,

Os ODM demonstraram que metas funcionam [...] eles ajudaram a acabar com a pobreza, mas não completamente, sendo nesse sentido que a ONU procurou estabelecer novos objetivos a fazerem parte de uma nova agenda de desenvolvimento sustentável que deve complementar e avançar o trabalho dos ODM, não deixando ninguém para trás (GARCIA, 2016, p.34).

Os benefícios promovidos pelos ODM trouxeram para o planeta, entretanto, como o autor destaca, tais objetivos não conseguiram acabar completamente com os desafios encontrados na sociedade e se fez necessário uma agenda que trouxesse um maior comprometimento para os países envolvidos. Nesta lógica, no ano de 2012 com o lançamento do documento final da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio + 20) “O futuro que queremos”, dava-se início as discussões acerca da nova agenda O documento “lançava as bases para que os países-membros da ONU construíssem, coletivamente a partir da experiência exitosa dos ODM, um novo conjunto de objetivos e metas voltadas para o desenvolvimento sustentável, que passariam a vigorar no período pós 2015” (ROMA, 2019). Foi a partir deste, que se concretizou a integração entre os aspectos econômicos, social e ambiental do desenvolvimento. Além disso, ele foi de suma importância para as obrigações dos ODS, e o lançamento de suas bases (ONU, 2015). Seguindo esta lógica, somente em 2015 foi aprovado na Cúpula das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável, o documento final “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, que estabeleceu os 17 ODS e suas respectivas metas. Os ODS entraram em vigor em 1º de janeiro de 2016.

O documento “Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” reconhece a importância fundamental da redução de desigualdades em suas diversas formas de manifestação como uma condição para o atingimento do desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). Esse entendimento está alinhado ao brasileiro, que tem na Constituição Federal de 1988 o reconhecimento da relação entre redução de desigualdades sociais e regionais e o desenvolvimento, além de ter elencar como um dos objetivos fundamentais do país a promoção do “bem de todos, sem preconceitos de origem, raça, sexo, cor, idade e quaisquer outras formas de discriminação” (BRASIL, 1988).

Oliveira (2002) relata que o debate brasileiro tem tratado da diferenciação entre desenvolvimento e crescimento econômico. O autor defende que o desenvolvimento pressupõe, além do crescimento econômico, melhoria na qualidade de vida das pessoas, abrangendo avanços no enfrentamento de problemas relacionados à pobreza, discriminação racial e desigualdades econômicas, políticas e sociais, (OLIVEIRA, 2002).

3.3. Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

No ano 2000, os estados membros da ONU na época se reuniram para a Cúpula do Milênio, evento no qual os membros se comprometeram com 8 objetivos a serem cumpridos até o ano de 2015. Esses objetivos, foram conhecidos como Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), com a finalidade de proporcionar um futuro melhor para a população, sendo os seguintes: erradicação da pobreza extrema e da fome; atingir o ensino básico universal; promover a igualdade entre os sexos e a valorização das mulheres; reduzir a mortalidade infantil; melhorar a saúde das gestantes; combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças; garantir a sustentabilidade ambiental e estabelecer uma parceria mundial para o desenvolvimento. (ONU, 2020).

Em 2015, líderes mundiais se reuniram na sede da ONU, deliberaram uma proposta ambiciosa chamada de Agenda 2030, cujo núcleo é um conjunto de 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS). Esse ano apresentou uma oportunidade histórica e sem precedentes para reunir os países e a população global e decidir sobre novos caminhos, melhorando a vida das pessoas em todos os lugares. Essas decisões determinarão o curso global de ação para acabar com a pobreza, promover a prosperidade e o bem-estar para todos, proteger o meio ambiente e enfrentar as mudanças climáticas. (ONU, 2020).

As ações propostas precisam ser alcançadas por todos os países individualmente e coletivamente até 2030. Na hipótese que tais ações se concretizem terão sido resolvidos os maiores problemas do século XXI, tais como: a pobreza extrema, fome e os efeitos danosos das mudanças climáticas; o que demonstra a extrema relevância de tal projeto.

O grande diferencial desse plano de ação, em relação ao dos Objetivos de Desenvolvimento do Milênio (ODM), foi a maior abrangência de temas incluídos, com destaque para a área ambiental, e processo de discussão entre os países, uma vez que sua criação foi o “resultado de anos de ampla consulta e de delicados entendimentos multilaterais e, portanto, mais democrático, com amplo espaço para discussão e participação de diversos atores” (NAÇÕES UNIDAS, 2020). Ademais, incentiva os países participantes a produzir estatísticas de qualidade para diversas áreas, mesmo que pouco exploradas anteriormente, seja por falta de incentivo ou por falta de recursos, tendo como exemplo extremo o Índice de infecções por HIV na Mongólia. A proposta, como dito acima, propõe enfrentar com seus 17 objetivos, 169 metas e 232 indicadores, os grandes problemas mundiais.

Em 2015 estavam vencendo os ODM, sendo divulgados estudos mostrando alguns resultados e como o mundo avançou em relação aos objetivos que foram colocados em 2000.

Na 70ª sessão da assembleia geral da ONU, 70 anos após a inauguração da organização, a ONU divulgou a resolução com o título *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development* onde foram divulgados os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) contendo 169 metas, englobando de forma geral 5 temas, que são pessoas, planeta, prosperidade, paz e parcerias. Os ODS, portanto, buscam resolver os problemas e desafios que a humanidade enfrenta como um todo e que afetam não apenas às pessoas, como todos os seres vivos do planeta. (ONU, 2020).

Assim, os ODS foram os sucessores e a evolução natural dos ODM e pretendem dar continuidade e enfim atingir esses objetivos tão essenciais para a existência de um mundo melhor para todas as pessoas e também para todos os seres vivos. Os 17 ODS são descritos a seguir (PNUD, 2020).

- 1 - Erradicação da pobreza - acabar com a pobreza em todas as suas formas, e lugares;
- 2 - Fome zero e agricultura sustentável - acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável;
- 3 - Saúde e bem-estar - assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades;
- 4 - Educação de qualidade - assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos;
- 5 - Igualdade de gênero - alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas;
- 6 - Água potável e saneamento - assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos;
- 7 - Energia acessível e limpa - assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos;
- 8 - Trabalho decente e crescimento econômico - promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente para todos;
- 9 - Indústria, inovação e infraestrutura - construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação;
- 10 - Redução das desigualdades - reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles;
- 11 - Cidades e comunidades sustentáveis - tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis;

- 12 - Consumo e produção responsáveis - assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis;
- 13 - Ação contra a mudança global do clima - tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos;
- 14 - Vida na água - conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável;
- 15 - Vida terrestre - proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda;
- 16 - Paz, justiça e instituições eficazes - promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis;
- 17 - Parcerias e meios de implementação- fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

A educação ambiental é importante para que a população consiga atingir os ODS e possuir uma vida melhor, é um item essencial para uma vida saudável. Nesse estudo, será estudado especificamente os ODS, 2, 12 e 15, espera-se favorecer o aumento na produção agrícola sem uso de produtos químicos (agricultura orgânica), disponibilizando de maior quantidade de alimentos para as pessoas mais carentes, garantindo uma melhor qualidade de vida.

Maior conscientização da comunidade na realização do manejo sustentável das florestas, de maneira a combater o processo de desertificação, minimizando a retirada da floresta nativa “Caatinga” e preservação do solo, bem como, preservar a fauna silvestre e os corpos aquáticos.

3.3.1. ODS 2 - Fome zero e agricultura sustentável

A escola possui o papel fundamental em conscientizar sobre o problema da fome e suas consequências físicas e mentais para a vida humana. Ligada à questão da fome se encontram as questões da segurança alimentar e da melhoria da nutrição e da qualidade do alimento ingerido, uma vez que além de promover um acesso adequado aos alimentos, as formas como eles são produzidas deve ser observada para que seja promovida uma agricultura sustentável e mais saudável.

Ações de gestão:

- A escola deve observar se todos os seus estudantes estão se nutrindo adequadamente e buscar auxiliar as famílias que porventura passem por situações de fome, para que assim a comunidade escolar contanto com os estudantes e seus familiares consigam viver de maneira melhor;
- Promover a conscientização sobre a importância da agricultura sustentável para a saúde humana e que a comunidade escolar possa repensar seus hábitos e favorecer agricultores familiares que buscam alternativas de plantio sustentável.

Ações com os estudantes:

- Sensibilizar os estudantes para o problema da fome e da desnutrição, mostrando como esse problema afeta as pessoas e como ele está presente localmente e globalmente;
- Ensinar receitas com alimentos bons para uso, mas "feios" em aparência e mostrar que esses alimentos são bons e nutritivos, mostrando a importância de evitar desperdícios;

3.3.2. ODS 12 - Consumo e produção responsáveis

A conscientização deve ser sempre promovida, para que se entendam as consequências e impactos das nossas ações e das coisas que consumimos. Entender a responsabilidade que cada um tem em promover soluções sustentáveis e repudiar soluções poluidoras é fundamental para o desenvolvimento sustentável.

Ações de gestão:

- Comprar produtos responsáveis e que agridam menos o ambiente é importante para servir de exemplo para a comunidade escolar, mas para isso é preciso observar quais produtos são realmente melhores e quais fazem propaganda enganosa;
- Desenvolver projetos com a comunidade para que se fomente o uso de produtos locais e que são mais sustentáveis que produtos muito industrializados e/ou que tem sua fabricação em locais muito distantes;

Ações com os estudantes:

- Mostrar filmes e documentários sobre padrões de produção e consumo, considerando ainda a possibilidade de visitação a locais exemplares e responsáveis na questão de produção;

- Criar bazares para trocas de brinquedos, roupas e materiais para que seja possível reutilizar mais os itens em bom estado, promovendo um consumo consciente.

3.3.3. ODS 15 - Vida terrestre

A vida terrestre está altamente ameaçada pelos impactos causados pelos humanos, sendo essencial que se proteja os espaços remanescentes, se busque recuperar espaços degradados, se busque gerir sustentavelmente os recursos existentes para que a perda da biodiversidade diminua e que seja possível com que a vida terrestre viva de maneira sustentável.

Ações de gestão:

- A escola deve buscar comprar de fornecedores que mostrem ser responsáveis para com o ambiente e a vida dos animais, sem promover a degradação de florestas ou a perda de biodiversidade;
- A escola deve mapear a área em que está inserida e avaliar como ela pode trabalhar com a comunidade para promover uma relação sustentável com o ambiente;

Ações com os estudantes:

- Criar um projeto com os estudantes para sensibilizar sobre a importância da biodiversidade e o que se pode fazer para auxiliar na manutenção da biodiversidade.
- Visitar parques estaduais ou nacionais que promovam a conservação da biodiversidade, para que os estudantes possam ter contato e se sensibilizar para a proteção da biodiversidade e sua conservação.

Os ODS abrangem questões de desenvolvimento social e econômico, incluindo pobreza, fome, saúde, educação, aquecimento global, igualdade de gênero, água, saneamento, energia, urbanização, meio ambiente e justiça social

Conforme a UNESCO (2017), a abordagem escolhida para elaboração das orientações sobre como inserir na educação as questões dos ODS parte do desenvolvimento de algumas competências, consideradas como sendo chaves para que a sustentabilidade seja vista tanto de forma transversal quanto de forma específica e seja possível então que todos os ODS sejam relevantes no processo de aprendizado.

As competências relevantes segundo essa publicação da Unesco são: competência de pensamento sistêmico, competência antecipatória, competência normativa, competência de colaboração, competência de pensamento crítico, competência de autoconhecimento e

competência de resolução integrada de problemas. Segundo o mesmo autor, uma vez que essas competências são desenvolvidas, se torna possível que os ODS sejam aprendidos a partir de objetivos de aprendizagem cognitiva, aprendizagem socioemocional e aprendizagem comportamental.

A interação sociedade-ambiente nos permite avançar para uma compreensão de socio biodiversidade compreendida como a inter-relação entre todas as formas de vida que existem em diferentes contextos socioambientais, tanto natural como construído (VENDRUSCOLO et al., 2016). Com o conhecimento sobre o ambiente é possível transformar a forma de pensar e agir sobre a realidade. Freire (2014) discute que, quanto mais o ser humano conhecer criticamente a sua realidade, maior a possibilidade de realizar uma transformação.

A inserção da percepção ambiental é fundamental nas escolas, como forma de trabalhar melhor a relação homem-natureza com base na realidade local dos sujeitos e como integrantes do sistema vivo que é a Terra, uma vez que os estudos de PA realizados com estudantes, mostram que estes ainda estão com dificuldades em perceber-se como parte integrante do meio ambiente (MARQUES et al.; 2010). Entretanto, Bordin (2016) afirma que estes estudos contribuem para a construção do conhecimento sobre as melhores formas de trabalhar a educação para a conservação do ambiente. O estudo da percepção ambiental é de fundamental importância para que se possam abranger melhor as inter-relações entre o homem e o ambiente, pois, cada pessoa percebe, reage e responde diferentemente as ações sobre o ambiente em que vive (BORDIN, et al., 2016).

3.4. Resíduos Sólidos e Destinação

A destinação dos resíduos tornou-se um grave problema para o meio ambiente. No Brasil, por exemplo, 76% dos resíduos sólidos vão para lixões a céu aberto e 22% são destinados a aterros controlados e sanitários. Percebe-se então que só uma ínfima parcela (2%) recebe algum tipo de tratamento satisfatório na sua destinação final, quais sejam as usinas de compostagem e a incineração (BRITO, 2008).

O aterro sanitário é parte importante e fundamental para destinação de resíduos sólidos classificados como inorgânicos ou inertes ou mesmo os de difícil degradação. Os aterros devem estar localizados em áreas distante de rios. E devem ser especialmente preparados para receber lixo: “[...] dotados de impermeabilização de base, sistemas de tratamento de efluente (chorume),

dispersão de gases e confinamento dos resíduos sólidos pela cobertura diária com material inerte.” (INÁCIO, et. al., 2009).

A maior proporção dos resíduos sólidos é destinada aos lixões, o que significa que não existem critérios para triagem ou separação dos resíduos ali depositados. Levando-se em conta que a porcentagem de matéria orgânica no componente de resíduos sólidos no Brasil é de 57% (BRITO, 2008, p.17), o impacto causado pela destinação dos resíduos sólidos em lixões é altamente prejudicial ao meio ambiente e nocivo ao homem.

Conforme Brito (2008), o impacto ambiental é ocasionado no meio físico, modificando a estrutura topográfica do local devido à movimentação de terra causando os chamados deslizamentos de morros; alterando o fluxo e a qualidade das águas superficiais e subterrâneas provocado pela infiltração do chorume (líquido lixiviado com odor acentuado) e consequente poluição de poços e rios, limitando o uso da água e, prejudicando a qualidade do ar (poluição devido à geração de gases tóxicos, e ainda liberação de gás metano resultando no agravamento do efeito estufa), e do solo (retenção de substâncias tóxicas provocando a infestação de roedores e outros vetores).

O processo de compostagem é de suma importância à separação ou triagem dos resíduos, tanto para obtenção de um composto orgânico de boa qualidade, como para consecução no menor espaço de tempo possível e sem riscos de contaminação. Então, para que se possa instruir adequadamente o processo, é preciso conhecer o conceito ou definições, os tipos de resíduos, as origens e estrutura. Os resíduos sólidos são definidos como o conjunto dos produtos não aproveitados das atividades humanas, ou seja, considerados inúteis, indesejáveis ou descartáveis pelos seus geradores ou produtores (REVEILLEAU, 2007).

Conforme Reveilleau (2007), os resíduos são gerados por diversas circunstâncias e atividades, e são classificados em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, com base na identificação de contaminantes presentes em sua massa, sendo, por vezes, bastante complexo chegar a uma classificação definitiva.

3.4.1. Política Nacional de Resíduos Sólidos

O Brasil gera anualmente cerca de 78,5 milhões de toneladas de resíduos sólidos urbanos, sendo esta geração concentrada na região Sudeste, que é responsável por 52% do total, sendo que as regiões Norte, Nordeste e Centro Oeste respondem juntas por 36,7% (ABRELPE, 2015), disparidade que pode ser compreendida pela concentração populacional de 56% nas

regiões Sul e Sudeste (IBGE, 2010) e pela sua participação com 71,9% do PIB Nacional (IBGE, 2011).

As políticas ambientais, principalmente as que tratam dos resíduos sólidos, têm frentes que atuam junto a setores produtivos específicos como pneus, agrotóxicos, saúde e materiais perigosos, estas políticas incentivam a inclusão social e geração de renda, estimulando a criação e apoio às cooperativas de catadores. A PNRS incentiva ações conjuntas, por meio de consórcios, além de sagrar pela não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição de forma ambientalmente adequada dos rejeitos, que se alinham fundamentalmente em busca da sustentabilidade (NOVI, 2012).

O marco legal da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), sancionada em 2010, trouxe a regulamentação de prazos e responsabilidades dos entes federativos para implementação da destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos, representando o avanço em discussões que ocorrem há mais de vinte anos na defesa do desenvolvimento econômico com respeito ao meio ambiente, marcadas pela Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio-92) e Rio + 20 (GOUVEIA, 2012).

Com o modelo de colonização ocorrido no Brasil, centrado no extrativismo mineral e vegetal, com a expansão cafeeira ocorrida no período e a alta demanda energética, oriunda da queima do carvão, o governo brasileiro instituiu em 1934 o primeiro Código Florestal, como medida protetiva à fauna e flora, substituído em 1965 pelo Novo Código Florestal, sendo este revogado pela Lei Nº 12.651, de 25 de maio de 2012 com uma abordagem voltada para a sustentabilidade (Brasil, 2015). O meio ambiente ganhou destaque com a Constituição de 1988, que em seu Capítulo VI estabelece que:

Art. 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. (Brasil, 1988).

A PNRS estabelece entre os seus instrumentos o Sistema Nacional de Informações Sobre a Gestão de Resíduos Sólidos (SINIR), que deve ser abastecido pela União, Estados e municípios, com os dados referentes aos resíduos sólidos; neste conjunto o SINIR integra a base de dados do SINIS-RS, não havendo uma base exclusiva para o SINIR (Ambiente, 2010; SNIS/RS, 2016).

Passada duas décadas, surge inúmeras discussões sobre resíduos sólidos da saúde, a Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos foi regulamentada pelo Decreto Presidencial nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010 e constitui importante marco legal da gestão dos resíduos sólidos no Brasil (HEBER e SILVA, 2014).

A PNRS define resíduos sólidos como:

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível; (Brasil, 2010, Art.3º)

Deste conceito depreende-se que o rejeito é o resíduo sólido para o qual ainda não existe tecnologia ou viabilidade econômica para recuperação ou tratamento, restando a este a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

3.4.2. Classificação dos resíduos quanto à origem

Os resíduos sólidos são categorizados na Lei 12.305 de 2010 conforme sua periculosidade como (1) perigosos ou (2) não perigosos, e quanto a sua origem como (1) domiciliares, (2) de limpeza urbana, (3) sólidos urbanos, (4) de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviço, (5) do serviço público de saneamento básico, (6) industriais, (7) de serviço de saúde, (8) da construção civil, (9) agrossilvopastoris, (10) de serviço de transporte, e (11) de mineração (REVEILLEAU, 2007).

3.4.3. Classificação dos resíduos quanto à composição química

Os resíduos orgânicos (não inertes) são materiais de origem biogênica (facilmente degradáveis) são de origem animal e vegetal, papel e papelão (moderadamente degradáveis) e materiais de difícil degradação como couro tratado e madeira. (BRITO, 2008).

Os resíduos Inorgânicos (inertes), são compostos basicamente por produtos manufaturados como vidros, plásticos, metal, isopores, lâmpadas, espumas entre outros não degradáveis (BRITO, 2008).

3.4.4. Processo de Compostagem

A compostagem é um processo natural de decomposição do material orgânico cru promovido por microrganismos, através da fermentação, transformando-o em fertilizante orgânico (ou composto orgânico).

Assim, conforme Inácio e Miller (2009, p. 32) explicam:

[...] a compostagem é um processo biológico e de ecologia complexa por envolver grupos variados de microrganismos em sucessão que transformam o substrato em decomposição e que afetam e são afetados pelos fatores físicos e bioquímicos envolvidos durante o processo.

Para Brito (2008, p.30).

“[...] o processo de compostagem distingue-se da decomposição natural que ocorre na natureza por ser um processo controlado, com a interferência humana”.

A compostagem é uma forma de reciclagem na qual a fração orgânica dos resíduos é transformada em composto orgânico com inúmeras aplicações, desde a fertilização agrícola à diferentes melhorias em sua estrutura do solo (LIMA JÚNIOR, 2015). Entretanto, este processo ocorre através de complexas interações e processos de sucessão entre diferentes grupos de microrganismos, que transformam o substrato e alteram as condições físicas e bioquímicas do meio, ao mesmo tempo em que são por elas também influenciados.

Conforme Inácio et al. (2012), a compostagem é um processo de biodegradação (termo referente à decomposição por meio dos microrganismos) da matéria orgânica condicionada pelo oxigênio.

A compostagem pode proporcionar a melhoria do solo em relação as suas propriedades físicas, químicas e físico-químicas, além de conter sais minerais que servem como nutrientes às plantas. Pelo fato de ser um processo aeróbico, possui como vantagem ambiental, a diminuição das emissões gasosas e a produção de lixiviado dos resíduos sólidos urbanos existentes nos aterros (PAULA et al., 2010).

Compostagem é o processo de decomposição biológica da matéria orgânica sob condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade, gerando um produto estável, denominado composto ou adubo orgânico. Em função da origem, os RSU são diferenciados em resíduos domiciliares, resíduos comerciais e de serviços (grandes geradores) e resíduos de poda e varrição provenientes de limpeza pública (BRASIL, 2010a).

O processo de compostagem também pode ser definido como uma decomposição controlada, exotérmica e biooxidativa de materiais de origem orgânica por microrganismos autóctones, num ambiente úmido, aquecido e aeróbico, com produção de dióxido de carbono, água, minerais, gerando uma matéria orgânica estabilizada, definida como composto ou húmus (PAULA et al., 2010), podendo ser utilizado como adubo orgânico, fonte de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, ferro, zinco, cobre, manganês e boro para as plantas, além de fornecimento de matéria orgânica, visando melhorar as propriedades químicas, físicas e biológicas do solo (RODRIGUES et al., 2015).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS, Lei 12.305/2010) (BRASIL, 2010b) visa estimular mudanças consideráveis na forma de gerenciar resíduos sólidos no Brasil. Dentre vários desafios, a PNRS estipulou o envio obrigatório de resíduos para reciclagem e compostagem. Aterros sanitários passaram a constituir a forma legalmente adequada de disposição final somente para rejeitos - resíduos que depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos viáveis não possuem outra possibilidade que não a disposição final (BRASIL, 2010b).

De acordo com Lacerda et al., (2012), os materiais descartados possuem muitas vezes a característica de serem ricos em nutrientes, de forma que a reciclagem e reutilização destes resíduos representam uma alternativa viável, principalmente o esterco de animais e restos de vegetais, ricos em matéria orgânica, de tal modo que seu uso na agricultura como condicionador das propriedades do solo e como fonte de nutrientes para as culturas tornam-se um atrativo. Ainda conforme esses autores, pequenas ações cotidianas possuem a mesma importância em relação aos grandes projetos de gestão, principalmente por seus aspectos pedagógicos e educativos, capazes de gerar consciência, ações, atitudes e capacidades que motivem, estimulem e fortaleçam a construção de um presente/futuro sustentável.

Segundo o ministério do Meio Ambiente, adaptação à mudança do clima é o processo de ajuste ao clima atual ou futuro e seus efeitos. Em sistemas humanos, a adaptação procura mitigar, evitar danos ou explorar oportunidades benéficas. Em sistemas naturais, a intervenção humana pode facilitar o ajuste ao clima futuro e seus efeitos (LACERDA et al., 2012).

Segundo Kiehl (2004), considerado um dos maiores especialistas em compostagem, existem três fases comuns nos variados métodos de aplicação da tecnologia, as quais podem ser determinadas por diferentes características da massa em degradação ao longo do tempo. A primeira fase inicia assim que os materiais são misturados e encaminhados para os reatores ou pátio de compostagem, onde sob condições adequadas, os microrganismos iniciam o consumo da matéria de fácil degradação, utilizando principalmente compostos solúveis prontamente disponíveis e parte da celulose, o que leva a multiplicação exponencial de bactérias, liberação intensa de calor, gás carbônico e água (DOUBLET et al., 2011).

A segunda fase denominada de bioestabilização tem início após as fontes de carbono mais imediatas serem exauridas, sendo comum o ataque microbiano nas frações mais resistentes, como a hemicelulose e lignina (CORRÊA et al., 2012).

A terceira e última fase do processo, ocorre a humificação, onde a fração lignina, os produtos mineralizados e a biomassa morta dos microrganismos, resultam na formação de húmus, o que fornece um composto com coloração escura, cheiro de terra e grande capacidade de retenção de água e nutrientes ((CORRÊA et al., 2012).

3.4.5. Composto Orgânico

O composto orgânico é o produto oriundo do processo de compostagem, caracterizado como um fertilizante orgânico obtido a partir de processos microbiológicos, na qual uma mistura de resíduos crus é transformada em massa escura, rica em substâncias húmicas e possuindo propriedades úteis à agricultura (PAULA et al., 2010). Este estará pronto para uso, no momento em que sua temperatura se mantém constante durante a movimentação do material, apresenta várias características importantes para a nutrição do solo, como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, os quais são assimilados em maior quantidade pelas raízes, além de ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros micronutrientes, auxiliando no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) do solo.

De acordo com Ide (2011), os nutrientes do composto são liberados lentamente, realizando a “adubação de disponibilidade controlada”, ou seja, permite que os vegetais retirem os nutrientes que precisam, de acordo com suas necessidades ao longo de um tempo maior. O fertilizante orgânico se liga as partículas do solo (areia, silte e argila), formando pequenos grânulos que ajudam na retenção e drenagem da água e melhora a aeração, além do aumento do número de minhocas, insetos e microrganismos desejáveis, o que reduz a incidência de doenças nas plantas.

Portanto, o composto é a melhor fonte de matéria orgânica humificada, substituindo o húmus natural do solo, melhorando as condições físicas, químicas e biológicas deste; aumentando a porosidade do solo, tornando-o mais arável e assegurando a conservação da umidade e protegendo-o da evaporação, do frio e do calor. Assumindo fatores básicos para sua formação, como citado por KIEHL (2004).

O composto orgânico considerado adequado deve-se levar em conta: o odor (deve ter cheiro de terra molhada), a cor (deve ter coloração escura) e densidade (deve ser leve e solta); entre outras características, possuir boa capacidade de campo e troca catiônica; ser isento de sementes de plantas indesejáveis, de pragas, e de microrganismos patogênicos; boa porosidade para a drenagem do excesso de água durante a irrigação e chuvas, mantendo uma aeração apropriada para as raízes; apresentar boa agregação das suas partículas nas raízes; boa capacidade de retenção de água; ser facilmente operado em quaisquer condições de tempo; ser abundante (IDE, 2011).

3.4.6. Fases do processo de compostagem

Na compostagem, a matéria orgânica é modificada por diversas comunidades de microrganismos, como as bactérias, actinomicetos, leveduras e fungos, através de processos físicos, químicos e biológicos. A predominância desses microrganismos e intervalos de temperatura determina em qual fase o processo de compostagem se encontra (COSTA, 2015).

O processo físico inicia na escolha dos materiais a serem utilizados, ou seja, na segregação dos resíduos. É comum encontrar nos restaurantes universitários, resíduos oriundos da manipulação dos alimentos (folhas e talos de verduras e legumes) misturados com outros tipos de resíduos como, guardanapos e copos descartáveis. Outra etapa física no processo de compostagem é a trituração dos resíduos, no qual é importante estabelecer o tamanho ideal das partículas para promover um meio adequado para a atividade microbiológica. No que se refere ao processo biológico, este compreende a fase de bioestabilização (fermentação e digestão), onde os microrganismos atuam para estabilizar matéria orgânica e a fase de maturação (decomposição da celulose e materiais similares). É a etapa química é o processo de mineralização da matéria orgânica, no qual os nutrientes presentes nas macromoléculas vão sendo liberados na forma iônica (COSTA, 2015).

No início do processo, as bactérias e fungos mesófilos começam a decompor a matéria orgânica, havendo a liberação de calor (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015). Em

seguida, ocorre a fase fitotóxica, caracterizada pelo desprendimento de CO₂, calor e vapor d'água.

A temperatura nesta etapa se encontra entre 45 e 65°C, onde ocorre intensa atividade de bactérias e fungos termófilos com elevado consumo do oxigênio. As propriedades de fitotoxicidade consideradas prejudiciais às plantas são decorrentes da formação de ácidos inorgânicos e em maior quantidade dos ácidos orgânicos, principalmente ácido acético, são liberados no meio pela decomposição da matéria orgânica (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

No processo de compostagem os microrganismos degradam a matéria orgânica e produzem dióxido de carbono, água, calor e húmus, o produto orgânico final relativamente estável. Durante este processo, podem identificar-se diferentes fases, em cada uma das quais se vão degradando os materiais presentes na mistura, consoante as suas características e os microrganismos em presença. Em condições ótimas, a compostagem decorre em três fases: fase termófila, fase mesófila e fase de maturação (GUIDONI et al., 2012).

3.4.6.1. Fase Termófila

É o início do processo realizado por microrganismos termofílicos (bactérias e fungos), a temperatura aumenta de maneira rápida (cerca de 2 dias) sobe até aos 40 - 45 °C, pela degradação exotérmica dos componentes solúveis e rapidamente degradáveis, como os açúcares e os aminoácidos (GUIDONI et al., 2012).

A temperatura no interior da pilha atinge valores acima dos 45 °C. Degradam-se as proteínas, gorduras, celulosas e hemicelulosas, assim como parte da lenhina e dos compostos fenólicos, por ação de bactérias termofílicas, actinomicetes e fungos tolerantes a altas temperaturas. Esta fase pode durar várias semanas provocando a destruição de agentes patogénicos (bactérias, fungos e nematoides), bem como de larvas de insetos e sementes de infestantes. Nesta etapa é frequente dar-se uma descida dos valores de pH devido à produção de compostos de natureza ácida (GUIDONI et al., 2012).

Variando obviamente de acordo com a característica dos resíduos e da metodologia empregada. A fase termofílica inicia-se quando as temperaturas atingem a faixa entre 50°C a 70°C, com predominância de micro-organismos termofílicos.

Além das altas temperaturas, esta fase apresenta formação de água metabólica, vapor d'água, estabelecimento de um fluxo de ar em meio à massa de resíduos e intensa decomposição, podendo resultar em falta de oxigênio devido ao colapso da estrutura dos

resíduos. Esta etapa finaliza-se quando o material retorna ao estágio mesofílico, com a queda da temperatura até a faixa de 35 a 45°C (GUIDONI et al., 2012).

3.4.6.2. Fase Mesófila

A fase mesofílica, quando a atividade dos microrganismos termofílicos cessa devido ao esgotamento dos substratos, a temperatura conseqüentemente começa a diminuir. A partir deste momento, por meio dos esporos sobreviventes oriundos de micro nichos protegidos ou por inoculação, os microrganismos mesofílicos recolonizam o substrato. Assim, enquanto na primeira fase é dominada por microrganismos termofílicos que possuem a capacidade de degradar açúcares e proteínas, nesta segunda fase mesofílica, é caracterizada por um número crescente de microrganismos (bactérias e fungos) com a capacidade de degradar amido ou celulose (BOINA, 2018).

A maioria dos microrganismos consiste de fungos produtores de enzimas necessárias à degradação de materiais lignocelulósicos (madeira, palhas, cascas, etc.) pertencem aos grupos Ascomycetes, Deutoromycetes e Basidiomycetes (DUARTE, 2017).

Nesta fase os micro-organismos diversificam-se, contando com maior presença de actinomicetos e fungos, contrastando com a dominância bacteriana da fase anterior. O tempo necessário gasto nessa fase depende de diversos fatores, entre eles questões ambientais e climáticas, técnicas-operacionais e processo utilizado. Ocorre normalmente um aumento do valor do pH da pilha.

A duração dessa fase atinge uma média de 60 a 90 dias, quando a compostagem é natural, ou seja, sem intervenção externa. Esta faixa de tempo tende a baixar quando são utilizadas técnicas como o revolvimento, oxigenação forçada ou passiva e/ou inoculação de cepas de micro-organismos pré-selecionados. Nesse estágio o material encontra-se bio estabilizado, ou seja, o composto não é mais tóxico, mas ainda não é ideal para aplicação ao solo (LIMA JUNIOR, 2015).

3.4.6.3. Fase de Maturação

A fase de maturação se inicia ao final da fase mesófila e acontece nos últimos 30 dias após a fase ativa, nesta fase, de fato, ocorre a formação de húmus, quando a atividade dos microrganismos diminui e o composto perde a capacidade de auto aquecimento. A partir desta

fase, a decomposição se processa muito lentamente e prosseguirá até a aplicação do composto no solo, liberando nutrientes. Na humificação do composto atuam novamente as populações microbianas mesófilas, que continuam a degradar, a um ritmo mais lento, polímeros complexos muito resistentes à degradação, levando à obtenção de um produto estável e humificado (DUARTE, 2017).

Na fase de maturação, a temperatura decresce e permanecerá por tempo geralmente mais longo que a fase anterior. Finalmente, com a cura completa do composto, quando a matéria orgânica estará humificada, a temperatura baixará mais ainda, mantendo-se próxima ou igual à temperatura ambiente. Nesse ponto, atingiu-se a cura completa do composto e a matéria orgânica torna-se humificada (KIEHL, 2010). Todas estas fases são fundamentais para a decomposição e transformação do material orgânico e original (CORRÊA et al., 2007).

Devido à rápida transformação que a compostagem exerce sobre o material inicial, ela tem sido apresentada como alternativa sustentável do meio ambiente e de gestão e reciclagem de resíduos sólidos orgânicos, com o objetivo de obter um produto orgânico de qualidade, conhecido como composto, para ser utilizado como adubação orgânica na agricultura (ORRICO JUNIOR et al., 2010).

Durante a fase de maturação, a qualidade do substrato diminui, alterando a composição das comunidades de microrganismos, resultando em um aumento na proporção de fungos e uma diminuição na proporção de bactérias. Assim, os compostos que não são degradáveis, como os complexos lignina-húmus, são formadas e a tornasse predominante (INSAM; BERTOLDI, 2007).

3.5. Classificação da qualidade do composto orgânico

O produto da compostagem deverá ser testado e obedecer aos requisitos constantes na Instrução Normativa N^o 61, de 8 de julho de 2020:

- Carbono Orgânico – CO (min) 15%;
- Teor de umidade: máxima 50%;
- pH: entre 5,5 e 9,0.
- Granulometria: 99% deverão passar por um crivo de malha de 4,8 mm.
- N total (min): 0,5%;

Quanto a composição química de macronutrientes, para que o produto compostado esteja de acordo com esta normativa, o somatório de macronutrientes primários (NPK, NP, NK ou PK) não pode ser inferior a 5%. Além disso, neste somatório pode ser adicionado macronutrientes secundários.

3.6. Principais parâmetros que influenciam no processo de compostagem

O processo de compostagem possui uma dinâmica complexa de parâmetros interligados que influenciam diretamente o produto final, tais como: aeração, temperatura, granulometria, umidade, relação C/N, micro-organismos e pH (BRITO, 2008).

3.6.1. Aeração

O processo de aeração é essencial para a compostagem, considerando que tal técnica é estritamente aeróbia (KIEHL, 2004). Muitos autores diferem conforme o modo como esse oxigênio será inserido no sistema, passando por processos de revolvimento com auxílio de máquinas específicas, bombeamento de oxigênio pela massa e revolvimento manual (EL FELS et al., 2014), aeração passiva (MENDES, et al., 2016).

O processo de degradação aeróbia pelos microrganismos, de forma simplificada, consiste no uso de carboidratos como fonte de energia, tendo como receptor de elétrons no final da cadeia transportadora o oxigênio, gerando gás carbônico pelo processo de descarboxilação dos carboidratos e água (EL FELS et al., 2014).

Os microrganismos podem possuir metabolismos aeróbios com anaerobiose facultativa, no entanto, o oxigênio, como aceptor final de elétrons na respiração, permite que ocorra um maior aproveitamento energético pela célula e, conseqüentemente, uma maior decomposição do substrato. O material da compostagem não se mantém totalmente aeróbio, podendo haver zonas anaeróbias. Nessas zonas, os metabolismos com anaerobiose facultativa se tornam importantes, mesmo não possuindo a mesma eficiência de degradação quanto na presença de oxigênio (PEREIRA, 2017).

Com a ausência do oxigênio como receptor, outros compostos adquirem esses elétrons e há geração de ácidos orgânicos de baixo peso molecular, como o ácido lático e ácido acético e muitas vezes produção de diversos compostos voláteis, como metano e butano, que podem causar mau cheiro e diminuir o pH do composto, ambos fatores negativos para o processo de

compostagem, demonstrando assim a importância do aporte de oxigênio através da aeração (EL FELS et al., 2014).

A aeração é considerada o fator mais importante para o controle dos parâmetros que influenciam o processo de compostagem, já que é possível, por meio dela, a manutenção da temperatura, da umidade e, conseqüentemente, o suprimento de oxigênio às populações microbianas aeróbias, bem como a remoção de odores (RUSSO, 2003).

Para Kiehl (2004) na elaboração de uma composteira é importante observar a aeração recebida. Como o processo é uma bioxidação aeróbia, o oxigênio é essencial para que a reação de oxidação ocorra. Existem várias maneiras, mas a ideal é fazer pequenos furos na composteira. Através destes furos, o ar pode circular, garantindo que haverá sempre oxigênio no interior da mesma. Assim, é necessário revirar a pilha, ou seja, trazer os compostos orgânicos da parte de baixo para cima, para que eles também tenham contato com oxigênio.

3.6.2. Temperatura

A compostagem pode ocorrer em ambas as fases (mesófila e termófila). A elevação da temperatura é interessante para a eliminação de patógenos, mas uma temperatura muito alta pode, muitas vezes, resultar em uma diminuição na velocidade que ocorre a compostagem devido a uma diminuição da atividade biológica (KIEHL, 2004).

A temperatura serve como indicador do processo de compostagem. Como não podemos, em casa, analisar em nível microscópico a decomposição da matéria, a elevação da temperatura logo nos primeiros dias da compostagem indica que o processo está ocorrendo como deveria. Porém, a não elevação da temperatura pode indicar que algum dos fatores desta lista pode não estar sendo respeitado como deveria (KIEHL, 2004).

Considerada uma variável fácil de ser observada no processo de compostagem, a temperatura da massa a ser degradada varia conforme a fase que este se encontra. No começo, há predominância de valores próximos a temperatura ambiente, com adaptação microbiológica ao meio (KANG et al., 2014).

Posteriormente, com a degradação de materiais mais facilmente assimiláveis, como carboidratos de baixo peso molecular, carboidratos parcialmente degradados e proteínas facilmente assimiláveis, há produção de calor, água e CO₂, promovendo o aquecimento da composteira, considerada está uma das fases mais importantes, denominada fase termofílica (BERNAL, 2009). Para Guidoni et al. (2012), temperaturas superiores a 70°C não são

interessantes, pois podem prejudicar a ação de microrganismos e causar volatilização da amônia.

3.6.3. Granulometria

A granulometria do material é fator decisivo, principalmente em relação ao processo de aeração, materiais muito compactados podem ocasionar em formação de anaerobiose e produtos advindos desta condição (CARMONA et al., 2003), ao passo que uma granulometria muito grande pode afetar o processo de degradação, já que dificulta o acesso por parte dos microrganismos, resultando em um tempo prolongado de compostagem ou até mesmo degradação parcial do material (BERNAL, et. al., 2009).

Para que isso não ocorra, é de importância a escolha do resíduo estruturante, pois além de fonte de carbono, ele age intimamente na granulometria da massa a ser compostada, promovendo espaços intersticiais que facilitam a passagem de ar, auxiliando na degradação aeróbia desse material (MENDES, et al., 2016).

Em uma reação química, um dos fatores que influenciam a velocidade da reação é a superfície de contato. Quanto menores forem os resíduos orgânicos, mais rápido irá ocorrer a compostagem destes. Assim, é possível concluir que é melhor colocar em sua composteira uma maça cortada do que uma inteira, acelerando o processo (BERNAL, et. al., 2009).

3.6.4. Umidade

Segundo o MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento), de acordo com a normativa nº 25 de 23 de Julho 2009, faz-se necessário que o composto orgânico do tipo A, B, C tenham um máximo de 50% de umidade, e, para compostos do tipo D, 70%, sendo os compostos A originários apenas de resíduos agroindustriais, B de resíduos agroindustriais que possuem algum limitante como metais tóxicos, o C são aqueles provenientes de resíduos domiciliares e o D, utiliza materiais provenientes de despejos sanitários (BRASIL, 2009).

Materiais com teor de umidade relativamente alta, associado a uma intensa atividade aeróbia microbiológica, pode resultar em um produto final com elevada umidade, com valores superiores dos preconizados pela legislação (WANG et al., 2015).

Em relação ao processo, a umidade deve compreender valores entre 40 e 60% (EL FELS et al., 2014). Valores superiores podem ocupar espaços intersticiais e promover anaerobiose,

com formação de mal cheiro e redução do pH pela produção de ácidos orgânicos (WU et al., 2015).

Valores inferiores a 40% podem inibir o desenvolvimento da cultura bacteriana biodegradativa, reduzindo ou até mesmo parando o processo de mineralização da matéria orgânica (WU et al., 2015). Portanto, a umidade caracteriza-se como um fator de extrema importância para a compostagem, considerando que seu excesso e valores reduzidos de água podem afetar negativamente as características do produto final.

Para que haja vida, é necessário água, com os microrganismos não é diferente. Logo, um dos fatores que influenciam na compostagem é a umidade, ou seja, presença de água, sendo ideal um teor entre 50 e 60% de umidade para que o processo ocorra sem problemas. Depois do início da compostagem, visto que um dos produtos da reação de degradação é a água, torna-se mais difícil a falta da mesma (WU et al., 2015).

O controle de água pode ser feito através da adição de resíduos específicos, como de frutas, que costumam ter bastante água em sua composição. Além disso, a umidade pode ser controlada através da adição de água. Porém é necessário cuidado para não exagerar na água, podendo resultar em problemas como o mau cheiro.

3.6.5. Relação Carbono / Nitrogênio

Carbono e nitrogênio são essenciais para o desenvolvimento de microrganismos (não só deles, como também de nós, seres humanos. O carbono serve como alimento, enquanto o nitrogênio é essencial para a síntese proteica. Estudiosos afirmam que uma relação ideal deve variar em torno de 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio. Passando isso para valores do dia-a-dia, é como se, para cada 30g de Carbono, tivéssemos 1g de Nitrogênio.

Caso haja muito carbono, os microrganismos não encontrarão nitrogênio o suficiente para sintetizar suas proteínas, o que dificultará o aumento da população destes, resultando em um maior prazo de ocorrência da compostagem. Por outro lado, caso haja muito nitrogênio, pode haver perda excessiva de nitrogênio através da volatilização da amônia.

A relação carbono/nitrogênio inicial deve ser de 30 carbonos para 1 de nitrogênio, pois corresponde a composição química mais próxima dos microrganismos, sendo o mais indicado independente do material. (CORRÊA et al., 2012).

Esta relação pré-definida é importante, pois uma alta relação C/N pode causar lentidão no processo degradativo pelo excesso de material biodegradável e dificuldade de multiplicação microbiana, ao passo que uma baixa relação C/N preconiza um excesso de nitrogênio, que pode

ser perdido na forma de amônia na forma volátil ou por lixiviação da massa compostada (BERNAL, 2009). Para reduzir as perdas de nitrogênio, a prática mais usual é o uso de resíduos estruturantes, normalmente ricos em carbono e promotores de aeração (NIGUSSIE et al., 2017).

3.6.6. Índice de pH

A compostagem pode ser desenvolvida numa faixa bem ampla de pH, entre 4,5 e 9,5, sendo valores extremos naturalmente regulados pelos microrganismos. Geralmente nos processos de compostagem, no início da decomposição dos resíduos ocorre formação de ácidos orgânicos derivados de materiais carbonáceos, que promovem uma redução no valor do pH (KIEHL, 2005).

Com o desenvolvimento de microrganismos capazes de utilizar tais ácidos como substrato, são liberados compostos básicos, gerando reações alcalinas, o que favorece a elevação do pH acima de 8 no final do processo, sendo característica de um composto maturado (KIEHL, 2004).

Ao longo do processo, o pH do composto deve começar próximo a 7,0, sendo este ótimo para o crescimento microbiano, passando então para pH levemente ácido (em torno de 5,0) com a produção de alguns ácidos orgânicos, seguido então para o final do processo em pH próximo a 8,0, dado principalmente pela transformação bioquímica do nitrogênio, através da transformação do nitrogênio amoniacal em nitrato, elevando assim o pH da massa compostada (GUIDONI et al., 2012).

Segundo a normativa nº 25 de 23 de Julho 2009 do MAPA, compostos da classe A e B e D devem possuir o pH mínimo de 6,0, ao passo que para compostos de classe C deve possuir o mínimo de pH de 6,5. O pH é um forte indicativo de maturidade, mas é interessante que se acompanhe outros requisitos para que sua disposição possa ser feita em solo sem efeitos danosos. Valores extremos de pH dificultam o desenvolvimento dos microrganismos necessários para a ocorrência da compostagem. O pH pode ser regulado através da aeração, caso seja muito ácido, e através de pequena adição de cascas de frutas cítricas, caso seja muito básico (GUIDONI et al., 2012).

3.6.7. Microrganismos

Os microrganismos de importância ambiental, são as classes dos deteriorantes, apresentam importância fundamental para o reciclo da matéria orgânica na natureza,

mineralizando estes componentes para posteriormente ser assimilado pelas plantas, em um ciclo contínuo e crucial (LI, et. al., 2015).

Na natureza, esse perecimento normalmente ocorre na superfície de solos, com uma presença acentuada de umidade, com ajuste natural de pH e presença de oxigênio, com um bom equilíbrio entre as moléculas de carbono e nitrogênio, dado por um complexo sistema de ajustes naturais (CHOWDHURY et al., 2013).

Existem diversos tipos de microrganismos responsáveis pelo processo de compostagem, o que incluem bactérias, fungos, leveduras, que, dependendo de sua temperatura ótima de crescimento, desempenham funções específicas no processo de compostagem. O desenvolvimento microbiológico é fortemente influenciado pelos materiais aos quais a compostagem é realizada (KANG et al., 2014).

A aplicação de materiais muito condensados acaba por gerar zonas de anaerobiose, enquanto que, materiais com grande granulometria acabam representando resistência de degradação, tornando o processo mais lento (LI, et.al.,2015).

Identificar e quantificar os principais grupos de microrganismos baseados na temperatura de crescimento é de vital importância, considerando estes como a força motriz de degradação e estabilização da matéria orgânica (NEKLYUDOV, 2008).

Os tipos de microrganismos presentes também variam muito conforme o material ao qual é dado início no processo de compostagem. No entanto, eles podem ser divididos de uma forma simplista, em três principais: bactérias, fungos e os actinomicetos, e estes se encontram normalmente em sinergia (CHOWDHURY et al., 2013).

3.7. Potencialidades da compostagem

As vantagens advindas do processo de compostagem são percebidas no meio ambiente onde ocorre. Entretanto, os benefícios ambientais, no sentido global são evidentemente muito maiores (BRITO, 2008).

- É a melhor fonte de matéria orgânica humificada;
- Substitui o húmus natural do solo;
- Aumenta a capacidade de retenção de água e ar no solo;
- Melhora as condições físicas, químicas e biológicas do solo;
- Possibilita a formação de microbiota no solo;
- Aumenta a porosidade do solo, tornando-o mais arável;

- Assegura a conservação da umidade e protege contra a vaporização, o frio e calor;
- É empregado nas plantações de frutas e verduras, que são consumidas cruas;
- Dá mais vida aos jardins, mais viço às plantações e eleva a produtividade agrícola;
- Restabelece as condições ecológicas locais.

3.8. Métodos de Compostagem

O Ministério do Meio Ambiente - MMA, publicou em 2010 o manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos. Este manual aponta três tipos básicos de compostagem a saber: compostagem por aeração natural, a de aeração forçada e, por fim, a obtida por meio de reator biológico. Na primeira, denominada de aeração natural os resíduos são dispostos em leiras, com reviras periódicas para que haja a convecção do ar na massa do composto, acrescida de umidificação até o término do processo. Este método também é conhecido como método das leiras revolvidas (Windrow). No segundo método, denominado de aeração forçada, o material orgânico é disposto sob tubos perfurados por onde circula ar forçadamente, através de bombeamento mecânico (PEREIRA NETO, 2007).

A compostagem é uma técnica bastante flexível, podendo ser realizada em pequena escala como, por exemplo, em domicílios e escolas. A compostagem em média e grande escala é mais comum em fazendas, municípios e algumas indústrias. Assim, o processo pode variar desde as soluções operacionais mais simples e financeiramente menos onerosas até aquelas que necessitem utilizar dispositivos tecnológicos e mão-de-obra mais especializada, apresentando, nesse caso custos mais elevados (PEREIRA NETO, 2007).

Pereira Neto (2007), destaca os seguintes métodos de compostagem: método de leiras revolvidas ou sistema windrow, método de leiras estáticas aeradas e método fechado ou acelerado.

3.8.1. Método de leiras revolvidas ou sistema Windrow

No método de leiras revolvidas, também conhecido como sistema windrow, a pilha de resíduos (leira) é montada sobre o solo (compactado ou impermeabilizado). A aeração é realizada por meio de revolvimento, manual ou mecânico e tem como objetivo aumentar a porosidade da pilha e melhorar a homogeneidade dos resíduos. Para o revolvimento mecânico, existem disponíveis no mercado alguns equipamentos específicos para essa função. Esses equipamentos dividem-se em: máquinas tracionadas por trator e máquina denominadas auto-

propelidas, pois se movimentam sobre a leira realizando o revolvimento (REIS, 2005). É comum observar também o emprego de retroescavadeiras ou pás carregadeiras para revolver a leira, uma vez que são mais fáceis de encontrar no mercado e possuem preço menor comparado às máquinas específicas para esta função.

O sistema windrow é a tecnologia ainda mais utilizada para a compostagem de resíduos sólidos domiciliares, sendo também o que apresenta um valor mais baixo de investimento e manutenção e, geralmente não necessita empregar equipamentos de alta tecnologia. Andreoli et al. (2001) relatam que a temperatura no sistema de leiras revolvidas varia das camadas mais externas para as mais internas, sendo que a parte externa apresenta temperaturas menores, e por isso, talvez não consiga atingir níveis letais para alguns organismos patogênicos. Portanto, o revolvimento nesse sistema tem suma importância, pois promove a homogeneização da leira.

3.8.2. Método de leiras estáticas aeradas

No método de leiras estáticas (static piles), as leiras são colocadas sobre uma tubulação perfurada de 10 cm de diâmetro acoplada a um soprador ou exaustor, que injeta ou aspira o ar na massa a ser compostada. Sobre essa tubulação, recomenda-se colocar uma camada estruturante, por exemplo, madeiras ou galhos triturados a fim de facilitar a passagem do ar através da pilha e sobre esta camada é montada a leira (REIS, 2005). Nesse sistema não há nenhum tipo de revolvimento.

O sistema de leiras estáticas aeradas não é recomendado para qualquer tipo de resíduo, restringindo-se àqueles que tenham material de entrada mais homogêneo, tanto em sua composição, quanto em sua granulometria. Carmichael (1999) cita que o processo de leiras estáticas aeradas geralmente produz composto de melhor qualidade num período de tempo mais reduzido se comparado ao sistema Windows.

3.8.3. Método fechado ou acelerado

No processo fechado ou acelerado, também conhecido como in-vessel, ocorre a utilização de dispositivos tecnológicos tais como digestores e bioestabilizadores que além de acelerarem o processo de compostagem permitem um maior controle dos odores, uma vez que o sistema é fechado e a aeração controlada. O funcionamento de uma usina de reciclagem e compostagem consiste na deposição dos resíduos em um pátio de recepção, geralmente impermeabilizado (REIS, 2005).

Os materiais são separados, geralmente, em metais, papelão, trapos, plásticos, vidros, embalagens cartonadas, que são destinados à reciclagem. Os resíduos que saem da esteira são peneirados, sendo que o material que passa pela peneira, teoricamente somente matéria orgânica, é encaminhado para a compostagem. O restante, considerado rejeito, é enviado para o aterro sanitário.

As instalações de uma usina de compostagem podem variar de acordo com a quantidade de resíduos a ser processada, processo utilizado, disponibilidade de recursos humanos e financeiros. O processo mais comumente conhecido é o sistema DANO, no qual cilindros rotativos, com dimensões aproximadas de 3 metros de diâmetro e 35 metros de comprimento, giram a uma velocidade baixa de rotação a fim de homogeneizar o material.

A compostagem é caracterizada como um dos métodos mais eficientes para reciclagem de matéria orgânica. É um processo no qual microrganismos aeróbios mineralizam substratos tornando-os aptos a incorporação ao solo e reduzindo seu impacto sobre o meio ambiente (ZHANG, 2013).

A reciclagem tanto de materiais não biodegradáveis quanto de materiais passíveis de biodegradação costuma ser menos dispendiosos do que a destinação final em aterros sanitários, que necessitam de maiores preocupações e em um prazo maior (FERREIRA et al., 2014). Além de todos estes fatores, a compostagem contribui significativamente para a questão da segurança alimentar, pois promove uma reutilização de recursos orgânicos, redução do preço dos alimentos pela diminuição da importação de fertilizantes e consequentemente, aumentando o desenvolvimento econômico local, recomendado principalmente para países com alta produção de alimentos como o Brasil (EL FELS et al., 2014).

A compostagem também pode entrar como ferramenta na gestão de resíduos domiciliares, com menor geração in situ, com possibilidade de segregação mais eficiente, considerando a maior densidade demográfica das cidades, diminuindo entre 50 à 34% do custo total com resíduos sólidos urbanos, segundo pesquisa realizada por Adhikari et al. (2010).

3.9. Compostagem e Impactos Ambientais

A compostagem é uma atividade que reduz os impactos ambientais na gestão de resíduos, uma biotecnologia que transforma resíduos orgânicos em um benefício ambiental (INÁCIO e MILLER, 2009). É necessário considerar possíveis impactos ambientais negativos relacionados com a falta de critério de operação, que podem resultar na emanção de odores, atração de vetores e produção de lixiviados (PEREIRA NETO, 2007).

Para Costa et al. (2009), os parâmetros para avaliação e monitoramento do processo de compostagem, referem-se a observação de odores desagradáveis e/ou amoniacais, formação de chorume e presença de moscas e larvas. Pouca taxa de aeração, configurações geométricas inadequadas, encharcadas, promovem o processo de fermentação anaeróbia, em que é liberado mau cheiro na atmosfera na forma de gás sulfídrico e mercaptanas (dimetilsulfeto, dimetildisulfeto, metilmercaptanas) e outros produtos contendo enxofre.

O amoníaco é um dos principais compostos responsáveis pela emissão de odores ofensivos e poluição atmosférica, geralmente emanados em processos da compostagem que utilizam de resíduos orgânicos com altos teores de nitrogênio (PAGANS et al., 2006). Amônia (NH₃) é um gás incolor, tóxico, de odor acre, pungente, sendo facilmente detectável no ambiente pelo ser humano (SAMPAIO et al., 2006).

A possível emissão de lixiviado, resultante do excesso de umidade dos resíduos nas fases iniciais do processo de compostagem, pode incorporar altas concentrações de macro e micronutrientes, carrear sólidos em suspensão e microrganismos para fora do sistema de compostagem (PEREIRA NETO, 2007). O chorume é um efluente poluente derivado de processos anaeróbicos, pode apresentar potencial poluidor pela alta Demanda Bioquímica de Oxigênio e Demanda Química de Oxigênio, e ainda, elevadas concentrações de amônio e nitrato, que se despejado em águas superficiais, pode levar a redução brusca de oxigênio dissolvido, toxicidade a peixes e processos de eutrofização (INÁCIO e MILLER, 2009).

Em relação aos vetores, a presença de mosca doméstica é comum, pois esse vetor encontra nos resíduos orgânicos um meio biológico para proliferação, podendo produzi larvas em questão de dias e indivíduos adultos em menos de duas semanas – o que pode comprometer o processo em casos que não se atinja temperaturas superiores a 45°C, ou, naqueles onde não há controle da atração desses vetores através de práticas de manejo (KLIPOVA et.al., 2013).

De acordo com Ide (2011), o aumento da produção de resíduos orgânicos tem aumentado os impactos ambientais, uma vez que, a taxa de geração é bem superior a taxa de degradação. Nesse sentido, com a implantação de leis ambientais mais severas, que valorizam o gerenciamento ambiental, tem havido uma conscientização gradual dos efeitos nocivos provocados pelo despejo contínuo de resíduos sólidos e líquidos no meio ambiente. Conjuntamente, o mercado também exige das empresas uma atuação transparente e concreta na preservação dos componentes do meio ambiente, que deve se materializar pela realização de atividades que apresentem um menor impacto ambiental.

3.10. Importância do composto na fertilidade do solo

Há muitos anos, a compostagem é usada no manejo de esterco nas explorações agrícolas, sendo considerada uma prática necessária nas etapas da produção orgânica. Usado como fonte de nutrientes e como condicionador do solo, o composto é obtido por meio de um processo tipicamente dividido em duas fases: uma fase ativa e uma de cura.

A primeira é caracterizada pela intensa atividade microbiana levando a decomposição da maior parte dos materiais biodegradáveis.

A segunda (ou seja, o estágio de humificação), é caracterizada pela conversão de parte do material orgânico remanescente em substâncias húmicas (CASTALDI et al., 2005).

Durante a compostagem os microrganismos transformam a matéria orgânica em CO₂, água, biomassa, energia térmica (calor) e húmus, como produto final. A capacidade dos microrganismos para assimilar a matéria orgânica depende da sua capacidade de produzir as enzimas necessárias para a degradação do substrato. Estes necessitam de uma fonte de carbono, macro nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio, e de certos elementos traço para o seu crescimento.

O carbono serve principalmente como fonte de energia para os microrganismos, sendo uma pequena fração incorporada em suas células. Parte da energia é utilizada para o metabolismo microbiano, o resto é liberado na forma de calor. Componente das proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas e co-enzimas necessárias para o crescimento celular, o nitrogênio é um elemento crítico para os microrganismos e para a compostagem: sendo um fator limitante, o processo de degradação será lento. Em contrapartida, quando em excesso, o N é muitas vezes perdido do sistema como o gás amônia. A relação C/N ideal para o início da compostagem tem sido considerada como entre 25 - 40, variando de acordo com o substrato (CASTALDI et al., 2005).

3.10.1. Esterco Bovino

O esterco bovino tem na sua composição de 30 a 58% de Matéria Orgânica; 0,3 a 2,9% de N; 0,2 a 2,4% de P; 0,1 a 4,2% de K e relação C/N 18 a 32%. É um ótimo meio de cultura para os organismos, aumentando a quantidade de bactérias do solo quando adicionado como fertilizante. Julgava-se, inicialmente, que esse aumento era devido aos microorganismos existentes no esterco; mais tarde, no entanto, foi demonstrado que mesmo adicionando ao solo esterco esterilizado, sem microorganismos vivos, obtinha-se aumento considerável da

população microbiana. Quando curtido, o esterco não causa deficiência de N, porém tem maior perda de N por volatilização, apresenta ainda efeito regulador sobre o pH e neutraliza os efeitos do alumínio trocável do solo, aumenta os teores de P, K e Ca (KIEHL, 1985).

A incorporação de esterco bovino é considerada uma prática viável no incremento da produtividade dos solos, devido a sua atuação sobre as características químicas do solo e, geralmente, estimularem a atividade biológica e favorecerem o condicionamento físico do solo (ARAÚJO, 2005).

Contudo, a produtividade agrícola depende da quantidade adequada dos nutrientes existentes no perfil do solo, sendo o esterco bovino forte aliado na sua fertilidade (KONZEN et al., 1997).

Nesse sentido, segundo Tibau (1983), a fração solúvel do esterco tem por característica manter o fósforo e outros nutrientes essenciais de forma disponível e absorvível pelas plantas.

Quantidades adequadas de esterco bovino de boa qualidade podem suprir as necessidades das plantas em macronutrientes, sendo o potássio, o elemento cujo teor atinge valores mais elevados no solo pelo seu uso contínuo (RAIJ et. al, 1985). Porém, sua adição em quantidade excessiva pode trazer prejuízos às plantas em algumas situações de solos muito ácidos e argilosos, onde os benefícios da adubação orgânica não são muito evidentes. Neste caso, a necessidade de aplicação de altas doses de esterco bovino pode aumentar os teores de nitrogênio no tecido vegetal e água, salinização do solo pela possibilidade de elevação da condutividade elétrica, desbalanço nutricional e conseqüentemente, redução da produtividade das culturas (ARAÚJO, 2005).

3.11 Planejamento Experimental

Devido as notáveis realizações em tecnologia e desenvolvimento industrial, ferramentas estatísticas são cada vez mais usadas para otimizar processos, quando combinadas com Design de Experimental (DOE), acabam se tornando ferramentas importantes no estabelecimento do controle estatístico do processo. Através do DOE, é possível determinar a influência de várias variáveis no sistema ou nos resultados do processo, levando em consideração padrões científicos e estatísticos. (Rodriguez; IEMMA, 2014).

Ferramentas estatísticas são cada vez mais utilizadas em trabalhos acadêmicos, substituindo a abordagem empírica, possui várias técnicas que podem ajudar na obtenção e análise de resultados de forma satisfatória. A metodologia do planejamento experimental, associada à análise de superfícies de respostas, é uma ferramenta baseada na teoria estatística,

que fornece informações seguras sobre o processo. (GEORGE; HUNTER; HUNTER, 2005). Com esse método, é possível alcançar dois grandes objetivos: a maior precisão estatística possível na resposta e o menor custo. (MONTGOMERY, 2007).

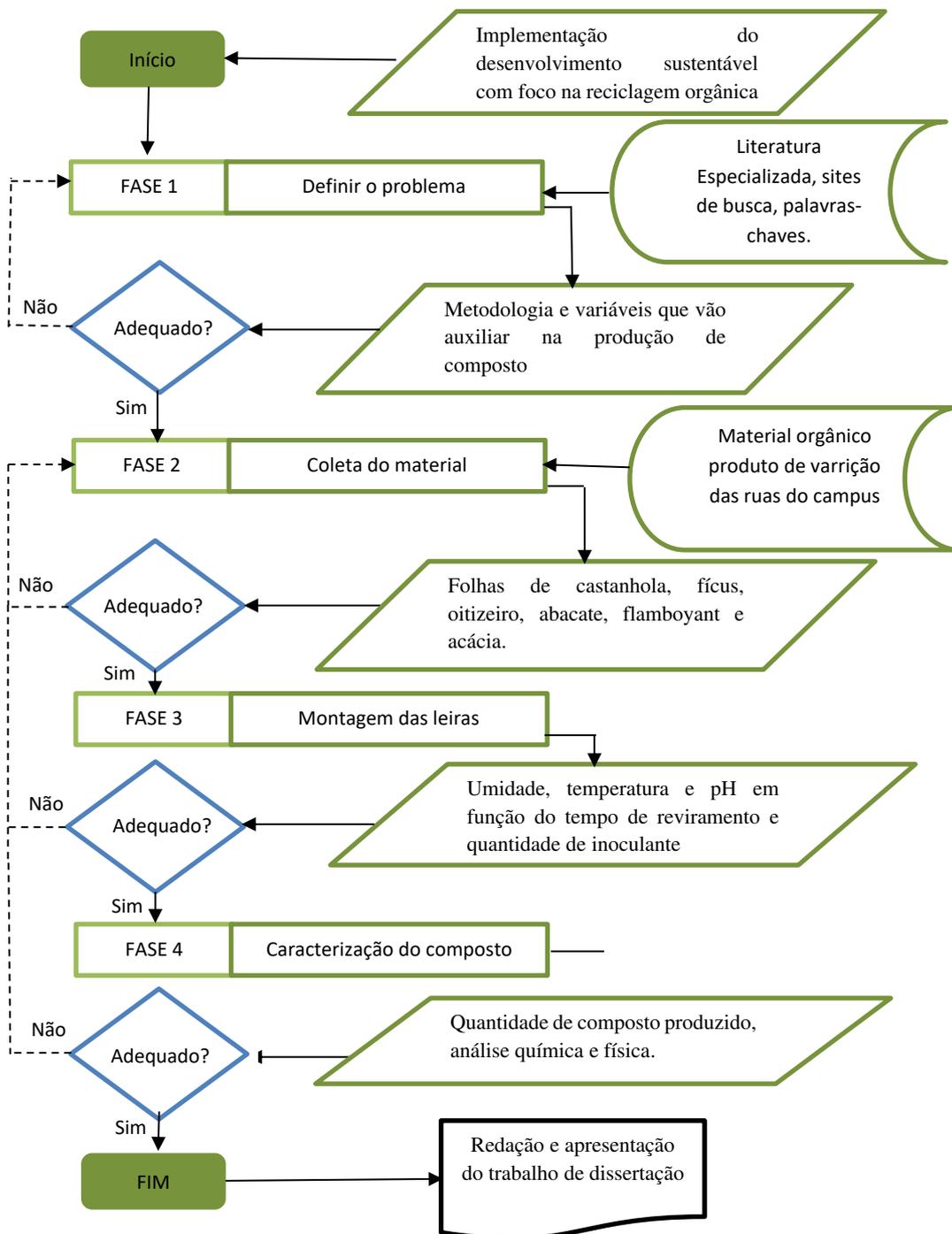
Dentre as várias vantagens do uso da metodologia de Planejamento Experimental no desenvolvimento de uma pesquisa, podem ser destacadas a redução no número de experimentos, reduzindo o tempo de preparo e economizando material, análises simultâneas dos fatores ou variáveis, possibilitando a determinação do efeito de cada fator de entrada sobre os fatores dependentes ou resposta, além de possibilitar e avaliar o cálculo do erro experimental. (RODRIGUES; IEMMA, 2014).

Contudo, para obter as melhores respostas e análises a partir do planejamento experimental, é necessário entender o seu funcionamento e selecionar o delineamento adequado a pesquisa, considerando a existência de várias configurações. Essas análises estatísticas podem ser feitas através de softwares específicos, como o Statistica® e o Minitab®.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Este capítulo descreve a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho. Os procedimentos metodológicos para o desenvolvimento do trabalho seguem o fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma metodológico para o desenvolvimento do trabalho



Fonte: Autor (2022)

A presente pesquisa foi realizada na Universidade Federal de Campina Grande, Campus de Campina Grande – PB no Laboratório de Tecnologias Agroambientais sob as seguintes Coordenadas Geográficas: Latitude: 07° 12' 54.67"S, Longitude: 35° 54' 39.31"O e altitude de 519 metros. O experimento foi conduzido durante no ano de 2021. A UFCG possui uma área total de 14,73 hectares e frequentam, diariamente, cerca de 12 mil pessoas, distribuídas entre estudantes, professores e servidores, Figura 2.

Figura 2– Universidade Federal de Campina Grande, Campus I. (a) Vista Superior; (b) Coreto entrada principal



(a)

Fonte: UFCG (2018)



(b)

Fonte: UFCG (2018)

O Laboratório de Tecnologias Agroambientais (LTA), pertencente a Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola (UAEA/CTRN), fornece suporte para a realização de projetos de extensão na área ambiental e, principalmente, em compostagem orgânica, há mais de uma década, produzindo, anualmente, uma média de 4 toneladas de composto orgânico, doando para a comunidade acadêmico, produtores rurais e público em geral.

4.1 Materiais Utilizados

O material orgânico foi coletado durante as varrições das ruas do Campus I (UFCG), sendo acondicionado no pátio de compostagem para reduzir a umidade, em seguida triturado em máquina especializada. Os materiais utilizados na produção do composto orgânico foram provenientes da poda de árvores e varrição das ruas do Campus I/UFCG e esterco proveniente do distrito de Catolé, microrregião de Campina Grande – PB, fornecido no estado curtido, adquirido junto a produtores locais da agricultura familiar, Figura 3.

Figura 3– Resíduo orgânico coletado



Fonte: Autor (2022)

Os resíduos orgânicos coletados consistiram de podas de árvores da família Combretaceae, Moraceae, Chrysobalanaceae, Caesalpinaceae e Mimosaceae. Estas árvores foram a castanhola (*Terminalia catappa* Linn.), *Ficus benjamina* Linn., popularmente conhecida como fícus, oitizeiro (*Licania tomentosa*), Flamboyant (*Delonix regia*) e acácia (*Acacia auriculiformis* A).

A Castanhola pertence à família Combretaceae, (*Terminalia catappa* Linn.), de origem asiática, a árvore mede de 12-15 metros, copa globosa com diâmetro atingindo 15 metros; folhas caducas medindo 15-25 cm; flores esbranquiçadas, florescendo entre os meses de janeiro-julho; fruto tipo drupa medindo cerca de 8 cm de comprimento e 4 cm de diâmetro, amadurecendo entre os meses de novembro-março, semente medindo cerca de 6 cm; propagação por semente, a planta tem um rápido desenvolvimento, atingindo 4 metros em dois anos (DANTAS et al, 2010).

Ficus benjamina Linn., popularmente conhecida como fícus, é uma árvore pertencente à família Moraceae, a espécie é nativa das florestas tropicais do sudeste da Ásia, Índia, sul da China, Malásia, Filipinas, ilhas do Pacífico Sul e da Austrália (STARR et al., 2003), descrita como uma espécie perene, ou sempre-verde, podendo alcançar 10,0 m de altura, e comumente apresenta raízes adventícias (GUEVARA-ESCOBAR et al., 2007). Essas raízes podem se lignificar paralelamente ao tronco, proporcionando uma forte ancoragem e causando uma autoenxertia (JIM & CHEN, 2010). A arquitetura natural da espécie, quando madura, é caracterizada pelo maior desenvolvimento em largura se comparada à altura, formando uma copa densa em formato de guarda-chuva (STARR et al., 2003).

Oitizeiro é uma árvore pertencente à família Chrysobalanaceae, (*Licania tomentosa* Fritsch), tem ocorrência natural no Nordeste brasileiro e especialmente na mata atlântica, a planta mede 8-15 metros de altura, copa frondosa elíptica com diâmetro entre 6 a 20 metros; folhas perenes medindo mais ou menos 6-8 cm de comprimento por 3-4 cm de largura; flores de cor esbranquiçada, florescendo entre os meses de junho-setembro; fruto tipo drupa de forma ovalada medindo 10-15 cm de comprimento, 5 a 8 cm de largura, amadurece entre os meses de janeiro e março; semente grande 8-12 cm; propagação por semente, a planta tem um desenvolvimento lento, medindo 3 metros em quatro e cinco anos, (DANTAS et al, 2010).

Flamboyant é uma árvore pertencente a família Caesalpinaceae, (*Delonix regia*), com origem em Madagascar, a planta tem características ornamentais medindo de 5-12 metros de altura, copa caliciforme com diâmetro chegando a 6 metros; folhas caducas com folíolos medindo de 2-3 cm; flores de cor vermelha e amarela, florescendo mais intensamente entre os meses de outubro a dezembro; fruto tipo vagem medindo cerca de 15-25cm de comprimento e diâmetro 6-10 cm; o fruto amadurece entre os meses de outubro-fevereiro, a semente mede cerca de 2-3 cm; propagação por semente, tem um rápido desenvolvimento, atingindo 4 metros em dois anos, (DANTAS et al, 2010).

Acácia é uma árvore pertencente à família Mimosaceae, (*Acacia auriculiformis* A.), com origem na Austrália, tem característica ornamental medindo cerca de 5-12 metros de altura, copa elíptica com diâmetro cerca de 8 metros; folhas perenes com folíolos medindo cerca de 10 cm; flores de cor amarela, florescendo entre os meses de outubro a maio; fruto do tipo vagem seca medindo cerca de 5 cm, frutificando entre os meses de julho a setembro; sementes medindo cerca de 1 cm; propagação por sementes, tem um desenvolvimento lento, atingindo aproximadamente 1 metro em dois anos, (DANTAS et al, 2010).

Além disso, foram utilizados lonas plásticas, tonéis, ancinho, pá e enxada, carro de mão, máquina forrageira, peneira, balança, embalagens, luvas, botas e máscaras.

4.2 Desenvolvimento das leiras

Foi utilizada a metodologia baseada pelo CEMPRE (2000), realizando-se adaptações conforme as condições climatológicas da localidade, onde foram montadas leiras revolvidas, também conhecido como sistema Windrow, a pilha de resíduos (leira) é montada sobre o solo (compactado ou impermeabilizado). De acordo com essa metodologia, a aeração é realizada por meio de revolvimento manual, tendo como objetivo aumentar a porosidade da pilha, verificar umidade e temperatura, realizando irrigação entre as camadas se necessário, e

melhorar a homogeneidade dos resíduos, favorecendo a ação dos micro-organismos decompositores e acelerando a decomposição da matéria orgânica.

Foram montadas oito (8) leiras com dimensões de 1,5 m de largura por 2 m de comprimento e 1m de altura, com o formato de um telhado com quatro águas, Figura 4. Foram realizados sete tratamentos e uma testemunha, os tratamentos tiveram como inoculante esterco bovino. O tempo de duração dos ensaios foram determinados de acordo com o planejamento experimental fatorial.

Figura 4– Montagem das leiras. (a) Leira coberta durante a realização do ensaio (b) conjunto de leiras



(a)



(b)

Fonte: Autor (2022)

Para Kiehl (2010), o esterco bovino fresco é rico em bactérias que vivem no trato digestivo animal, e, logo no início da fermentação, observa-se uma multiplicação destas, o que torna o esterco um ótimo meio de cultura para os microrganismos, aumentando a quantidade de bactérias do local onde o esterco for adicionado. Sendo assim, o esterco pode ser um bom inoculante para a aceleração da compostagem.

O esterco bovino possui valor como corretivo do solo e como nutriente para as plantas. Dessa forma, culturas adubadas com composto orgânico (esterco), normalmente apresentam plantas com nutrição mais equilibrada e com melhor desenvolvimento do que aquelas adubadas somente com fertilizantes minerais (KIEHL, 2010).

4.3 Planejamento fatorial composto central

Para o planejamento fatorial composto central, com relação a análise estatística a ser efetuada, foram definidas as variáveis dependentes: reviramento (Dias) e Inoculante (kg), com o objetivo de analisar o efeito das variáveis na quantidade de composto produzido com o mínimo de experimentos.

Como o planejamento experimental empregado foi o composto central, portanto, foram realizados 7 ensaios. A Tabela 1 apresenta os níveis para os fatores e seus valores codificados.

Tabela 1– Níveis para os fatores e seus valores codificados para a produção de composto orgânico

Parâmetro	Símbolo	Unidade	Níveis		
			-1	0	+1
Reviramento	Re	(Dias)	7	11	15
Inoculante	In	(kg)	10,8	21,6	32,4

Fonte: Autor (2022)

A Tabela 2 apresenta a distribuição dos ensaios com os respectivos níveis adotados. Estes ensaios foram catalogados com a primeira letra da variável e o valor escolhido naquele ensaio, exemplo T1R15I32,4, que indica o tratamento 1 (T1), reviramento a cada 15 dias (R15) e inoculante com 32,4 kg (I32,4).

Tabela 2– Planejamento experimental 2^2+3

Amostra	Fatores de Controle	
	Re (Dias)	In (kg)
T1R15I32,4	+1	+1
T2R15I10,8	+1	-1
T3R7I32,4	-1	+1
T4R7I10,8	-1	-1
T5R11I21,6	0	0
T6R11I21,6	0	0
T7R11I21,6	0	0

Fonte: Autor (2022)

Na análise do planejamento experimental composto central, foi utilizado o software computacional STATISTICA versão 7.0, obtendo avaliações como a ANOVA e a curva de superfície de resposta para analisar a influência das variáveis em estudo.

4.4. Determinação física

4.4.1 Monitoramento da temperatura

A evolução da temperatura na compostagem é reflexo da atividade metabólica dos microrganismos, e por isso é considerada o fator mais indicativo do equilíbrio biológico e da eficiência do processo (KIEHL, 1985). Foi analisada a temperatura no interior das leiras, possibilitando o controle do processo (KIELHL, 1985).

O monitoramento da temperatura no interior da leira foi realizado durante o reviramento utilizando um termômetro bimetal, SKU, modelo FE-PHT-01, e haste de 300mm de comprimento. As medições foram feitas no centro das leiras.

4.4.2 Monitoramento da Umidade

O teor de umidade na leira (na faixa entre 50 e 60%) foi obtida através de medições feitas durante o reviramento com um medidor do tipo SKU, modelo FE-PHT-01, e haste de 300mm de comprimento, com medições realizadas no centro das leiras. A correção da umidade era feita no reviramento, tendo que permanecer em torno de 50% de umidade em cada leira.

Por fim, após o processo de compostagem, foi medida a umidade no produto final, no Laboratório de Tecnologias Agroambientais – LTA, em estufa com circulação de ar forçado, com temperatura regulável, utilizando-se de 20 a 30g de material úmido e homogêneo em temperatura de 105°C por 24 horas (TEDESCO et al., 1995).

4.4.3 Medições de pH

O monitoramento de pH foi feito no LTA, em medidor de pH com um medidor do tipo SKU, modelo FE-PHT-01, e haste de 300mm de comprimento, com medições realizadas no centro das leiras, Figura 5.

Figura 5– Medição de pH



Fonte: Autor (2022)

4.5 Análise química

As análises químicas foram realizadas no laboratório de Análise de Tecido de Planta na Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Campus II, em Areia - PB. Foi utilizada a metodologia de digestão do material orgânico com $\text{HNO}_3 - \text{HClO}_4$ que é amplamente utilizada na determinação do teor total de vários nutrientes, os procedimentos adotados variam conforme a sensibilidade desejada, os nutrientes a determinar, vidraria e equipamentos utilizados (TEDESCO et al., 1995).

Finalizado o processo de compostagem, foram retiradas amostras para execução das análises químicas. Foram analisados os seguintes parâmetros: carbono orgânico, nitrogênio, potássio, fósforo, cálcio, magnésio, enxofre, cobre, zinco, ferro, manganês e boro.

4.6 Determinação da maturação e quantificação do composto produzido

A determinação da maturação consiste em realizar a mistura de uma porção do composto em um Becker com água. Após a mistura, se o material obtiver uma coloração escura, semelhante a tinta preta, com partículas em suspensão, indicará que o composto está adequado para uso (CASTALDI et al., 2007). A Figura 6 ilustra esse procedimento.

Figura 6– Teste de maturação: (a) Coloração escura característica de composto maturado; (b) partículas em suspensão



(a)



(b)

Fonte: Autor (2022)

A quantificação do composto foi feita no LTA-UFCG. Para isto, foi realizada a pesagem inicial do material orgânico e a porcentagem do inoculante a base de esterco bovino junto com a adição de água, obtendo-se assim o peso inicial das leiras de compostagem. No final do processo, ocorreu o peneiramento do composto maturado, utilizando peneira com malha de 4 mm, o composto que não atingiu a granulometria ideal foi descartado. Em seguida, com a pesagem do mesmo e o resultado obtido, foi realizada a subtração da pesagem inicial das leiras, obtendo-se o percentual de composto orgânico produzido.

5. Resultados e Discussão

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados obtidos neste trabalho. Em primeiro lugar, são apresentados os resultados obtidos a partir da análise estatística dos ensaios através do planejamento experimental fatorial. A influência das variáveis, reviramento e quantidade de inoculante, é estudada em função da quantidade de composto que é produzido. Contribuições desta fase do trabalho, consideradas importantes, são a determinação da condição ótima para a produção da maior quantidade de composto orgânico.

Em segundo lugar, são mostrados os resultados alcançados ao longo da execução de cada ensaio, como análise da temperatura, umidade e pH. Além disso, é mostrada uma análise química do composto produzido.

5.1 Análise dos ensaios através do planejamento experimental

Os resultados ora expostos, representam a aplicação da metodologia do planejamento experimental fatorial 2^2 com 3 no ponto central, na determinação da configuração ótima para a determinação da quantidade de composto orgânico produzido (QCP).

Estes resultados foram analisados através do software Statistica versão 7.0 de acordo com o planejamento experimental, cuja matriz de planejamento é apresentada na Tabela 3. nesta tabela também é apresentado a quantidade de composto obtido em cada ensaio. A quantidade final de composto apresentado na Tabela 3 passou por etapas de peneiramento e o rejeito foi descartado, sendo este não somado ao composto produzido.

Tabela 3– Matriz do planejamento composto central utilizado no estudo

Amostra	Fatores de Controle		Quantidade de composto (kg)
	Re (Dias)	In (kg)	
T1R15I32,4	+1	+1	118,00
T2R15I10,8	+1	-1	106,00
T3R7I32,4	-1	+1	157,00
T4R7I10,8	-1	-1	123,00
T5R11I21,6	0	0	118,00
T6R11I21,6	0	0	117,00
T7R11I21,6	0	0	116,00

Fonte: Autor (2022)

De posse dos resultados apresentados na Tabela 3, realizou-se uma análise estatística de variância e, assim, foi calculado o nível de significância “*p*” dos fatores de controle sobre a quantidade de composto produzido. Para efeitos cujos níveis de significância são menores que 0,05, estes são estatisticamente significativos, ou seja, há uma probabilidade de acerto de 95% em se admitir que este fator de controle esteja influenciando as variáveis de resposta analisadas. Os valores de “*p*” são apresentados no Quadro 1, onde os valores em vermelho sublinhados representam os fatores estatisticamente significativos.

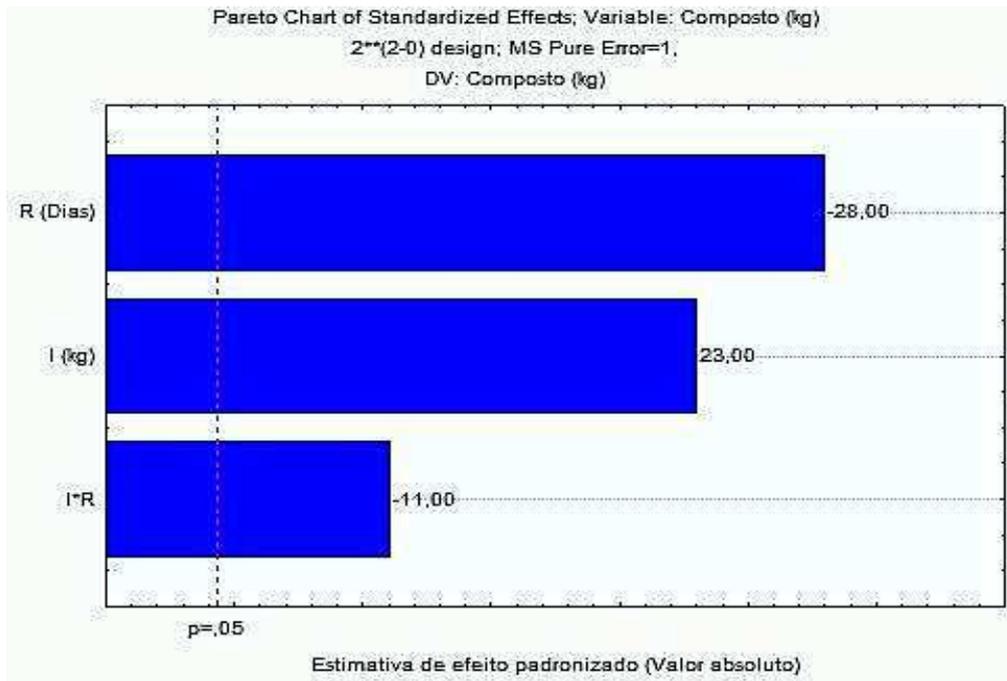
Quadro 1-Nível de significância dos fatores de controle sobre a variável resposta

Fatores de controle	Valor de <i>p</i>
	Composto (kg)
Inoculante (kg)	<u>0,001885</u>
Reviramento (Dias)	<u>0,001273</u>
Inoculante * reviramento	<u>0,008163</u>
R ²	91,056
R ² _{Ajustado}	82,112
MS Erro Puro	19,95

Fonte: Autor (2022)

A Figura 7, apresenta o gráfico de Pareto ou diagrama de Pareto, nele é possível visualizar que os parâmetros avaliados no trabalho, o reviramento e a quantidade de inoculante influenciam a variável dependente, composto produzido. A interação entre as variáveis também demonstra efeito significativo na QCP, no entanto em menor proporção.

Figura 7-Diagrama de Pareto de efeitos associados a quantidade de composto produzido



Fonte: Autor (2022)

A Equação 1 apresenta o modelo empírico com os seus respectivos parâmetros estatísticos para a QCP, onde foram levados em consideração todos os efeitos estaticamente significativos. Com base na análise de variância pode-se concluir que a QCP foi influenciada de forma significativa por ambos os fatores de controle analisados, dentro das configurações deste trabalho. A equação apresenta relevante significância estatística e pode ser utilizada para ter uma estimativa da quantidade de composto produzido, levando em consideração a variável inoculante e reviramento.

$$QCP = 107,392 + (2,465*i) - (0,75*r) - (0,127*i*r) \quad (1)$$

Onde, i e r, representam, respectivamente, a variável inoculante (kg) e reviramento (dias).

No Quadro 2 está apresentado o resultado da análise de variância para a QCP, mostrando através do valor de $F_{\text{CALCULADO}}$ que o modelo é estatisticamente significativo e preditivo, pois $4F_{\text{CALCULADO(R)}} > F_{\text{TABELADO(R)}}$, e bem ajustado já que $F_{\text{CALCULADO (F.A)}} < 4F_{\text{TABELADO (F.A)}}$.

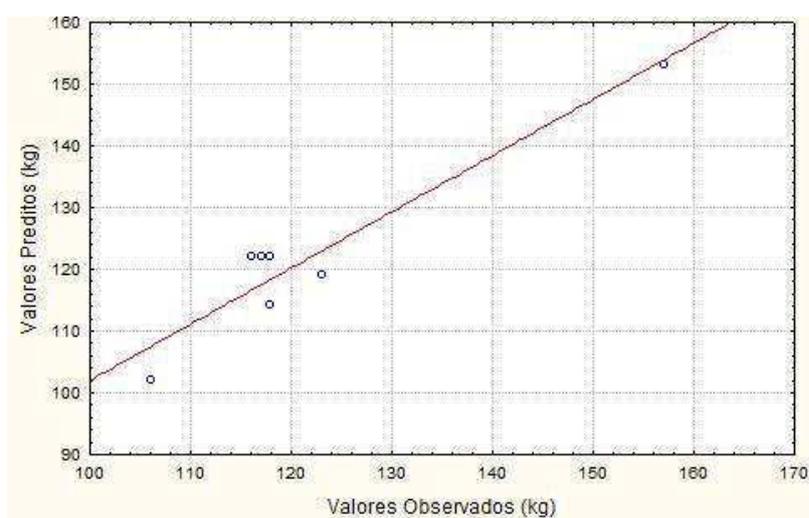
Quadro 2- Resultado da análise de variância para a QCP

VARIAÇÕES	SOMA DOS QUADRADOS	GRAUS DE LIBERDADE	QUADRADO DA MÉDIA	F _{CALCULADO}
Efeito da variável Inoculante (I)	529,00	1	529,00	11,35
Efeito da Variável Reviramento (R)	784,00	1	784,00	16,83
Efeito da interação (IxR)	121,00	1	121,00	2,57
Regressão	1434,00	3	478,00	10,26
Resíduos	139,71	3	46,57	1
Falta de ajuste	138,85	0	0	0
Erro puro	19,95	2	9,97	0,21
Total	1574,71	6		
R ² (Coeficiente de correlação)	91,05%			
F _{CALCULADO} = 10,26				
F _{TABELADO} , G.L (R); G.L (RES); 95% = 6,59			F _{CALCULADO} > F _{TABELADO}	

Fonte: Autor (2022)

A Figura 8 mostra os valores observados em função dos valores preditos. Nota-se que os valores observados experimentalmente são bem ajustados à curva teórica de valores esperados.

Figura 8-Valores preditos x valores observados



Fonte: Autor (2022)

Na Tabela 4 está apresentado os resultados medidos e calculados para QCP, a fim de possibilitar análise do erro relativo entres os valores dos resultados do planejamento

experimental. Observa-se uma boa aproximação entre eles, sendo o resultado do ensaio 2 de maior desempenho com menor diferença entre o valor medido e calculado do QCP, com apenas 2,51 % de erro relativo. Os resultados se afirmam ainda mais confiáveis quando considerado o valor do erro puro determinado em planejamento, com possibilidade de variância de $\pm 6,14$ kg, deixando todo valor medido dentro da faixa de erro previsto pela Equação 1.

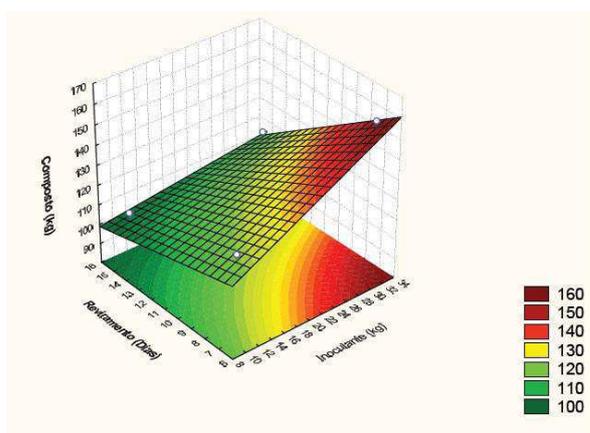
Tabela 4- Dados comparativos entre a quantidade produzido e calculado

Ensaio	Quantidade de composto (kg)		Erro relativo (%)
	Observados	Preditos	
1	123,00	119,14	3,23
2	106,00	102,14	3,77
3	157,00	153,14	2,51
4	118,00	114,14	3,37
5	118,00	122,14	3,39
6	117,00	122,14	4,21
7	116,00	122,14	5,02

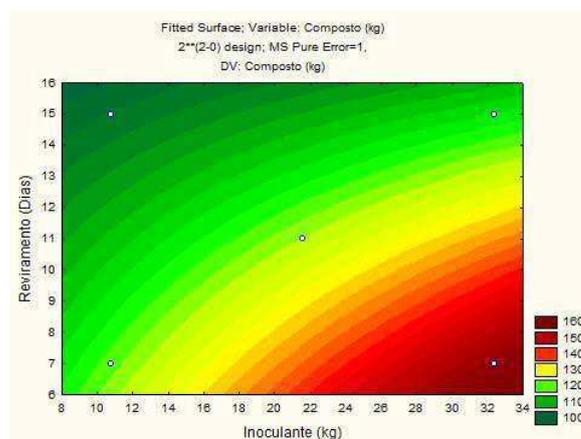
Fonte: Autor (2022)

A Figura 9 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra a superfície de resposta obtida da análise de planejamento experimental. Este gráfico exibe a influência do reviramento e quantidade de inoculante no QCP.

Figura 9- Superfície de resposta evidenciando a influência do reviramento e inoculante no QCP. (a) Superfície de resposta plotada em 3D; (b) superfície de resposta plotada em 2D



(a)



(b)

Fonte: Autor (2022)

Através da Figura 9, é possível observar a configuração ótima para obtenção da quantidade máxima de composto orgânico produzido. Esta configuração ótima é obtida quando a variável inoculante está no seu nível superior, ou seja, quando é utilizado 30% ou 32,4kg. Por outro lado, o desempenho superior ocorreu quando a variável reviramento apresentou o seu nível mínimo, 7 dias. Com isto, a quantidade máxima de composto orgânico é alcançada com a quantidade máxima de inoculante com a realização de reviramentos em intervalos menores de dias.

5.2 Efeito da temperatura e Umidade

Durante a realização dos tratamentos, foram feitas análises de temperatura e umidade no interior da leira.

5.2.1 Efeito da temperatura

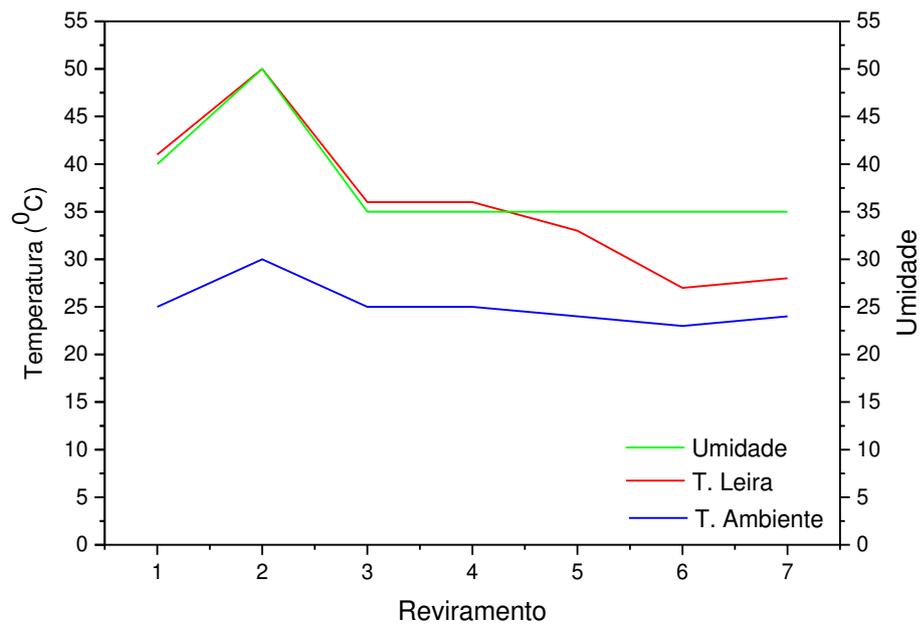
Os resultados da temperatura medida antes de cada reviramento são apresentados na Tabela 5. Estes resultados foram plotados em gráfico para melhor compreensão, Figura 10 a Fonte: Autor (2022)

Tabela 5 - Temperatura medida durante os reviramentos

Teste	Reviramento										T. Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ensaio 1	41	50	36	36	33	21	28	-	-	-	35 ± 9,23
Ensaio 2	37	40	34	37	33	29	27	-	-	-	33,85±4,63
Ensaio 3	44	49	48	44	39	40	34	34	31	30	40,33±6,42
Ensaio 4	45	50	48	46	39	35	34	35	31	31	40,33±7,00
Ensaio 5	48	40	36	36	33	31	31	29	-	-	36,42±6,02
Ensaio 6	49	43	41	32	35	32	32	29	-	-	42,42±5,41
Ensaio 7	45	44	39	34	33	35	30	29	-	-	37,14±5,69

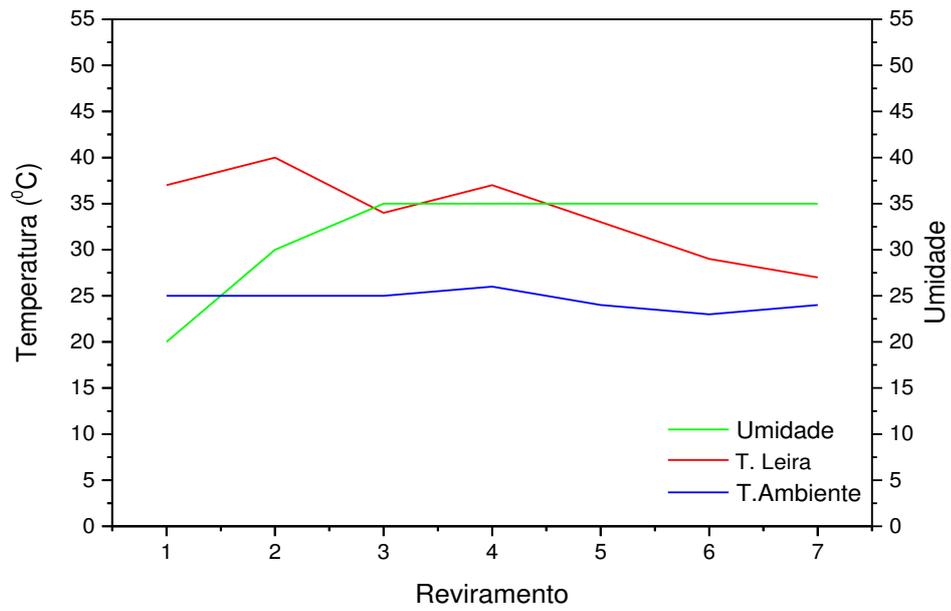
Fonte: Autor (2022)

Figura 10 - Tratamento com 32,4 kg de inoculante e reviramento a cada 15 dias, com duração total de 105 dias



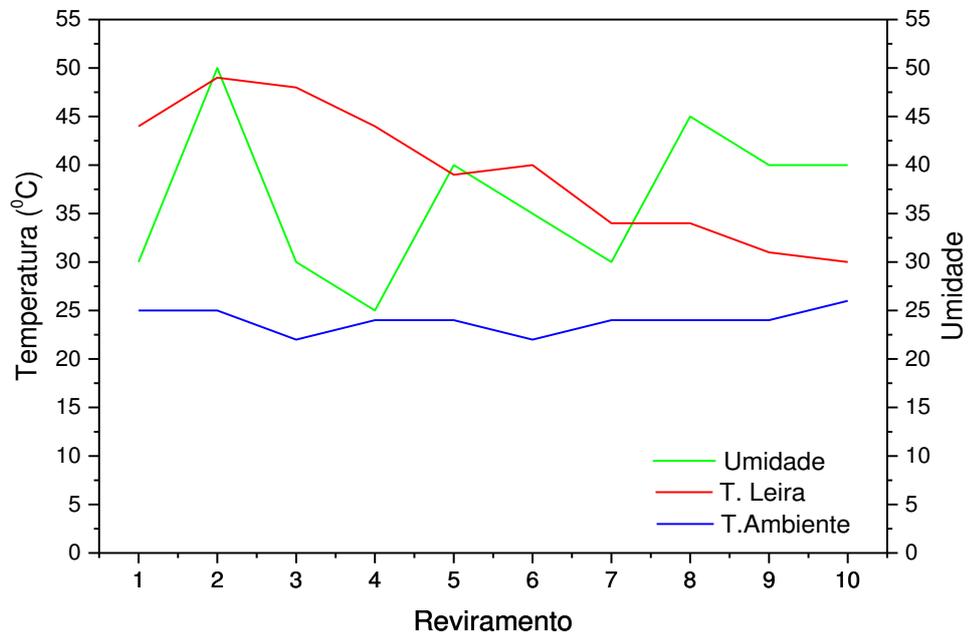
Fonte: Autor (2022)

Figura 11-Tratamento com 10,8 kg de inoculante e reviramento a cada 15 dias, com duração total de 105 dias



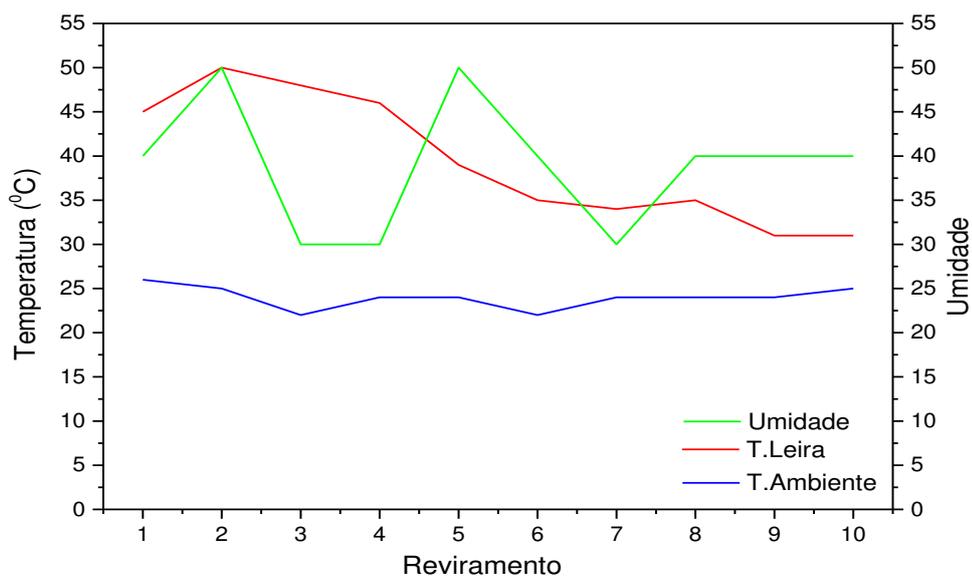
Fonte: Autor (2022)

Figura 12-Tratamento com 32,4 kg de inoculante e reviramento a cada 7 dias, com duração total de 70 dias



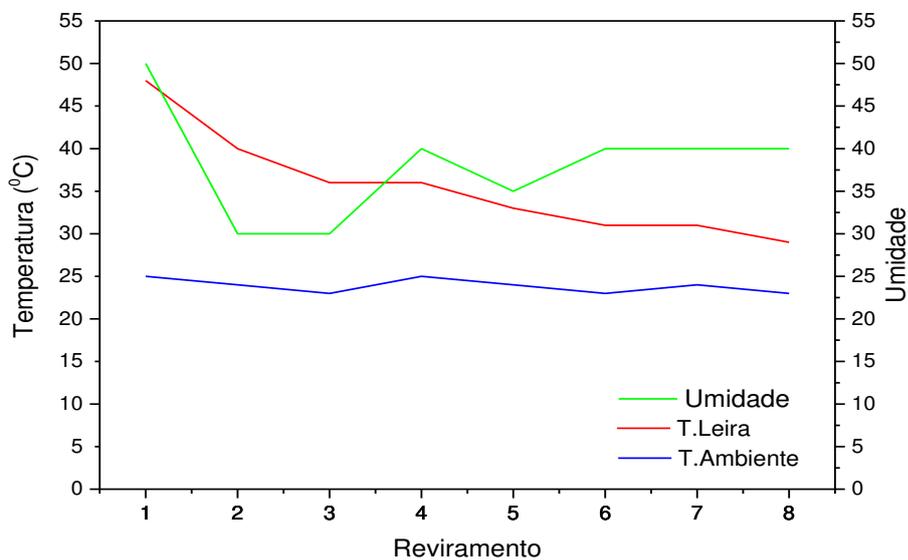
Fonte: Autor (2022)

Figura 13-Tratamento com 10,8 kg de inoculante e reviramento a cada 7 dias, com duração total de 70 dias



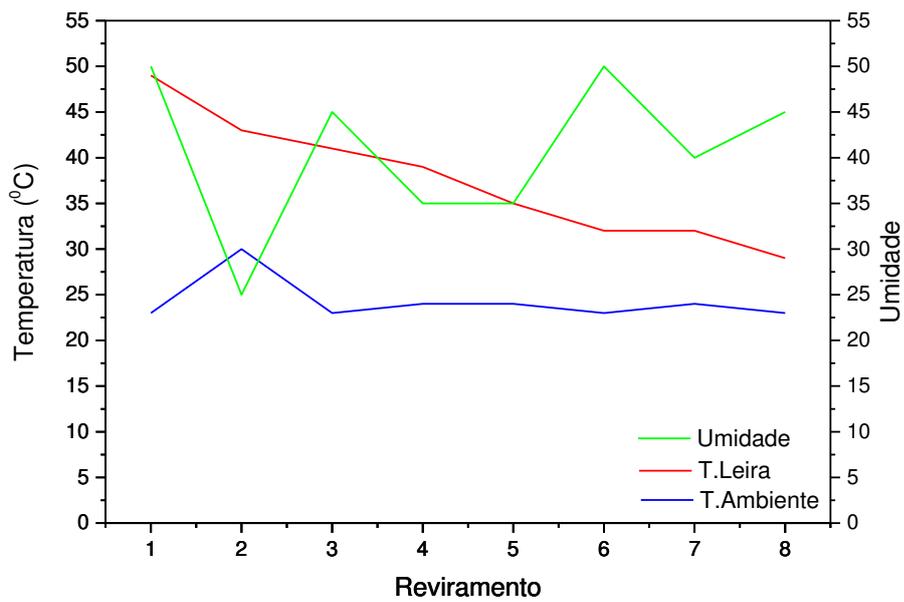
Fonte: Autor (2022)

Figura 14- Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias.



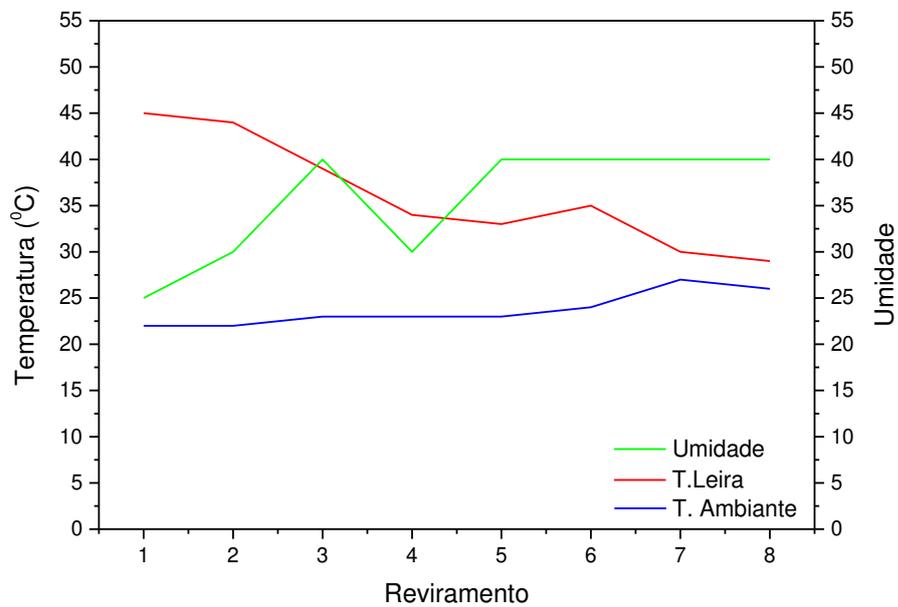
Fonte: Autor (2022)

Figura 15- Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias



Fonte: Autor (2022)

Figura 16-Tratamento com 21,6 kg de inoculante e reviramento a cada 11 dias, com duração total de 88 dias



Fonte: Autor (2022)

De acordo com os dados apresentados, a temperatura máxima atingida nos ensaios foi de 50°C, alcançados nos ensaios 1,4 e 6. Quanto a temperatura média, os maiores valores foram alcançados para os ensaios 3 e 4, 40,33°C que tinham maior número de reviramentos. Isso ocorreu devido ao fato que novas partículas são expostas a condições aeróbicas, induzindo o aumento da temperatura. (SAADI *et al.*, 2013).

Os períodos de fase ativa e maturação podem ser identificados a partir dos gráficos apresentados nas Figura 10 a Figura 16. A duração total da compostagem em cada ensaio assim como a duração de cada fase está contida na Tabela 6.

A temperatura é um parâmetro crítico para a compostagem. As altas temperaturas costumam ser consideradas uma condição necessária para a higienização do composto. As temperaturas ótimas são aquelas que atingem os objetivos desejados: saneamento, degradação rápida, evaporação da água e umificação. As altas temperaturas devem ser evitadas, pois retardam a atividade biológica e causam modificações químicas indesejáveis na matéria orgânica. Baixas temperaturas também são indesejáveis porque não atingem os objetivos de remediação (Mustin 1987).

As altas temperaturas são atribuídas a atividade biológica, o calor sendo gerado pela hidrólise das ligações no carbono no processo de biodegradação. O fluxo de calor é um indicador de compostagem bem-sucedida. Pode ser regulado por aeração (remoção de calor por ventilação ou girando). De forma mais geral, a geração de calor, temperatura, ventilação e umidade são os quatro fatores de interação durante o processo de compostagem (Strom 1985). Os experimentos de McKinley e Vestal (1985) sobre compostagem de resíduos urbanos, mostram que a temperatura é o principal fator que afeta o metabolismo microbiano.

Tabela 6 - Tempo de duração da compostagem por ensaio

Leira	Duração da compostagem (dias)	Duração da fase (dias)		
		Termofílica	Mesofílica	Maturação
Ensaio 1	105	45	30	30
Ensaio 2	105	30	45	30
Ensaio 3	70	28	28	14
Ensaio 4	70	35	21	14
Ensaio 5	88	22	44	22
Ensaio 6	88	22	44	22
Ensaio 7	88	22	44	22

Fonte: Autor (2022)

A fase ativa foi considerada até o atingimento das temperaturas na faixa de 40 e 45°C, faixa de valores sugerido acordo com o manual de compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos. O fim da compostagem foi considerado quando a temperatura, durante a fase mesofílica, se aproximou da temperatura ambiente.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 6, a variável reviramento influenciou diretamente no tempo de compostagem. Os ensaios 3 e 4 apresentaram menor tempo para a produção do composto, 70 dias. Por outro lado, os ensaios 1 e 2 alcançaram o maior tempo, 105 dias, devido a menor frequência de reviramentos. Os ensaios 5, 6 e 7 levaram 88 dias para finalizar a compostagem. O revolvimento ou reviramento manual provoca um aumento da aeração, contribuindo para aceleração da decomposição causada pela atividade dos microrganismos decompositores.

5.3 Efeito da umidade

A umidade foi aferida em todos os reviramentos realizados nos ensaios. O comportamento da umidade em função do reviramento pode ser visualizado nas Figura 10 a Fonte: Autor (2022)

. Para mais detalhes, pode-se destacar na Tabela 7 os valores de umidade aferidos durante ensaios. Estes dados são apresentados em forma de porcentagem. Após aferição, a umidade foi ajustada para 55% com a adição de água.

Tabela 7 - Valores para a umidade medidos durante os reviramentos

Teste	Reviramento										Média
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Ensaio 1	40	50	35	35	35	35	35	-	-	-	37,85±5,66
Ensaio 2	20	30	35	35	35	35	35	-	-	-	32,14±5,66
Ensaio 3	30	50	30	25	40	35	30	45	40	40	36,11±8,20
Ensaio 4	40	50	30	30	50	40	30	40	40	40	38,88±7,81
Ensaio 5	50	30	30	40	35	40	40	40	-	-	38,12±6,51
Ensaio 6	50	25	45	35	35	50	40	45	-	-	40,62±8,63
Ensaio 7	25	30	40	30	40	40	40	40	-	-	35,62±6,23

Fonte: Autor (2022)

O valor máximo de umidade (50%) foi atingido no início da compostagem pelos ensaios 5 e 6. Esta umidade máxima foi atingida nos ensaios 1, 3 e 4 apenas durante o segundo reviramento. Nos ensaios 2 e 7, a umidade máxima atingida foi de 35 e 40%, respectivamente. A estabilização do valor ótimo de umidade durante a compostagem é relativamente difícil, particularmente para a compostagem em ambiente aberto.

Valores de umidade inicial baixos (menos de 30%) podem levar à rápida desidratação do composto que interrompe o processo biológico, e acabam produzindo um composto fisicamente estável, mas biologicamente instável (De Bertoldi et al. 1983). Em contraste, altos valores de umidade (acima de 80%) geram condições anaeróbicas no composto. É, portanto, importante determinar os melhores valores de umidade para processo de compostagem (Yulipriyanto 2001). Quando a umidade é inferior a 30%, as atividades bacterianas serão limitadas e acima de 65% diminuirá a porosidade do composto resultando em um crescimento anaeróbico e emissões de odores desagradáveis. Razmjoo et al. (2015)

Durante a compostagem, o conteúdo de água tende a aumentar devido à liberação de água metabólica por microorganismos que decompõem a matéria orgânica na presença de oxigênio. O teor de água diminui sob a ação combinada do aumento da temperatura e a ventilação, levando à sua perda como vapor de água. Além disso, o teor de umidade ideal varia e depende essencialmente da estrutura física e da mudança no tamanho das partículas durante a compostagem e, portanto, umidade e aeração estão intimamente relacionadas (Gigliotti et al. 2012).

Após a compostagem, a umidade final do produto foi aferida em amostras com 30 g. Elas permaneceram durante 24 h em estufa na temperatura de 105⁰C. Além disso, foram realizadas três repetições em cada ensaio. Os dados da umidade final do produto compostado estão mostrados na Tabela 8.

Tabela 8- Umidade final do composto orgânico produzido

Amostra	Umidade final (%)
Ensaio 1	41,10 ± 1,92
Ensaio 2	44,40 ± 1,92
Ensaio 3	38,88 ± 1,92
Ensaio 4	46,66 ± 0,00
Ensaio 5	35,55 ± 1,92
Ensaio 6	42,22 ± 1,92
Ensaio 7	40,00 ± 0,00

Fonte: Autor (2022)

A umidade final apresentou valor máximo de média para as amostras do ensaio 4, com 46,66% e valor mínimo de umidade para as amostras do ensaio 3, com 38,88%. De acordo com a instrução normativa N^o 61, de 8 de julho de 2020, a quantidade máxima de água que um produto sólido acabado pode conter, não pode ser superior a 50%. Portanto, em todos os ensaios, o valor de umidade atendeu aos requisitos determinados por esta normativa.

5.4 Efeito do pH

Em todos os reviramentos, foram realizadas medições de pH. A Tabela 9, apresenta os valores de pH em cada reviramento, para os 7 ensaios realizados.

Tabela 9- Valores de pH aferidos durante os reviramentos

Teste	Reviramento									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ensaio 1	5	5,5	6,5	6	7	7	7	-	-	-
Ensaio 2	6	6,5	6,5	6,5	7	7	7	-	-	-
Ensaio 3	6,5	5,5	6,5	6	6	6,5	7	6,5	7	7
Ensaio 4	6,5	5,5	6	6	5,5	5,5	7	6,5	7	7
Ensaio 5	5,5	6,5	6,5	6	6,5	6	6,5	7	-	-
Ensaio 6	5	6,5	6	6	6,5	6	7	7	-	-
Ensaio 7	6	6	6	5,5	6,5	6,5	7	7	-	-

Fonte: Autor (2022)

Em todos os ensaios realizados, observa-se a mesma dinâmica do pH: no início dos testes, o pH apresentou valor em torno de 5 a 6,5, isso devido a liberação de ácidos orgânicos, produtos que resultam da decomposição microbiológica. Em seguida, o valor de pH aumentou, alcançando valores próximos da faixa alcalina. Na literatura, alguns trabalhos que utilizaram materiais distintos na composição das pilhas ou leiras, tais como: esterco de animais, resíduos da produção de soja e outros resíduos sólidos orgânicos encontraram valores de pH da ordem de 5.0 a 10.0 (Shah et al., 2015; Chowdhury et al., 2014)

O valor máximo de pH encontrado foi de 7 em todos os tratamentos. Este valor foi alcançado no reviramento de número 7. No início da compostagem, o pH chegou a valores de 5, atingindo valores mínimo de 5,5, até o valor máximo de 7. De acordo com KIEHL (2002) em compostos orgânicos o pH deve estar de acordo com a legislação brasileira, acima de 6,0. Segundo a EMBRAPA (2009), o pH médio das misturas deve permanecer entre 5,0 e 7,5, apresentando assim, o comportamento satisfatório para atividade microbiana. Portanto, todos

os ensaios realizados, apresentaram valor de pH dentro da margem estipulada pela EMBRAPA, evidenciando o bom funcionamento do processo. Além disso, os valores de pH encontrados estão, também, dentro dos valores estipulados pelo Decreto-Lei n.º 103/2015, de 15 de junho, que determina que o valor de pH deve se encontrar entre 5,5 e 9,0.

De acordo com De Bertoldi et al., (1983), o material orgânico pode ser compostado em uma ampla faixa de pH (3-11). Os valores ideais estão entre 5,5 e 8. Valores em torno da neutralidade são ideais para o desenvolvimento de microorganismos. No entanto, os fungos são mais tolerantes a pH neutro do que bactérias.

O pH pode diminuir na primeira fase da compostagem, devido à liberação de ácidos orgânicos durante a decomposição de substratos orgânicos simples e volatilização de amônia inicial. Depois disso, o desaparecimento de materiais orgânicos facilmente degradáveis e mineralização levando a um aumento no pH (McKinley e Vestal 1985). Ao final da compostagem, também é possível terminar em um pH ácido devido aos íons H⁺ liberados durante nitrificação (Fang e Wong 1999). Na realidade, as mudanças no pH dependem significativamente da matéria-prima e quaisquer aditivos componentes da mistura inicial conforme relatado por Eklind e Kirchmann (2000) no caso de composto feito de resíduos de madeira e papel. Também depende das condições do fluxo de ar de compostagem, para ventilação eficaz, por exemplo, permitindo uma boa degradação do material orgânico e resultando em um pH final mais alto (Ferrer 2001). A temperatura também desempenha um papel na evolução do pH, favorecendo a volatilização da amônia.

5.5 Análise da leira testemunha

A análise de temperatura, umidade e pH também foi realizada na leira testemunha. Neste ensaio não foi adicionado inoculante, água. Além disso, não foram realizados reviramentos, Tabela 10. As medidas foram feitas com período de 15 dias.

Tabela 10- Dados de temperatura, umidade e pH para a leira testemunha

	Medidas							Média
	1	2	3	4	5	6	7	
Temperatura	33	32	29	29	28	27	26	29,14 ± 2,54
Umidade	15	10	10	10	10	10	10	10,71 ± 1,88

pH	6,5	6,5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	6,85 ± 0,24
----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------------

Fonte: Autor (2022)

De acordo com os dados, não houve alteração significativa no pH, umidade ou temperatura, que caracterizasse o processo acelerado de decomposição da matéria orgânica. Isto pode ser comprovado através da Figura 17, que evidencia o aparecimento de ervas espontâneas. Estas ervas surgiram devido à ausência durante o processo de decomposição das fases termofílica e mesofílica, que são essenciais para o processo de compostagem.

Figura 17-Leira testemunha. (a) aparecimento de ervas espontâneas; (b) material não compostado



Fonte: Autor (2022)

5.6 Análise química

A análise química dos macronutrientes e micronutrientes foi realizada no Laboratório de Análise de Tecido de Planta, na Universidade Federal da Paraíba. Os resultados estão detalhados na Tabela 11 e Tabela 12.

Tabela 11– Análise de macronutrientes

Amostra	C.O	N	P	K	Ca	Mg	S
g. kg ⁻¹							
Ensaio 1	131,03	8,58	2,84	5,69	39,54	3,21	1,92
Ensaio 4	133,79	9,45	2,41	6,07	36,78	2,78	0,25
Ensaio 7	115,86	7,53	2,39	6,52	28,78	2,35	0,08

Fonte: Autor (2022)

Tabela 12– Análise de micronutrientes

Amostra	Cu	Zn	Fe	Mn	B
mg. kg ⁻¹					
Ensaio 1	17,11	90,10	7686,43	99,24	37,84
Ensaio 4	17,27	75,95	7020,77	89,94	41,85
Ensaio 7	13,52	74,65	6615,86	85,39	36,69

Fonte: Autor (2022)

Os resultados apresentados na Tabela 11 e Tabela 12 foram para amostras analisadas com reviramento com intervalo de 15 dias e 32,4kg de inoculante, Ensaio 1, reviramento com intervalo de 7 dias e 10,8kg de inoculante, Ensaio 4. Por fim, foi realizada análise do Ensaio 7, reviramento com intervalo de 11 dias e inoculante com 21,6kg. Devido a indisponibilidade para a realização dos demais ensaios que contemplem o planejamento experimental, foram adotados os ensaios que melhor representam as condições analisadas no trabalho.

Segundo a instrução normativa N^o61, de 8 de julho de 2020, é estabelecido a quantidade mínima de macronutrientes e micronutrientes para que o composto orgânico atenda as exigências: para as misturas de macronutrientes primários: somatório NPK, NP, NK OU PK, o somatório não pode ser inferior a 5%, podendo a estes produtos ser adicionados macronutrientes secundários ou micronutrientes. A Tabela 13 abaixo mostra os valores percentuais para os macronutrientes primários e secundários, assim como o somatório destes.

Tabela 13- Macronutrientes primários e secundários em percentual

	Macronutrientes (%)						$\sum PS$
	Primários			Secundários			
	N	P	K	Ca	Mg	S	
Ensaio 1	0,858	0,284	0,569	3,954	0,321	0,192	6,178
Ensaio 4	0,945	0,241	0,607	3,678	0,278	0,025	5,774
Ensaio 7	0,753	0,239	0,652	2,878	0,235	0,008	4,765

Fonte: Autor (2022)

Segundo os critérios exigidos pela instrução normativa N^o61, os ensaios 1 e 4 atendem aos padrões estabelecidos, pois apresentaram somatório de macronutrientes primários e secundários superior a 5%. No entanto, o ensaio 7, não atende aos critérios para a adoção de fertilizantes orgânicos destinados a agricultura.

5.7 Volume Mássico

O rendimento final das leiras de compostagem apresentou os resultados de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 - Rendimento das leiras

Teste	Massa Inicial (kg)	Massa Final (kg)	Rendimento (%)
Ensaio 1	190,8	123,0	64,4%
Ensaio 2	190,8	106,0	55,5%
Ensaio 3	212,4	157,0	73,9%
Ensaio 4	212,4	118,0	55,5%
Ensaio 5	201,6	118,0	58,5%
Ensaio 6	201,6	116,0	57,5%
Ensaio 7	201,6	117,0	58,0%

Fonte: Autor (2022)

De acordo com os dados apresentados pela Tabela 14, o rendimento máximo foi apresentado pelo ensaio 3, 73,9%. Os ensaios 2, 4, 5, 6 e 7, apresentaram rendimento em torno de 55% a 60%. O rendimento alcançado no ensaio 3 pode ser atribuído a maior quantidade de massa inicial e quantidade de umidade durante a realização da compostagem. Estudos realizados por Oliveira *et al.*, (2008) indicaram rendimento final da massa de compostagem entorno de 44%.

De acordo com Adhikari *et al.*, (2010), a redução da massa de compostagem é proporcional ao teor de umidade, uma vez que parte dessa redução se deve a produção de chorume e evaporação da água.

O composto final obtido no presente estudo, apresentou aspecto terroso escuro, granulometria similar à da terra. Paixão *et al.*, (2012) verificou as mesmas características no produto encontrado em seu estudo.

O composto orgânico produzido a base de podas de árvores e esterco bovino, pode ser utilizado para garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, indo de encontro as metas estabelecidas pela ODS 2, além de aumentar a renda dos pequenos produtores de alimentos.

A ODS 12 trata do consumo e produção responsáveis, estabelecendo metas para 2030. Este trabalho contribui para o alcance de metas estabelecidas por esta ODS como a redução significativa da geração de resíduos, por intermédio da prevenção, redução, reciclagem e reutilização. Evitando o descarte inadequado de resíduos orgânicos em aterros sanitários e incentivando o reaproveitamento, tornando-o adubo orgânico através do processo de compostagem.

Além disso, este trabalho também pode contribuir com o combate à desertificação e restaurar terras e o solo degradados, mobilizar e aumentar significativamente os recursos oriundos de todas as fontes para a conservação e o uso sustentável da biodiversidade e dos ecossistemas. Estas são metas da ODS 15, metas para serem cumpridas até 2030.

6 CONCLUSÃO

Através do planejamento experimental fatorial, pode-se alcançar um modelo preditivo e ajustado, apresentando diferença mínima entre o valor medido e calculado em torno de 2,51%. Dessa forma, o modelo proposto apresenta eficiência para estimar a quantidade de composto produzido. Além disso, a variável reviramento e inoculante apresentaram efeito sobre a variável dependente, QCP, sendo esta última com o efeito maior, evidenciando a importância do inoculante no processo de compostagem, sendo essencial para que ocorra a decomposição da matéria orgânica e produção de composto orgânico eficiente.

A leira responsável pela amostra caracterizada como testemunha evidenciou a importância do uso de inoculante e execução de reviramentos. Nesta amostra não foi possível identificar a compostagem do material.

Por meio da técnica adotada neste trabalho, foi alcançado um rendimento mínimo de 55,5% e máximo de 73,9%. Diante disto, se torna viável a compostagem de folhas tanto pelos grandes produtores, assim como pequenos agricultores, desde que seja possível o adequado monitoramento. Assim para o processo ser eficaz, é necessário controlar parâmetros como a umidade, pH e temperatura, além de executar revolvimentos ou reviramentos frequentes para possibilitar a aeração adequada para a ação dos microrganismos decompositores.

Ações sustentáveis de reciclagem como a compostagem podem ser uma alternativa de baixo custo adequada para a logística reversa da economia circular, pois permite o desenvolvimento de subprodutos cuja qualidade é válida de acordo com a análise final.

A reciclagem minimiza o impacto ambiental e proporciona destinação adequada de resíduos, subprodutos de alta qualidade do processo de compostagem e uso eficiente de compostos, matéria orgânica produzida no processo, que, com destino específico, se tornam Opções agrícolas para melhoramento do solo e do plantio, reposição de nutrientes, produção de húmus, entre outras recomendações ambientais, podendo também utilizar compostos orgânicos como alternativa aos fertilizantes, evitando o uso de produtos químicos ou fertilizantes sintéticos que agredem o meio ambiente. Dessa forma, os benefícios ambientais se tornam imensuráveis, levando em consideração o que todo o processo de compostagem pode proporcionar.

Além disso, o uso de esterco associado com restos de cultura, podem somar na produção de composto orgânico, minimizando o impacto gerado pelas fezes de animais e restes de

varrições de produção agrícola, visando a incorporação rápida no ambiente agrícola ou de jardinagem.

A compostagem de folhas deve ser incentivada em empreendimentos que tenham o desafio de atuar com este tipo de resíduo, além de incentivar também o desenvolvimento da agricultura orgânica, reduzindo a geração de resíduos, combatendo a desertificação e incentivando a prática sustentável de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, indo de encontro com as metas estabelecidas pelas ODS 2, 12 e 15.

Através dos resultados obtidos por este trabalho, que as contribuições das experiências discutidas nesta pesquisa tendem a se concentrar nos ODS 2, 12 e 15. Nos exercícios sobre o tema integrado, nas respectivas metas, isso significa que, por meio de modelos agrícolas sustentáveis, essas experiências apoiam cadeias produtivas e de consumo responsáveis, trabalham com a redução da fome, protegendo a vida na terra e com especial ênfase na qualidade da água.

Como sugestões para trabalhos futuros, destaca-se: a alteração no tempo de reviramento para 4 ou 6 dias, verificando a eficiência da compostagem em um menor espaço de tempo. Além disso, pode-se alterar a quantidade de inoculante para 35% ou 40%, verificando a qualidade do composto produzido de acordo com análises químicas e físicas. Ainda, como sugestão, pode-se realizar os ensaios nos pontos axiais para os mesmos níveis e variáveis analisadas neste trabalho, para verificar o ponto máximo em que a variável inoculante não fará mais efeito.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRELPE, A. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil**, 2015

ADHIKARI, B. K.; TRÉMIER, A.; MARTINEZ, J.; BARRINGTON, S. Home and community composting for on-site treatment of urban organic waste: perspective for Europe and Canada. **Waste Management and Research**. v. 28, n. 11, p. 1039-1053, 2010.

ALEXIADES, M. N. Collecting ethnobotanical data: an introduction to basic concepts and techniques. **Advances in economic botany**, v. 10, p. 53–94, 1996.

ANDERSEN, J. K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T. H.; SCHEUTZ, C. Greenhouse gas emissions from home composting of organic household waste. **Waste Management**, v. 30, n. 12, p. 2475–2482, 2010.

ANDREOLI, C. V. Resíduos sólidos do saneamento: processamento, reciclagem e disposição final. **Rio de Janeiro: RiMa/ABES**, 2001.

ARAÚJO, E. N. de. **Rendimento do pimentão (*Capsicum annuum* L.) adubado com esterco bovino e biofertilizante**. 2005. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal da Paraíba, 2005.

CHIERRITO-ARRUDA, E.; ROSA, A. N. A. L.; PACCOLA, E. A. D. E. S.; MACUCH, R. D. A. S.; GROSSI-MILANI, R. PRO-ENVIRONMENTAL BEHAVIOR AND RECYCLING: LITERATURE REVIEW AND POLICY CONSIDERATIONS¹. **Ambiente & Sociedade**, v. 21, 2019.

CHOWDHURY, A. K. M. M. B.; MICHAILIDES, M. K.; AKRATOS, C. S.; TEKERLEKOPOULOU, A. G.; PAVLOU, S.; VAYENAS, D. V. Composting of three phase olive mill solid waste using different bulking agents. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 91, p. 66–73, 2014.

BAPTISTA, V. F. As políticas públicas de coleta seletiva no município do Rio de Janeiro: onde e como estão as cooperativas de catadores de materiais recicláveis? **Revista de Administração Pública**, v. 49, p. 141–164, 2015.

BARROS, R. A.; AMORIM, B. P.; CÂNDIDO, G. A. Análise da Sustentabilidade Municipal: Uma Aplicação do Barometer of Sustainability em Campina Grande – PB. In: CÂNDIDO, G. A. **Desenvolvimento Sustentável e Sistemas de Indicadores de Sustentabilidade: Formas de Aplicações em contextos geográficos diversos e contingências específicas**. Campina Grande: Ed. UFCG, 2010, p. 321 – 351.

BATTISTI, D. P.; BATTISTI, J. F. **Avaliação da eficiência do uso do esterco bovino e do em-4 na compostagem de resíduos de poda de árvores do município de Medianeira-PR**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2011

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

MARTÍNEZ-BLANCO, J.; LAZCANO, C.; CHRISTENSEN, T. H.; MUÑOZ, P.; RIERADEVALL, J.; MØLLER, J.; ANTÓN, A.; BOLDRIN, A. Compost benefits for agriculture evaluated by life cycle assessment. A review. **Agronomy for sustainable development**, v. 33, n. 4, p. 721–732, 2013.

BOINA, W. L. de O. **Aceleração do Processo de Compostagem de Lodos Gerados em Reatores UASB com Inóculo Comercial**. 2018, 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Urbana), Universidade Federal de São Carlos. 2018.

BORDIN, K. M.; ZANOTELLI, P.; VENDRUSCOLO, G. S. O contato com o ambiente influência nas atitudes de conservação ambiental entre estudantes? In: VENDRUSCOLO, G. S.; CONFORTIN, A. C.; DICKMANN, I. **Percepção do meio ambiente: o que pensam as pessoas sobre seu entorno?** São Paulo: Ação Cultural, p.25-48, 2016

BRACELPA. **Associação Brasileira de Celulose e Papel**. Dados do Setor, 2015. Disponível em:<http://www.bracelpa.org.br/bra2/index.php>. Acesso em setembro, 2022.

BRASIL. Lei Nº 103, de 15 de junho de 2015 - Estabelece as regras a que deve obedecer a colocação no mercado de matérias fertilizantes. 2015.

BRASIL. Lei Nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 -Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. (PNRS), 2010.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 31, de 08 de julho de 2020 – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2020.

BRASIL. Lei n. 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. Diário Oficial da União, Brasília: Câmara dos Deputados, n. 81, 2010b.

BRASIL. M. M. A. (2015). **O que é o CONAMA?** Retrieved from <http://www.mma.gov.br/port/conama/estr.cfm>

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Disponível em Acesso em 20 de janeiro 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. Manual para Implantação de Compostagem e de Coleta Seletiva no Âmbito de Consórcios Públicos. Brasília, 69 p. 2010a.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. Subchefia para Assuntos Jurídicos. Política Nacional de Resíduos Sólidos. 36p. Ago. 2010.

BRAZ, J. L. R. **Práticas locais de sustentabilidade à luz da agenda 2030: um estudo de caso no Município de Sumé – PB**. 2019, 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Gestão Pública). Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, 2019.

BRITO, M. J. C. **Processo de compostagem de resíduos urbanos em pequena escala e potencial de utilização do composto como substrato**. 2008, 124 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Tiradentes, Aracaju, Sergipe, 2008.

CALLOU, Angelo Brás Fernandes. **Comunicação Rural, Tecnologia e Desenvolvimento Local**. Brasil: Coleção GT”S N 13, 2002.

CAMBELL, Stu. **Manual de compostagem para hortas e jardins. Como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico**. São Paulo: Editora agronômica-Nobel, 1995.

CARLI, Saete Terezinha. **Uso de degradadores biológicos na aceleração do processo de compostagem dos resíduos orgânicos vegetais e palhas de embalagem – estudo de caso Ceasa – Curitiba**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Faculdade de Ciências Exatas da Universidade Tuiuti do Paraná. Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, 2010.

CARMICHAEL, Celeste Janine. **Economic and social aspects of food waste composting alternatives for New York State Communities**. 1999, 147 f. Thesis (Master of Science Degree). College of Environmental Science and Forestry, State University of New York. Syracuse, NY. 1999.

CARMONA, E.; ORDOVÁS, J. MORENO, M. T.; AVILÉS, M. Granulometric characterization and alteration during composting of industrial cork residue use as a growing medium. **HortScience**, v. 38, n. 6, p. 1242-1246, 2003.

CASTALDI, P, GARAU, G, MELIS, P. (2007). Maturity assessment of compost from municipal solid waste through the study of enzyme activities and water-soluble fractions. **Waste Management**, v. 28, n. 3, p. 534-540, 2008.

CEMPRE, 2000. Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado / Coordenação geral André Vilhena. – 4. ed. – São Paulo: IPT/Cempre, v. 2, 316 f. 2000.

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

CHOWDHURY, A. K. M. M. B.; AKRATOS, C. S.; VAYENAS, D. V.; PAVLOU, S. Olive mill waste composting: A review. **International Biodeterioration & Biodegradation**. n. 85, p.108-119, 2013.

CORRÊA, E. K.; BIANCHI, I.; LUCIA JR, T.; CORRÊA, L. B. MARQUES, R. V.; PAZ, M. F. Fundamentos da compostagem. In: CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. **Gestão de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre: Ed. Evangraf, 2012. Cap. 5. p. 75-96.

COSTA, A. R. S. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos: The process of composting and its potential in the recycling of organic waste. **Revista Geama**, Recife, v. 2, n. 1, p.1-15, 2015.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA L. A. M; DECARLI, L. D.; PELÁ. A.; SILVA, U. F. M.; OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 100-107, 2009.

DANTAS, I.C., FELISMINO, D. C., SILVA. S. M, CHAVES. T. P. **Manual de arborização urbana**, EDUEPB, 96f, Campina Grande, 2010.

DE BERTOLDI, M. de; VALLINI, G. et; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v. 1, n. 2, p. 157-176, 1983.

DOUBLET, C. J.; POITRENAUD, F. M.; HOUOT, S. Influence of bulking agents on organic matter evolution during sewage sludge composting; consequences on compost organic matter stability and N availability, **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 1298-1307, 2011.

DUARTE, Franciele Aparecido Plotásio. Proposta para a Destinação de Resíduos Orgânicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. Congresso **ABES FENASAN 2017**, São Paulo, p. 1-6, out. 2017.

EKLIND, Y.; KIRCHMANN, H. Composting and storage of organic household waste with different litter amendments. II: nitrogen turnover and losses. **Bioresource Technology**, v. 74, n. 2, p. 125-133, 2000.

EL FELS, L.; ZAMAMA, M.; EL ASLI, A.; HAFIDI, M. Assessment of biotransformation of organic matter during co-composting of sewage sludge-lignocellulosic waste by chemical, FTIR analyses, and phytotoxicity tests. **International Biodeterioration & Biodegradation**. v. 87. p. 128-137, 2014.

FANG, M.; WONG, J. W. C. Effects of lime amendment on availability of heavy metals and maturation in sewage sludge composting. **Environmental Pollution**, v. 106, n. 1, p. 83-89, 1999.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.38, n.2, p.109-112, 2014.

FERRER, Josilene Ticianelli Vannuzini. **Audiência Pública no Contexto da Avaliação de Impacto Ambiental no ESP. 2001**. Tese de Doutorado. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS. 2001.

FREIRE, Paulo. **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática da educativa**. 48ªed. Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra, 2014.

GARCEZ, Tiago; SARTORI, Raul Henrique. **Compostagem**. 2008. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem.pdf>. Acesso em: 30/09/2021

GARCIA, D. S. S. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável e o Sócio ambientalismo**. In: PINTO, C. J. C. et al (org.) Tomo 01 Sustentabilidade e suas interações com a ciência jurídica. Itajaí: UNIVALI, 2016, 26-48. Disponível em: <https://www.univali.br/vida-nocampus/editora-univali/e-books/Documents/ecjs/E-book>. Acesso em: 20/01/2021.

GIGLIOTTI, Giovanni et al. Co-composting of olive husks with high moisture contents: organic matter dynamics and compost quality. **International biodeterioration & biodegradation**, v. 67, p. 8-14, 2012.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.

GUERMANDI, Júlia Inforzato. **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 Carlos/SP**. Dissertação (Mestrado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2015.

GUEVARA, E, A., GONZALEX, S, E., VELEZ, C, C., VENTURA, R, E. & RAMOS, S, M. Rainfall interception and distribution patterns of gross precipitation around an isolated Ficus benjamina tree in an urban area. **Journal of Hydrology**. v. 333, n. 2-4, p. 532-541, 2007.

GUIDONI, L. L. C.; BECKER, R. V. B.; MARQUES, R. V.; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, E. K. Compostagem domiciliar. In: CORRÊA, E. K.; CORRÊA, L. B. **Gestão de Resíduos Sólidos**. Porto Alegre: Ed. Evangraf. Cap. 7. p. 117-141. 2012

GUO, R. LI, G.; JIANG, T.; SCHUCHARDT, F.; CHEN, T.; ZHAO, Y.; SHEN, Y. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture on the stability and maturity of compost. **Bioresource Technology**. v. 112, p. 171-178, 2012.

HARE-MUSTIN, Rachel T. The problem of gender in family therapy theory. *Family process*, v. 26, n. 1, p. 15-27, 1987.

HEBER, Florence; SILVA, Elvis Moura da (2014). Institucionalização da Política Nacional de Resíduos Sólidos: dilemas e constrangimentos na Região Metropolitana de Aracaju (SE). **Revista de Administração Pública**, v. 48, p. 913-937, 2014

IBGE. (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do censo demográfico 2010. Retrieved from <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php>

IBGE. (2011). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Participação das grandes regiões e unidades da federação no produto interno bruto - 2002-2010.

IDE, M. **Compostagem: Uma Alternativa Sustentável**. 2011, 28 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato Sensu em Educação Ambiental e Desenvolvimento Sustentável), Faculdade de Educação São Luís Núcleo de Apoio Santa Cruz Jaboticabal – SP, 2011.

INÁCIO, C. de T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Objetivos de Desenvolvimento do Milênio: Relatório Nacional de Acompanhamento. **Brasília: DF**. Ipea, 2014. Acesso: 22.Janeiro 2020.

IPT/CEMPRE. LIXO MUNICIPAL – Manual de Gerenciamento Integrado. Coordenação: Maria Luiza Otero D’Almeida, André Vilhena. 2ª Ed. São Paulo, 2000, 189 p.

JIM, C. Y. & CHEN, W. Y. Habitat effect on vegetation ecology and occurrence on urban masonry walls. *Urban Forestry & Urban Greening*. 2010; 9: 169-178 p.

KANG, W.; KIM, I.; LEE, T.; KIM, K.; KIM, D. Effect of temperature on bacterial emissions in composting of swine manure. **Waste Management**, v. 34, n. 6 p. 1006- 1011, 2014.

KIEHL, A. J. **Fertilizantes Orgânicos**. Piracicaba: Ed. Agronômica Ceres, 1985. 492 p.

KIEHL, E. J. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Piracicaba: 4º Edição, 2004, 173p.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. 1 ed. Piracicaba: Agronômica Ceres, 2010. 238 p

KIEHL, E. J. **Composting manual: maturity and compost quality**. 2002.

KLIOPOVA, Irina.; STANEVIČIŪTĒ, Kamilē. Evaluation of Green Waste Composting Possibilities. **Environmental Research. Engineering and Management**, v. 65, n.3, p. 6-19, 2013.

LACERDA, A.; GIORI, F.; BONILLA, G.E.; RODRIGUES, M. TONIETO, T. **A técnica de compostagem e seu uso na agricultura**. Departamento de solos e nutrição de plantas, Piracicaba, SP, 2012.

LI, W.; YU, H.; RITTMANN, B. E. Chemistry: Reuse water pollutants. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 29-31, 2015.

LIMA JUNIOR, R. G. de S. **Estratégias de compostagem como pré-tratamento de resíduos sólidos orgânicos/ Roberto Guião de Souza Lima Junior**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, XVI, 209p.: il. 2015.

LOBELL, D. B.; BURKE, M. B.; TOBALDI, C.; MASTRANDREA, M. D.; FALCON, W. P.; NAYLOR, R. L. Priorizing climate change adaptation needs for food security in 2030. **Science**, v. 319, n. 607, p. 607-610, 2008.

MAIELLO, A.; BRITTO, A. L. N. P.; VALLE T. F. Implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Análise das lacunas na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Revista de Administração Pública**. Revista Brasileira de Administração Pública, v. 52, n. 1, p. 24-51, 2018.

- Mayur, C.S., Jaldip, C.K., Prateek, G.S. (2015) Composting of *Calotropis gigantea* Leaves In Presence of Sheep Dung, **Current World Environment**, 10(1), 281-284.
- MARQUES, L. M.; CARNIELLO, M. A.; NETO, G. G. A percepção ambiental como papel fundamental na realização de pesquisa em educação ambiental. **Travessias**, v.4, n.3, p.337-349, 2006.
- MATHEUS. F. P. **Avaliação de compostagem de resíduos da indústria de alimentos através de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos**. 2017,84 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2017.
- MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. 240 p.
- MCKINLEY, Vicky L.; VESTAL, J. Robie. Effects of different temperature regimes on microbial activity and biomass in composting municipal sewage sludge. **Canadian journal of microbiology**, v. 31, n. 10, p. 919-925, 1985.
- MENDES, P. M.; BECKER, R.; CORRÊA, L. B.; BIANCHI, M. A.; DAI PRÁ, M. A.; LUCIA JR, T.; CORRÊA, E. K. Phytotoxicity as na indicator of stability of broiler production residues. **Journal of Environmental Management**. v. 167, p. 156-159, 2016.
- NAÇÕES UNIDAS. **Conheça os novos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU**, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/>, Acesso em: 18 outubro 2020.
- NEKLYUDOV, A. D.; FEDOTOV, G. V.; IVANKIN, A. N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. **Applied Biochemistry and Microbiology**, v. 44, n. 1, p. 6-18, 2008.
- NOVI, Juliana Chiaretti. **Avaliação legal, ambiental e econômico-financeira da implantação de sistema próprio de tratamento de resíduos de serviços de saúde no HCFMRP-USP para geração de energia**.2011, 129 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações), Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto. 2011.
- OLIVEIRA, Gabriela Almeida.; LIMA, Duane Silva; ALBERTI, Rayane Silva. Compostagem com diferentes tipos de produção de microorganismos eficazes. **Cadernos de Agroecologia**, v. 8, n. 2, 2013.
- OLIVEIRA, A. C. E.; SARTORI, H. R.; GARCEZ, B. T. **Compostagem**, Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Programa de Pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas. Piracicaba- SP. 2008.
- OLIVEIRA, G. B. Uma discussão sobre o conceito de desenvolvimento. **Revista da FAE [S.I.]**: v.5, n.2, 2002. Disponível em: Acesso em: 27 de janeiro 2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2018. Disponível em Acesso em 21/01/2021.

ONU. Organização das Nações Unidas. **Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: Acesso: 01 janeiro 2021.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Roteiro para a localização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Implementação e Acompanhamento no nível subnacional. 2016.** Disponível em: <
<https://nacoesunidas.org/wpcontent/uploads/2017/06/Roteiro-para-a-Localizacao-dos-ODS.pdf>>. Acesso em: 16 outubro 2020.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. DE. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, p. 538-545, 2010.

PAIXÃO, Rebecca Manesco; SILVA, LHBR; TEIXEIRA, T. M. Análise da Viabilidade da Compostagem de Poda de Árvore no Campus do Centro Universitário de Maringá–CESUMAR. **VI Mostra Interna de Trabalhos de Iniciação Científica, Maringá**, p. 3, 2012.

PAGANS, E.; BARRENA, R.; FONT, X.; SANCHEZ, A. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process, **Chemosphere**, v. 62, n. 9, p. 1534-1542, 2006.

PAULA, L. G. A.; CESAR, V. R.; OLIVEIRA, P. E. S.; Avaliação da Compostagem de Resíduos Orgânicos da Área Verde do Campus Marechal Deodoro. In: **V CONGRESSO NORTE-NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO**, 2010, Maceió. Anais... UFA, 2010.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual da Compostagem: Processo de Baixo Custo**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 81p. 2007.

PERON, C. C. **As Contribuições da Reciclagem para o Desenvolvimento Sustentável: Estudo de Caso na Cooperativa dos Recicladores de Penápolis/SP (CORPE)**, Universidade de Araraquara, 170p. 2019.

PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO (PNUD). **Plataforma agenda 2030: acelerando as transformações para a agenda 2030 no Brasil**. 2018. Disponível em: Acesso em: 18 outubro 2020.

RAZMJOO, Parvin et al. Determination of an empirical formula for organic composition of mature compost produced in Isfahan-Iran composting plant in 2013. **International Journal of Environmental Health Engineering**, v. 4, n. 1, p. 3, 2015.

RAIJ, B. V.; SILVA, M. N.; BATAGLIA, O. C.; QUAGIO, J. A.; et al. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas-SP: Instituto Agrônomo, 1985, 170 p. il. (Boletim, 100).

REVEILLEAU, A. C. A. A. Política e gestão compartilhadas de resíduos sólidos no âmbito do poder público, do empreendedor e do consumidor: responsabilidade socioambiental e sua implementação. 2007. Dissertação (Mestrado em Direito das Relações Sociais) - Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2007.

RODRIGUES, P.; RODRIGUES, A.C.; CAMARGO, M.; GRAEPIN, C.; NEUHAUS, F. Engenharias na Extensão Universitária: Conscientização Ambiental através da compostagem de resíduos orgânicos em Escola de Ensino Médio. **Santa Maria: FACOS-UFSM**, 2015. 167 p.

ROHDE, G. **Geoquímica Ambiental e estudos de Impacto**. 3. ed. 2008.

RUSSO, Mário Augusto Tavares. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2003. 196 f. Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003.

SAADI, I.; RAVIV, M.; BERKOVICH, S.; HANAN, A.; AVIANI, I.; LAOR, Y. Fate of soilapplied olive mill wastewater and potential phytotoxicity assessed by two bioassay methods. **Journal of Environmental Quality**, v.42, 1791–1801, 2013.

SAER, A.; LANSING, S.; DAVITT, N. H.; GRAVES, R. E. Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. **Journal of Cleaner Production**, v. 52, p. 234-244, 2013.

SAMPAIO, C. A. P.; IRENILZA DE ALENCAR NÄÄS, I. A.; SALGADO, D. D. Amônia, gás sulfídrico, metano e monóxido de carbono na produção de suínos. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 2, p. 156 -164, 2006.

SCHALCH, V.; MASSUKADO, L. M.; BIANCO, C. I. Compostagem. In: NUNES, Ramom Rachide; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira. **Recurso do Solo: Propriedades e Uso**. São Carlos: Editora Cubo, p. 608-631, 2015.

SEABRA, Giovanni. **Educação Ambiental no Mundo Globalizado. Uma ecologia de riscos, desafios e resistência**. Editora universitária da UFPB, 2011.

SHAH, Mayur C.; KANSARA, Jaldip C.; SHILPKAR, Prateek G. Composting of Calotropis Gigantea leaves in presence of sheep dung. **Current World Environment**, v. 10, n. 1, p. 281, 2015.

STARR, F., STARR, K. & LOOP, L. **Ficus benjamina. Pesquisas geológicas dos Estados Unidos – Divisão de pesquisas biológicas**. 2003. [Acesso em: 31 jan. 2022]. Disponível em: http://hear.its.hawaii.edu/Pier/pdf/pohreports/ficus_benjamina.pdf

STROM, Peter F. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 899-905, 1985.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H. & VOLKWEISS, S.J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1995. 174p.

TIBAU, A. O. **Matéria Orgânica e Fertilidade do Solo**. Ed. 2, São Paulo: Nobel, 1983, 220 p.

TRAUTMAN N. e OLYNCIW, E. **Compost microorganisms**. 2015.

UFCG. (2018). Universidade Federal de Campina Grande. <https://sai.ufcg.edu.br/index.php/en/meet-ufcg.html>. Disponível em: Acesso em: 15 de outubro 2022.

UFCG. (2018). Universidade Federal de Campina Grande. <https://www.prefeitura.ufcg.edu.br/>. Disponível em: Acesso em: 15 de outubro 2022.

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). **Educação para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável: Objetivos de aprendizagem**. (2017). Disponível em: Acesso em: 3 fev. 2021.

VENDRUSCOLO, G. S.; CONFORTIN, A. C.; DICKMANN, I. Percepção do meio ambiente: o que pensam as pessoas sobre seu entorno? **São Paulo: Ação Cultural**, 2016. WCED. Our Common Future. Oxford: Oxford University Press, 1987. Disponível em: Acesso em 20/01/2021.

WANG, Y., AI, P., CAO, H., LIU, Z. Prediction of moisture variation during composting process: A comparison of mathematical models. **Bioresource Technology**, v.193, p. 200-205, 2015.

WU, C.; WANG, Q.; SHI, S.; XUE, N.; ZOU, D.; PAN, S. LIU, S. Effective utilisation o tricking liquid discharged from a bio-trickling filter as a moisture conditioning agent for composting. **Biosystems Engineering**. v. 129, p. 378- 387, 2015.

YULIPRIYANTO, Hiéronymus. Emission d'effluents gazeux lors du compostage de substrats organiques en relation avec l'activité microbologique (nitrification/dénitrification). 2001. Tese de Doutorado. Université Rennes 1.

ZHANG, H.; Emission of volatile sulfur compounds during composting of municipal solid waste (MSW). **Waste Management**. v. 33, n. 4, p. 957-963, 2013.