



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS DA BIOINTERAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOTECNOLOGIA**

**PEDRO FRANCISCO**

**COMPOSTAGEM BIOTECNOLÓGICA ACELERADA  
PARA PRODUÇÃO DE RAÇÃO OU ADUBO A PARTIR  
DE RESÍDUOS DE LIXO VERDE**

Salvador, BA

2015

**PEDRO FRANCISCO**

**COMPOSTAGEM BIOTECNOLÓGICA ACELERADA PARA  
PRODUÇÃO DE RAÇÃO OU ADUBO A PARTIR DE  
RESÍDUOS DE LIXO VERDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Instituto de Ciências de Saúde da Universidade Federal da Bahia como requisito para obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Fernando de Almeida

Salvador, BA

2015

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Saúde,  
SIBI - UFBA.

F819 Francisco, Pedro

Compostagem biotecnológica acelerada para produção de ração ou adubo a partir de resíduos de lixo verde / Pedro Francisco. – Salvador, 2015.

99 f.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Fernando de Almeida

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Ciências da Saúde, 2015.

1. Resíduos Sólidos. 2. Resíduos Orgânicos. 3. Biodegradação. 4. Ração. 5. Adubo. I. Almeida, Paulo Fernando. II. Universidade Federal da Bahia. III. Título.

CDU 628.312.1

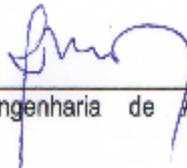
PEDRO FRANCISCO

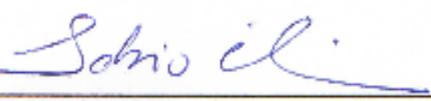
**COMPOSTAGEM BIOTECNOLÓGICA ACELERADA PARA  
PRODUÇÃO DE RAÇÃO OU ADUBO A PARTIR DE  
RESÍDUOS DE LIXO VERDE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biotecnologia do Instituto de Ciências de Saúde da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Biotecnologia.

Aprovada em 27/02/2015

**Banca Examinadora**

Prof. Dr. Paulo Fernando de Almeida - Orientador   
Doutor em Microbiologia, Tecnologia e Engenharia de Alimentos pela  
FEA/UNICAMP.  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. Fábio Alexandre Chinalia   
Doutor em Microbiologia Ambiental pela Aberdeen University.  
Universidade Federal da Bahia

Prof. Dr. José Ferreira Nunes   
Doutor em Fisiologia da Reprodução pela Université de Paris IV (Paris-Sorbonne).  
Universidade Estadual de Ceará

Salvador, BA

2015

Aos meus pais Francisco e Antonieta Enosse Majovo.

A minha esposa Maria Amélia Francisco e a minha filha Maria Antónia Francisco.

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

Ao programa de pós-graduação em Biotecnologia pela oportunidade de realizar o curso de mestrado;

Ao Professor Paulo Almeida, meu orientador, pela oportunidade que me concedeu ao me aceitar como seu orientando, pelo aprendizado que semeou em mim, bem como pela constante ajuda nas diferentes etapas do desenvolvimento desta pesquisa;

Todos os professores, alunos e funcionários do programa de Pós-graduação em Biotecnologia;

Ao CNPq pelo apoio financeiro por meio da bolsa de estudo;

A todos os pesquisadores do Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de micro-organismos (LABEM) pelo apoio e aprendizado concedidos durante o desenvolvimento das experiências;

A Jacson Nunes dos Santos por me adotar como seu filho e me oferecer apoio incondicional em todos os momentos de desenvolvimento desta pesquisa;

À escola de nutrição e ao Instituto de Geociências da UFBA por terem cedido seus laboratórios para realização de análises, especialmente ao Luis, técnico de Laboratório de Bioquímica de Alimentos da escola de Nutrição pelo acompanhamento e ensinamentos durante a realização de análises naquele laboratório.

Aos meus pais, Francisco e Antonieta pela confiança e apoio em toda minha vida acadêmica;

Aos meus irmãos Elisa, Ezertina, Arcélia, Sérgia, Elsa, Hélder, Sérgio, António, Felizarda e Nelson pelo encorajamento e apoio concedidos a mim e a minha família durante este período que estive ausente no país;

A minha esposa Maria Amélia e a minha filha Maria Antónia, por terem superado o aparente “abandono” a que lhes submeti e por terem me servido de fonte de inspiração para superar os obstáculos encarados ao longo desta formação;

Ao meu cunhado e amigo Henrique Penicela, pela presença e apoio em todos os momentos da minha vida académica;

Aos amigos de “trincheira”, Bebito Manuel Alberto e Jonas Baltazar Daniel pelos cozinhados, companheirismo e momentos alegres proporcionados.

A todos que direta e indiretamente contribuíram para realização deste trabalho.

FRANCISCO, Pedro. Compostagem Biotecnológica acelerada para produção de ração ou adubo a partir de resíduos de lixo verde. 99 f. il. 2015. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

## RESUMO

O acentuado crescimento do agronegócio implicou no aumento do consumo de insumos e na geração de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial. Nos grandes centros urbanos do litoral brasileiro, por exemplo, 70% de lixo verde são constituídos por poda de árvores e resíduos de coco verde, criando um sério problema para os aterros sanitários. Os primeiros resultam da poda das árvores da cidade pelas companhias de energia elétrica e os últimos resultam do consumo da água de coco verde. O mercado de coco verde tem crescido mundialmente nos últimos anos principalmente nos países de clima tropical, devido à valorização de alimentos saudáveis e naturais. Os resíduos do coco verde levam de 8 a 10 anos para se decompor e a sua incorreta destinação leva a que se constituam em focos de insetos, geração de gases mal cheirosos e de efeito estufa. Desta forma, o presente trabalho destinou-se a compostagem de resíduos sólidos vegetais tendo como matéria prima poda de árvores e coco, ambos verdes, provenientes da zona urbana de Salvador para produção de adubo e/ou ração para ruminantes. Os resíduos foram selecionados baseando-se na sua viabilidade, levando em consideração a origem, tamanho e estado de maturidade. Foi feito balanço de massas mediante a adição de minerais de baixos teores e ajuste da relação C/N pela adição de uréia em proporções diversificadas. Também se adicionou micro-organismos provenientes de compostagem anterior de poda de árvore e proveniente da biomassa em compostagem. Foram isolados e inoculados micro-organismos celulolíticos e nitrificantes presentes no bioprocessamento. Efetuou-se monitoramento e controle dos teores de umidade, temperatura, emissão de amônia e pH. O resultado revelou que a inoculação com micro-organismos celulolíticos e nitrificantes e o enriquecimento com compostos de fósforo e cálcio acelerou a compostagem do resíduo de coco verde e poda de árvore, no entanto, a compostagem ocorreu de forma parcial, em particular sobre o pó, dado que parte da fibra de coco não está sendo degradada. Os tratamentos cuja relação C/N foi reduzida para 30/1 e enriquecidos com minerais de baixos teores na concentração de 1,16%, 0,98% e 0,32% para  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente, compostaram em menor tempo, sendo que o processo decorreu de forma mais satisfatória quando o volume do resíduo era maior. Contudo, apesar da elevada qualidade nutricional que o composto apresenta ainda não pode ser usado como ração devido à elevada concentração de fibras que pode trazer consequências para a saúde dos animais. Contudo, poderá ser utilizado como adubo, pois atende às exigências oficiais para essa finalidade.

**Palavras-chave:** Resíduos sólidos orgânicos, compostagem, biodegradação acelerada, ração, adubo.

FRANCISCO, Pedro. Biotechnology accelerated composting to produce feed or fertilizer from green waste residues. 99 pp. ill. 2015. Master Dissertation – Instituto de Ciências da Saúde, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

## ABSTRACT

The sharp growth of agribusiness resulted in increased consumption of inputs and the generation of wastes in the agricultural and agro-industrial activities. In large urban centers of the Brazilian coast, for example, 70% of green wastes consists of trimming of trees and green coconut wastes, creating a serious problem for landfills. The first result of pruning of trees in the city by electric power companies and the last result from the green coconut water consumption. The market for green coconut has grown worldwide in recent years mainly in tropical countries due to the appreciation of healthy and natural foods. The residue of green coconut leads of 8 to 10 years to decompose, and constitute in focus of insects, smelly gas generation and greenhouse effect. Thus, the present work aimed composting of vegetables solid waste, using as raw material, green coconut and green pruning trees in diversified levels of species, from urban zone of Salvador to produce fertilizer and/or animal feed for ruminants. The residues were selected based on their feasibility, taking into consideration the origin, size and state of maturity. Mass balance was done by adding low levels minerals and C/N ratio adjustment was done by adding urea in diverse proportions. Also it was added microorganisms from previous composting of trimming trees and from biomass in composting. Furthermore to short the bioprocess time specific microorganisms such as cellulolytic and nitrifying bacteria were isolated and added to the process. Levels of moisture, temperature, pH and ammonia emission were monitored and controlled. The results revealed that the inoculation with nitrifying and cellulolytic micro-organisms and enrichment of phosphorus and calcium compounds accelerated waste composting, nevertheless, composting occurred partially, in particular under powder because part of coconut fiber was not being degraded. The treatments whose C/N ratio was reduced to 30/1 and enriched with minerals of low levels in the concentration of 1.16 %, 0.98 % and 0.32 % of  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaHPO}_4$  and  $\text{CaCO}_3$ , respectively, composted quickly, but the process held more satisfactory way when the residue volume was greater. However, despite the high nutritional quality of the compound, it can not yet be used as feed due to incomplete degradation of the fiber, but can be used as a fertilizer.

**Keywords:** Organic solid waste, composting, biodegradation accelerated, feed, fertilizer.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Gastos envolvidos na remoção de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades Africanas .....	23
Tabela 2	Características em % total da fibra e da casca de coco verde de acordo com Han (1998).....	27
Tabela 3	Propriedades físico-químicas da fibra de coco verde, segundo Liz, Vidal & Carrijo (2002). .....	28
Tabela 4	Teores de matéria seca, cinzas, matéria orgânica e elementos químicos que compõem a fibra de coco e coco verde de acordo com Oliveira <i>et al.</i> , (2002).....	28
Tabela 5	Faixas ótimas dos parâmetros físico/químicos que influenciam o processo de compostagem .....	42
Tabela 6	Descrição dos experimentos realizados nas três etapas da pesquisa.....	52
Tabela 7	Avaliação da umidade relativa do resíduo de coco verde .....	61
Tabela 8	Teor percentual de matéria orgânica, carbono total e cinzas contidas no coco verde. ....	61
Tabela 9	Teor de Nitrogênio contido no coco verde.....	61
Tabela 10	Número mais provável de bactérias ureolíticas em três amostras extraídas dos tratamentos 30, 32 e 33 do segundo experimento da etapa II.....	74
Tabela 11	Evolução de bactérias celulolíticas ao longo do processo de compostagem nos experimentos 2 e 3 da etapa III.....	77
Tabela 12	Concentração de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) contidos no composto de coco verde depois de 16 dias de compostagem .....	79
Tabela 13	Micronutrientes (ferro, cobre e manganês) contidos no composto de coco verde .....	79
Tabela 14	Valores de umidade, pH, carbono orgânico e relação C/N contido no composto de coco verde.....	80

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vista do alpendre onde são desenvolvidos os experimentos de compostagem no ICS.....	49
Figura 2 Máquina utilizada para triturar o resíduo de coco e poda de árvore.....	53
Figura 3 Variação de pH nos experimentos da etapa II.....	64
Figura 4 Variação da umidade ambiente e umidade interna dos experimentos da etapa II.....	66
Figura 5 Variações de temperatura interna nos experimentos da etapa II.....	68
Figura 5.1 Variações de temperatura interna nos experimentos 3 e 4 da etapa II e dos experimentos 2 e 3 da etapa III.....	69
Figura 6 Número mais provável das bactérias ureolíticas.....	74
Figura 7. Teste de oxidação da amônia a nitrito pelas <i>Nitrosomonas</i> . ....	76
Figura 8. Resultado do NMP de bactérias celulolíticas .....	77
Figura 9. Amostras do composto de coco verde obtido no experimento 3 da etapa III.....	82
Figura 10. Evolução do carbono e nitrogênio ao longo da compostagem, no experimento 2 da etapa III.....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS

C	Carbono
Ca	Cálcio
CA	Capacidade de Aeração
CE	Condutibilidade Elétrica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu	Cobre
d	Densidade
DCPIP	2, 6 Diclorofenol Indolfenol
EU	União Européia
Fe	Ferro
g	Gramas
HCl	Ácido clorídrico
GEE	Gases de Efeito Estufa
K	Potássio
Kg	Quilograma
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
Mg	Magnésio
ml	Mililitro
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
NH <sub>3</sub>	Amônia
NMP	Número Mais Provável
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PT	Porosidade Total
RA	Retenção de Água
S	Enxofre
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
EU	União Européia

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E PROBLEMA.....	18
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
1.3 HIPÓTESES.....	20
1.4 OBJETIVOS .....	20
<b>1.4.1 Objetivo Geral</b> .....	<b>20</b>
<b>1.4.2 Objetivos Específicos</b> .....	<b>20</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>22</b>
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS .....	22
2.2 RESÍDUO DE COCO VERDE .....	24
2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO COCO VERDE .....	27
2.4 COMPOSTAGEM.....	28
2.5 FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA COMPOSTAGEM .....	32
<b>2.5.1 pH</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5.2 Umidade</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.3 Temperatura</b> .....	<b>36</b>
<b>2.5.4 Relação Carbono/Nitrogênio</b> .....	<b>37</b>
<b>2.5.5 Micro-organismos</b> .....	<b>39</b>
<b>2.5.6 Aeração</b> .....	<b>40</b>
<b>2.5.7 Granulometria</b> .....	<b>42</b>
<b>2.5.8 Produto Final da Compostagem</b> .....	<b>44</b>
2.6 BALANÇO DE MASSAS .....	46
<b>2.6.1 Fosfato de Rocha</b> .....	<b>46</b>
<b>2.6.2 Calcário Dolomítico</b> .....	<b>47</b>
<b>2.6.3 Uréia</b> .....	<b>47</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
3.1 LOCAL DE PESQUISA .....	49
3.2 MATÉRIA-PRIMA .....	50
3.3 COMPOSIÇÃO DOS EXPERIMENTOS.....	50
3.4 ANÁLISES FÍSICO/QUÍMICAS DO RESÍDUO DE COCO VERDE.....	53
<b>3.4.1 Determinação da Umidade</b> .....	<b>54</b>

<b>3.4.3 Determinação de Carbono Orgânico, Matéria orgânica, cinzas e Nitrogênio total</b> .....	<b>54</b>
3.5 MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO.....	55
3.6 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS CELULOLÍTICOS, UREOLÍTICOS E NITRIFICANTES .....	56
3.7 NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA BACTÉRIAS UREOLÍTICAS.....	56
3.8 ISOLAMENTO E NMP PARA BACTÉRIAS CELULOLÍTICAS.....	57
3.9 ISOLAMENTO E NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA <i>Nitrosomonas</i> .....	58
3.10 NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA <i>Nitrobacter</i> .....	59
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>60</b>
4.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICO/QUÍMICAS DO RESÍDUO .....	60
<b>4.1.1 Umidade do Resíduo de Coco Verde</b> .....	<b>60</b>
<b>4.1.2 Composição Química da Matéria Seca do Coco</b> .....	<b>60</b>
<b>4.2 pH</b> .....	<b>62</b>
4.3 UMIDADE.....	66
4.4 TEMPERATURA .....	67
4.5 EMISSÃO DE AMÔNIA .....	71
4.6 QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS UREOLÍTICAS.....	73
4.7 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS NITRIFICANTES ( <i>Nitrosomonas</i> e <i>Nitrobacter</i> ) .....	75
4.8 ISOLAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS CELULOLÍTICAS .....	76
4.9 AVALIAÇÃO DO COMPOSTO.....	78
<b>4.9.1 Macronutrientes</b> .....	<b>78</b>
<b>4.9.2 Micronutrientes</b> .....	<b>79</b>
<b>4.9.3 Umidade Final, pH, Carbono Orgânico e Relação C/N</b> .....	<b>80</b>
<b>4.9.4 Nitrogênio Inorgânico</b> .....	<b>81</b>
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>85</b>
<b>APÊNDICE</b> .....	<b>93</b>
APÊNDICE A - Composição dos Experimentos .....	94
APÊNDICE B - Resultado de Monitoramento de pH.....	96
APÊNDICE C - Resultado de Monitoramento da Temperatura.....	98

## 1 INTRODUÇÃO

A sociedade moderna vem se deparando com sérios riscos relacionados à poluição ambiental, sendo a produção de lixo orgânico, resultante do cotidiano das grandes cidades, um dos principais fatores inerentes ao problema. A destinação do lixo orgânico, bem como sua reciclagem racional, tem se constituído no principal problema dos aterros sanitários, os quais vêm diminuindo seu potencial de armazenamento e sua vida útil. Segundo Pereira Neto (1995), os resíduos sólidos caracterizam-se por apresentar alto teor de matéria orgânica. Já Alves (1996), afirma que uma pessoa adulta produz cerca de 600 g de lixo por dia, ou seja, uma cidade de 2,5 milhões de habitantes produz, diariamente, 1.500 toneladas de lixo. Estima-se que, na África a média de geração de lixo por habitante é de 0,5 a 0,8kg por dia, variando conforme a região. Quanto mais rico e urbanizado for o país, mais lixo é gerado. Do total de lixo produzido nas cidades africanas só 20% recebem tratamento adequado e 80% são descartados em espaços abertos (BERNARDO, 2008). No Brasil, menos de 2 % de todo lixo produzido é reciclado (PEREIRA NETO, 1995).

A emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) como consequência de atividades de gestão de resíduos urbanos é maior em países da África Subsaariana do que em outros países em desenvolvimento, e está aumentando porque a população se torna mais urbanizada. Os resíduos provenientes de áreas urbanas em toda a África são essencialmente despejados no chão e há pouco controle sobre as emissões de gases resultantes. (COUTH & TROIS, 2012).

A legislação da União Européia (UE) agora requer tratamento das quantidades continuamente crescentes de resíduos sólidos urbanos orgânicos antes da eliminação final (PARTANEN *et al.*, 2010). Países como a França e a Alemanha, através de iniciativas empresariais, fazem uso do lixo orgânico como matéria-prima geradora de emprego e renda, movimentando a economia e evitando a poluição ambiental (PARTANEN *et al.*, 2010).

Práticas que vem contribuindo para a redução da vida útil dos aterros sanitários de Salvador são os resíduos sólidos oriundos da poda das árvores que compõem a cobertura vegetal ao longo das vias urbanas bem como os resíduos de coco verde que resultam do consumo da água de coco ao longo das praias e no entorno das barracas que o comercializam em praticamente todos os bairros próximos às áreas comerciais da cidade. Estas práticas são realizadas ao longo do

ano, gerando um significativo volume de lixo verde que se não for beneficiado através de um aproveitamento racional irá compor o lixo orgânico urbano.

De acordo com Sundberg, (2005), a compostagem é uma opção promissora para o futuro da gestão de resíduos uma vez que é uma tecnologia que pode ser realizada em qualquer escala desde caseira a industrial. Isso faz com que o tratamento local seja possível, o que reduz os custos do transporte dos resíduos

A compostagem é um processo de degradação biológica na transformação de resíduos orgânicos em substâncias húmicas (SILVA *et al.*, 2009). Este processo envolve transformações, extremamente complexas, de natureza bioquímica, promovidas por milhões de micro-organismos do solo, das plantas que têm na matéria orgânica *in natura* sua fonte de energia, nutrientes minerais e carbono, e vem sendo utilizado há bastante tempo, apresentando-se como uma alternativa viável e de baixo custo para o processamento da parte orgânica do lixo urbano.

Sendo a compostagem um processo microbiano, o desempenho global do processo é, por conseguinte, o efeito combinado da atividade de micro-organismos individuais. Assim, é importante entender e controlar os fatores ambientais que afetam o metabolismo microbiano na compostagem. Os parâmetros mais importantes para os micro-organismos são a temperatura, a umidade, o pH, a aeração e o substrato (SUNDBERG, 2005). Quatro características do substrato são de primordial importância para o processo: energia, nutrientes, água e estrutura. Energia, nutrientes e água são necessários para o crescimento microbiano, e a estrutura é essencial para o arejamento, o qual fornece oxigênio e arrefece o composto (SUNDBERG, 2005). No entanto, apesar da técnica da compostagem ser milenar, poucos são os estudos que identificam os micro-organismos responsáveis pelo processo, em particular aqueles que podem acelerar o bioprocessamento para obter um produto em curto período de tempo, de boa qualidade e homogêneo.

Existem vários métodos para compostagem de resíduos sólidos orgânicos, muitos deles empregam cepas de várias espécies de *Bacillus spp*, bolores como *Aspergillus spp*, *Penicillium spp*, *Trichoderma spp*, *Myriodontium spp* e *Pleurotus spp* (MOLLA *et al.*, 2002), sejam termofílicos ou não, *Cellulomonas spp*, fixadores de nitrogênio como *Azotobacter* sejam em culturas líquidas ou granuladas (NEKLYUDOV *et al.* 2008). Uma patente brasileira (ROBERTO, L. S. PI9803631-9, 1998) indica que no processo são utilizadas várias composições de micro-organismos e nutrientes, sendo uma delas constituída de amônia, oxigênio,

*Nitrosomonas*, adicionado de *Nitrobacter*, nitrito (resultante da reação anterior) e micro-organismos como *Pseudomonas spp*, *Micrococcus spp*, *Spirillum spp* que são misturados aos diversos resíduos. Naquela patente, o autor ainda preconiza o uso de solução com ácido sulfúrico para atingir pH de 2,8 a 3,5 à qual adiciona *Thiobacillus thiooxidans* e *Thiobacillus ferrooxidans* como um meio de acelerar o processo de compostagem. Também incorpora diversos elementos químicos como óxido de manganês, uréia, sulfato de zinco, molibdato de sódio. Outra patente brasileira (MOURA, 1994) indica um biorreator específico ao qual é adicionado apenas oxigênio puro (94%) preconizando que desta forma o processo acelera a atividade dos micro-organismos nativos e conseqüentemente o período de compostagem. Em vista de tanta controvérsia, o nosso trabalho procurou cultivar, isolar e selecionar os micro-organismos predominantes nas diversas etapas e verificar a sua efetividade em acelerar os processos bioquímicos através de inoculações sucessivas a partir dos melhores resultados encontrados previamente com os inóculos.

O produto final proveniente do processo de compostagem, em geral, consiste em uma matéria orgânica homogênea, de cor escura e estabilizada, preferencialmente isenta de micro-organismos patogênicos e sementes de plantas invasoras (VIEIRA, 2013). Este composto possui nutrientes orgânicos, volumoso e minerais tais como celulose, hemicelulose, carboidratos de baixo peso molecular, voláteis, proteínas, peptídeos, aminoácidos, nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, que são assimilados em maiores quantidades pelos micro-organismos do rúmen, além de ferro, zinco, cobre, manganês, boro e outros, que são absorvidos em menores quantidades, transformando-os em aminoácidos, monossacarídeos, ácidos orgânicos, dentre outros, que vão direto para os processos metabólicos dos ruminantes onde são transformados em carne, leite, couro, peles aumentando a produtividade desses animais em 2 a 7 vezes comparados com aqueles que não recebem essa dieta. Além disso, tendo em conta o potencial fertilizante do composto, a compostagem afigura-se como um insumo que irá reduzir o uso de fertilizantes químicos, gerando produtos agrícolas de boa qualidade, além de aumentar a produtividade agrícola.

Muito embora a compostagem tenha sido empregada principalmente para obtenção de adubo, a tendência é agregar valor e transformá-lo em ração seja isolado ou adicionado de outros componentes para correção nutricional visando à

alimentação dos animais, uma tentativa que visa obter e transferir tecnologia para os pequenos produtores que, devido à seca e a aridez do solo enfrentam dificuldades de pastagem e baixa produção agrícola, capacitando-os a sobreviver e aprender a conviver com a seca.

O presente trabalho tem como objetivos determinar os parâmetros físicos, físico-químicos e os tipos de micro-organismos que podem acelerar o processo de compostagem a partir de resíduos de coco verde e de poda de árvores verde usando processo biotecnológico de degradação acelerada, bem como avaliar a possibilidade da sua utilização como ração para ruminantes.

## 1.1 PROBLEMATIZAÇÃO E PROBLEMA

O lixo é responsável por um dos mais graves problemas ambientais de nosso tempo. Seu volume é excessivo e vem aumentando progressivamente, principalmente nos grandes centros urbanos, atingindo quantidades impressionantes. Os serviços ambientais, como a arborização urbana, influenciam o bem-estar dos indivíduos e visando satisfazer as necessidades mínimas do ser humano, as autoridades municipais arborizam as vias públicas ou urbanas, trazendo para as cidades um pouco do ambiente natural. Porém, a poda das árvores das cidades resulta na produção de grandes quantidades de resíduo. Por outro lado, a valorização de consumo de produtos naturais faz com que a procura pelo consumo da água de coco verde seja cada vez crescente, culminando com a geração de bastante resíduos. O aumento da produção de resíduos tem requerido grandes esforços dos serviços de remoção. Uma inabilidade de lidar com os mesmos tem, conseqüentemente, afetado a qualidade do ambiente, a estética das cidades e a saúde pública. Além disso, a gestão destes resíduos carece de ações que as possam conjugar com novas tecnologias de aproveitamento. A compostagem tem se mostrado a forma mais eficiente de reaproveitamento destes resíduos. No entanto, apesar da técnica da compostagem ser milenar, poucos são os estudos que identificam os micro-organismos responsáveis pelo processo, em particular aqueles que podem acelerar o bioprocessamento para obter um produto em curto período de tempo, de boa qualidade e homogêneo. Face a essa situação surge a inquietação que motivou a realização deste estudo e que se relaciona com a seguinte questão:

*Até que ponto os parâmetros físicos, físico-químicos, químicos e inoculação de micro-organismos celulolíticos e nitrificantes, selecionados nas diversas etapas da compostagem de coco verde e poda de arvores pode acelerar o bioprocessamento para produção de adubo e/ou ração para ruminantes?*

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A produção de resíduos vem crescendo de forma acentuada nos últimos anos, sobretudo em países em desenvolvimento. Do volume total do resíduo sólido gerado, pouco mais da metade é constituído por resíduo orgânico, sendo que o resíduo agroindustrial possui muita carga orgânica. Estes resíduos são normalmente produzidos nos centros urbanos e em quantidades muitas vezes superior ao produto desejado, constituindo grande problema aos gestores municipais que, muitas vezes, não têm políticas de saneamento básico e de processamento de resíduos, passando estes a representar uma grande fonte poluidora para o ambiente, além de acarretar elevados custos às autoridades para sua destinação final.

Projetos visando reaproveitar o resíduo de coco verde estão voltados para processamento de fibra, seu uso como substrato em agricultura, produção de artigos de artesanato, entre outros, aproveitando parte bastante insignificante do resíduo gerado pela crescente procura do coco verde para consumo da água *in natura*. Além do mais, raros são casos em que o resíduo de coco foi submetido ao processo de compostagem para sua reciclagem, sendo que a maioria dos projetos voltados para compostagem de resíduo orgânico demandam muito tempo pelo fato de se usar a componente tradicional do processo que pode demorar até cerca de 120 dias. Deste modo, pretende-se com este trabalho agregar valor ao resíduo orgânico, nomeadamente coco verde e poda de arvores gerado nos centros urbanos através de um processo acelerado de compostagem que envolve aplicação de micro-organismos que possam degradar o resíduo. O composto gerado, altamente rico em minerais e nutrientes poderá ser aplicado como adubo ou ração para pequenos ruminantes. Portanto, será incrementada a qualidade do solo pela disponibilização de nutrientes contidos no composto, realizando a adubação controlada. Por outro lado, será incrementada a qualidade nutricional dos animais ruminantes, principalmente em regiões de baixa pastagem, pela produção de ração de alto poder nutricional e volumoso, essencial para a atividade dos micro-organismos do rúmen.

Assim sendo, a compostagem destes resíduos afigura-se como uma solução ambientalmente sustentável e economicamente viável, na medida em que serve de fonte de renda, emprego e de preservação do meio ambiente.

### 1.3 HIPÓTESES

1. A compostagem de coco verde misturado com poda de árvores pode produzir adubo e/ou ração para ruminantes;

2. A inoculação do resíduo em compostagem com micro-organismos celulolíticos e nitrificantes pode acelerar o bioprocessamento e aumentar a qualidade do composto;

3. O enriquecimento do resíduo com minerais de baixos teores pode aumentar a proliferação dos micro-organismos atuantes na compostagem e acelerar a degradação do resíduo;

4. O monitoramento e controle dos parâmetros físico-químicos garantem a eficiência e rapidez no decurso do bioprocessamento.

### 1.4 OBJETIVOS

#### 1.4.1 Objetivo Geral

Determinar os parâmetros físicos, físico-químicos, químicos e inoculação de micro-organismos celulolíticos e nitrificantes, selecionados nas diversas etapas da compostagem de coco verde e poda de árvores que podem influenciar no bioprocessamento de compostagem acelerada e avaliar a possibilidade de sua utilização como adubo e/ou ração para ruminantes.

#### 1.4.2 Objetivos Específicos

- ✓ Avaliar a possibilidade de misturar e respectivas proporções os resíduos de coco e poda de árvores verde para compostagem;
- ✓ Isolar e quantificar micro-organismos específicos envolvidos no processo de compostagem;

- ✓ Avaliar a capacidade de micro-organismos selecionados na degradação de fibras e retenção de nitrogênio;
- ✓ Monitorar e controlar os parâmetros físico-químicos envolvidos no processo da compostagem tais como umidade, temperatura, pH;
- ✓ Verificar o efeito de diferentes compostos de Fósforo e Calcário para acelerar o processo de compostagem.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Seadon (2006) define resíduo como sendo qualquer material sólido, líquido ou gás, que é indesejável e / ou desprezado, e descartado ou descarregado pelo seu proprietário. Resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem um grande desafio para as autoridades municipais. Este problema é agravado pelo crescente aumento da população que vive nas cidades que torna cada vez maior o volume de lixo gerado diariamente. Em Pequim, na China, o total de resíduos sólidos urbanos gerados aumentou ao longo da última década, passando de 2,96 milhões de toneladas em 2000 para 6,35 milhões de toneladas em 2010 (WANG & WANG, 2012).

O aumento da produção de resíduos tem requerido grandes esforços dos serviços de remoção. Uma inabilidade de lidar com esse resíduo têm consequentemente afetado a qualidade do ambiente, a estética da cidade e a saúde pública (FERRÃO, 2006).

Os resíduos urbanos são geralmente depositados em aterros sanitários. Cerca de 70 a 80% dos resíduos sólidos urbanos coletados são depositados em aterros sanitários nos países em desenvolvimento (AGAMUTHU, 2013). Os resíduos provenientes de áreas urbanas em toda a África são essencialmente depositados nos lixões a céu aberto e há pouco controle sobre a emissão de gases resultantes (COUTH & TROIS, 2012). De acordo com Agamuthu (2013), 90% dos aterros sanitários em todo mundo são lixões sem sistemas adequados de coleta de gás de aterros sanitários, contribuindo significativamente para a emissão de gases de efeito estufa. O gás metano oriundo de aterros sanitários é um forte gás de efeito estufa, possuindo um potencial de aquecimento global de cerca de 25 vezes maior do que o dióxido de carbono. Assim, os aterros são tidos como tendo uma contribuição significativa para o aquecimento global (AGAMUTHU, 2013).

A questão dos resíduos gerados em ambientes urbanos atinge contornos graves, pela ínfima presença de soluções adequadas quer para os efluentes líquidos ou resíduos sólidos (PINTO, 1999). Cientes dos problemas inerentes à gestão de resíduos sólidos urbanos, os países adotam leis que incentivam a criação de formas alternativas de destinação do lixo. A legislação Brasileira (Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010) adverte para a necessidade da utilização de tecnologias visando à

recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos, desde que tenha sido comprovada sua viabilidade técnica e ambiental. De acordo com o mesmo documento, os municípios devem desenvolver mecanismos para a criação de fontes de negócios, emprego e renda, mediante a valorização dos resíduos sólidos.

A gestão de resíduos sólidos urbanos engloba as funções de coleta, transferência, recuperação de recursos, reciclagem e tratamento. A principal finalidade da gestão de resíduos sólidos urbanos é proteger a saúde da população, promover a qualidade ambiental, desenvolver a sustentabilidade, e fornecer suporte para a produtividade econômica (HENRY *et. al.*, 2005).

Embora nos países em desenvolvimento, a quantidade de resíduos sólidos gerados nas áreas urbanas seja baixa em comparação com os países industrializados, a sua gestão ainda permanece inadequada (HENRY *et. al.*, 2005).

A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos absorve uma fração significativa do orçamento dos municípios e os países economicamente frágeis apresentam maiores deficiências de gestão de lixo. Segundo Henry *et. al.*, (2005), muitas autoridades locais em países em desenvolvimento gastam mais de 30% de seus orçamentos em coleta e deposição de lixo, mas só conseguem coletar no máximo 50-70% dos Resíduos Sólidos Urbanos e a maioria desses países não atende a níveis ambientalmente seguros de deposição desses resíduos. Dados apresentados por Parrot (2008), mostram que algumas grandes cidades africanas coletam menos de 50% do resíduo sólido gerado.

Tabela 1. Gastos envolvidos na remoção de resíduos sólidos urbanos em algumas cidades Africanas.

<b>Cidade – País</b>	<b>Custo em milhões USD</b>	<b>Lixo removido (%)</b>	<b>População</b>
Abidjan (Costa de Marfim)	2,8	30–40	2,777,000
Dakar (Senegal)	9,0	30–40	1,708,000
Das-es-Salaam (Tanzânia)	10,0	48	2,500,000
Lomé (Togo)	8,0	42,1	1,000,000
Yaundé (Camarões)	5,0	43	1,720,000
N'Djamena (Chade)	5,0	15–20	800,000
Nouakchott (Mauritânia)	8,0	20–30	611,883
Maputo (Moçambique) <sup>1</sup>	2,0	-	1,111,638

<sup>1</sup> Dados de 2004, de acordo com Ferrão (2006).

Fonte: Adaptado de Parrot (2008).

A composição dos resíduos varia dependendo de diversas variáveis tais como urbanização, empresas comerciais, atividades dos setores de serviços e indústria transformadora. A quantidade de resíduos produzidos varia entre 0,3 a 1,0 kg/habitante/dia e tem elevados conteúdos orgânicos – 40 a 70% (AGAMUTHU, 2013). O conteúdo orgânico tende a ser alto nos países pobres (FERRÃO, 2006). Estudo feito no Kenya por Henry *et al.*, (2005), revela que pouco mais de 50% do Resíduos Sólidos Urbanos são resíduos de alimentos, sendo que nos bairros de alta renda foram gerados 52% desses resíduos, nos de média renda 50% e nos de baixa renda 57%.

As práticas agrícolas entre os povos pobres urbanos contribuem grandemente no volume do lixo orgânico gerado. A agricultura urbana e Peri - urbana da África é uma fonte de renda para a grande maioria das famílias. Em Yaundé, capital Camaronesa, a produção diária de resíduos orgânicos por habitante é de 0,6 kg durante o período seco e 0,98 kg durante a estação chuvosa (PARROT *et al.*, 2008).

Na cidade de Maputo, capital de Moçambique, estima-se em 1000 toneladas a quantidade de lixo gerada diariamente dos quais mais de 50% é resíduo orgânico (BUQUE, 2013), cuja deposição se dá em lixões abertos.

Na classificação de resíduo sólido orgânico, o lixo verde é o que ocupa maior área, sendo considerado como o que mais diminui a vida útil dos aterros sanitários (VIEIRA, 2013). A adoção de tecnologias que visem à destinação correta dos resíduos sólidos urbanos faz-se necessário.

Uma maneira muito mais eficiente e de baixo custo que possibilite uma melhor gestão de resíduos orgânicos e controlar as emissões de gases de efeito estufa a partir de resíduos é estabilizar os resíduos através da compostagem e usar o material compostado para varias finalidades, incluindo sua aplicação como um corretivo de solos e/ou fertilizante orgânico.

## 2.2 RESÍDUO DE COCO VERDE

O coco (*Cocos nucifera*) é uma cultura de origem asiática, típico da região tropical do planeta. É a noz mais amplamente cultivada e utilizada no mundo e é a mais importante das palmeiras (WOODROOF, 1979). Sua produção tem crescido bastante nos últimos anos. Segundo Gonçalves *et al.*, (2014), a produção mundial

de coco em 2009 foi de cerca de 55 milhões de toneladas, sendo que as Filipinas foram o maior produtor com uma produção equivalente a 36% da produção mundial. A Indonésia e Índia ocupam a 2ª e 3ª posições com uma produção de 28% e 20 %, respectivamente. O Brasil é o quarto maior produtor de coco, com uma produção de cerca de 3 milhões de toneladas - 5,5% (GONÇALVES *et al.*, (2014).

O coco é uma cultura de grande importância. Além da comercialização dos coprodutos do coco, como o óleo de coco e leite de coco largamente empregada na indústria alimentícia e cosmética, tem havido um aumento do consumo de água de coco verde como uma bebida refrescante que é comercializada *in natura* ou após industrialização (BRITO *et al.*, 2002).

A indústria de processamento de coco gera uma quantidade significativa de resíduos (ROSA *et al.*, 2002). A quantidade de “casca” de coco gerada pela agroindústria é maior do que a capacidade natural de degradação da biomassa, constituindo-se num grande problema de poluição ambiental, visto que, normalmente, esses resíduos não têm uma destinação adequada (MAGALHÃES, FERNANDES e NEVES, 2011). Do coco verde usado para consumo da água, 80% a 85% do peso bruto representam lixo, que não vem sendo aproveitado pela indústria de beneficiamento de fibras, em função de características inadequadas (ROSA *et al.*, 2002).

O resíduo de coco é um material rico em lignina, hemicelulose e celulose e é usado para várias aplicações (BRÍGIDA *et al.*, 2011). Do beneficiamento mais comum do resíduo de coco, consta a sua utilização para a remoção de resíduos de íons em soluções aquosas (MAGALHÃES, FERNANDES e NEVES, 2011), no caso do resíduo seco, manufatura de cordoalhas, esteiras, produção de tapetes e estofamentos e o pó proveniente da mesma região é usado como substrato para plantas, pois apresenta alta porosidade e grande potencial de retenção de umidade, conferindo a esse substrato características adequadas para ser utilizado no cultivo agrícola (ROSA *et al.*, 2002; MAGALHÃES, FERNANDES E NEVES, 2011; MONTEIRO, 2009 ).

No Brasil, por exemplo, a produção de coco cresce 18% ao ano, para responder às exigências da procura crescente pela água de coco (ROSA *et al.*, 2002). Esse fato torna cada vez maior a quantidade de resíduos gerados exigindo tecnologias para a destinação correta dos mesmos.

Moçambique foi o maior produtor africano de coco no período entre 1941 a 1981, posição que deixou de ocupar devido a uma perda em mais de 30% do palmar, sobretudo em consequência da doença do amarelecimento letal do coqueiro (MOSCA, 2012). Ações visando recolocar o país na lista dos maiores produtores desta cultura estão em curso e incluem o repovoamento por plantas jovens e resultados já são notórios com o aumento da produção deste palmar nos últimos anos. O setor familiar é o maior produtor, contribuindo com cerca de 60% da produção de coco (HOGUANE, 2007). As regiões maiores produtoras de coco são Zambézia (região centro do país) com cerca de 50% e Inhambane (sul do País) com 35%, sendo o resíduo resultante do consumo do fruto verde um dos principais componentes do lixo verde nestas regiões.

É comum encontrar casca de coco verde jogado nas praias, terminais de transportes semi-coletivos de passageiro e mercados informais, aonde seu consumo é maior, constituindo um transtorno aos serviços locais de limpeza pública. Segundo Bernardo, (2008), cerca de 40% do lixo orgânico gerado em áreas litorâneas dos centros urbanos das províncias Inhambane e Zambézia é composto por cascas de coco verde.

Estima-se que no Brasil exista uma área de 100 mil hectares de coqueiro-anão plantado, destinados à produção do coco verde para o consumo da sua água. As cascas geradas por este agronegócio representam 80% a 85% do peso bruto do fruto e cerca de 70% de todo lixo gerado nas praias brasileiras é representado por cascas de coco verde. Como a sua deposição é feita nos aterros, constitui-se no maior potencial de emissão de gases de efeito estufa, e, ainda, contribuindo para que a vida útil desses depósitos seja diminuída, proliferando focos de vetores transmissores de doenças, mau cheiro, possível contaminação do solo e corpos d'água, além da inevitável destruição da paisagem urbana (Mattos *et al.*, 2006). Segundo a mesma fonte, diferentemente da casca do fruto maduro, as cascas geradas pelo consumo do coco verde não possuem muitas tecnologias adequadas que viabilizem seu aproveitamento.

Este resíduo é um material de difícil decomposição, levando mais de oito anos para sua completa biodegradação (CARRIJO, LIZ & MAKISHIMA, 2002), exigindo tecnologias para a destinação correta do mesmo. Santos, (2006), afirma que a aplicação de resíduos agroindustriais em bioprocessos fornece substratos alternativos, e isso ajuda a resolver problemas de poluição. Portanto, a

compostagem deste resíduo afigura-se como uma alternativa viável de sua destinação, que, além de ser importante sob o ponto de vista ambiental também tem importância econômica e social.

### 2.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO COCO VERDE

Este resíduo é constituído por uma parte espessa e fibrosa do fruto - o mesocarpo, pelo exocarpo, que é a parte mais externa e que constitui a epiderme, e pelo endocarpo, que no fruto imaturo ainda não se apresenta tão duro e rígido como no coco maduro (ROSA *et al*, 2002). Este resíduo faz parte do grupo das fibras não lenhosas muito principalmente por causa das características do mesocarpo que é composto por fibras lignocelulósicas, também chamadas de fibras vegetais ou fibras naturais e incluem folhas ou fibras duras, sementes, frutas, palha de cereais, e outras gramíneas. São materiais ricos em lignina, hemicelulose e celulose. A quantidade dos componentes de celulose e não celulósicos em uma fibra determina a sua estrutura e propriedades, e influencia no teor de umidade (BRÍGIDA *et al.*, 2011). Em geral, quanto maior o teor de lignina numa fibra, menor será o teor de celulose (HAN, 1998). A fibra de coco é um material lignocelulósico, caracterizado por uma elevada resistência e durabilidade, devido ao seu elevado teor de lignina, quando comparado com outras fibras naturais (SILVA *et al.*, 2000).

As tabelas abaixo apresentam dados de diferentes autores em relação às propriedades físico/químicas do coco verde.

Tabela 2. Características em % total da fibra e da casca de coco verde de acordo com Han (1998).

Coco verde	Lignina	Glicose	L-Arabinose	Galactose	L-Ramnose	Xilose	Manose
Fibra	33.5	34.87	0.05	0,36	0.16	16.98	0.12
Casca	35.72	25.91	0.29	0.32	0.21	23.93	-

Tabela 3. Propriedades físico-químicas da fibra de coco verde, segundo Liz, Vidal & Carrijo (2002).

Substrato	pH	CE (dS/m)	CTC	C/N	d (g/L)	PT (%)	RA (ml/L)	CA (%)	AFA (%)
Fibra de coco	5,4	1,8	92	132	70	95,6	538	45,5	19,8

CE- condutibilidade elétrica, CTC- capacidade de troca catiônica, d- densidade, PT- porosidade total, RA- retenção de água, CA- capacidade de aeração, AFA- água facilmente assimilável.

Tabela 4. Teores de matéria seca (MS), cinzas (Cinzs), matéria orgânica (MO), carbono total (C), nitrogênio total (N), relação entre o teor de carbono total e o teor de nitrogênio total (C/N), pH, condutividade elétrica (C.E.), teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), e magnésio (Mg) solúveis em água, da fibra de coco e coco verde (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

Substrato	MS	Cinzas	MO	C	N	C:N	pH	C.E.	P	K	Ca	Mg
Coco verde	92	5,5	84	47	0,6	78	6,1	2,92	0,28	4,27	0,25	0,18
Fibra de coco	93	3,8	89	50	0,3	144	6,2	3,83	0,17	3,13	0,18	0,13

MS, Cinzas, MO, C e N expressos em percentagem; C.E em mS/cm e P, K, Ca e Mg em g/Kg.

## 2.4 COMPOSTAGEM

O processo de compostagem é uma forma eficaz e econômica de tratar os resíduos orgânicos. Trata-se de um processo que possibilita o tratamento dos resíduos orgânicos domésticos, como restos de alimentos e resíduos de jardinagem, bem como resíduos de algumas indústrias. É um processo bio-oxidativo controlado de decomposição predominantemente microbiológico, em condições que atingem temperaturas suficientemente elevadas para o crescimento dos micro-organismos termofílicos, importantes participantes no processo, resultando na formação do biocomposto que é um produto estável que possui características apropriadas para diferentes utilizações (HERBETS *et al.*, 2005). É um processo simples e barato, sendo um dos mais indicados para o tratamento de resíduos orgânicos.

Na natureza, a compostagem ocorre naturalmente por meio da degradação biológica de matéria orgânica. Sua prática ocorre desde a História antiga, porém até

recentemente, de forma empírica. Gregos, romanos, e povos orientais já sabiam que resíduos orgânicos podiam ser retornados ao solo, contribuindo para sua fertilidade. No entanto, só a partir de 1920, com Albert Howard, é que o processo passou a ser pesquisado cientificamente e realizado de forma racional. Nas décadas seguintes, muitos trabalhos científicos lançaram as bases para o desenvolvimento desse processo, que hoje pode ser utilizado em escala industrial (FERNANDES & SILVA, 1996).

Compostagem é a decomposição biológica do complexo material animal e vegetal nos seus componentes constituintes (FERRÃO, 2006). Para Oliveira *et al.*, (2008) a compostagem é um processo de oxidação biológica através do qual os micro-organismos decompõem os compostos constituintes dos materiais liberando dióxido de carbono e vapor de água.

Vieira (2013), considera que compostagem é um método controlado de decomposição biológica de materiais orgânicos devido à ação de uma população de micro-organismos que transforma os resíduos orgânicos em um produto estável e com características diferentes do material que lhe deu origem. Já Gomez, (1998) define compostagem como sendo uma reação de mineralização e humificação parcial de substâncias orgânicas, a qual sob condições ótimas ocorre em curto período. Apesar de ser considerado pela maioria dos autores como um processo aeróbio, a compostagem é também referida (OLIVEIRA *et al.*, 2008) como um processo biológico de decomposição aeróbia e anaeróbia, sendo realizada em sua quase totalidade por processos aeróbios.

Na compostagem anaeróbia a decomposição é realizada por micro-organismos que podem viver em ambientes sem a presença de oxigênio; ocorre em baixa temperatura, com exalação de fortes odores, e leva mais tempo até que a matéria orgânica se estabilize (JARDIM *et al.*, 1995). Já na compostagem aeróbia, a decomposição da matéria orgânica é realizada por micro-organismos que só vivem na presença de oxigênio. Durante o processo a temperatura pode chegar a até 70°C, os odores emanados não são agressivos e a decomposição é mais veloz (DELGADO, 2009).

As substâncias orgânicas biodegradáveis passam por etapas sucessivas de transformação sob a ação de diversos grupos de micro-organismos, resultando num processo bioquímico altamente complexo (FERNANDES & SILVA, 1996). Geralmente são consideradas três fases que ocorrem durante a compostagem

(BRUNI, 2005; SUNDBERG, 2005; CORRÊA, FONSECA & CORRÊA, 2007). A primeira fase é denominada de composto cru ou fitotóxica devido à formação de ácidos orgânicos e toxinas. Essa fase é de curta duração e ocorre o desprendimento de calor, vapor de água e CO<sub>2</sub>, e a temperatura pode variar de 45°C a 70°C. Esta fase começa 48 horas depois da montagem da leira. A segunda fase, chamada de semi-cura ou estado de bioestabilização, é subsequente à primeira fase e é a mais longa. Nesta fase o composto deixa de ser prejudicial às raízes e sementes. A terceira e fase é a maturação, também chamada por humificação, que é o estado final da degradação da matéria orgânica, na qual o composto atinge o ponto mais alto de suas propriedades benéficas ao solo e às plantas (BRUNI, 2005).

Existem certos parâmetros que são mais importantes em cada fase. Na fase inicial, o crescimento da biomassa microbiana, muitas vezes em combinação com baixo pH, é limitante. Esta fase é caracterizada pelo aumento da temperatura e aumento da produção de CO<sub>2</sub>. Na fase de bioestabilização que é normalmente termofílica, nem a biomassa microbiana, a disponibilidade de substrato, nem o pH baixo são limitantes. Nesta fase, o fator limitante é a difusão do oxigênio para as partículas de composto. Na fase de maturação, o substrato prontamente disponível está esgotado, enquanto a biomassa microbiana ainda é grande, de tal modo que a disponibilidade do substrato passa a ser limitante. A produção de CO<sub>2</sub> decresce e a temperatura também diminui (SUNDBERG, 2005).

A temperatura é o parâmetro mais útil para se monitorar a evolução do processo de compostagem. Na pilha de compostagem, a temperatura reflete a atividade microbiana e permite detectar alterações ocorridas durante o processo, sendo possível, a partir do perfil de variação da temperatura durante a compostagem, distinguir quatro fases (MEIRA, CAZZONATTO & SOARES, 2009). A primeira fase é mesófila, na qual a temperatura registra uma elevação progressiva devido à atividade microbiana que transforma a energia contida nos compostos solúveis em calor. Nesta etapa a temperatura da pilha assume valores próximos à temperatura ambiente, variando entre 30 a 40°C. A segunda fase é termófila, uma fase ativa da degradação, na qual a temperatura atinge valores máximos (40 a 70°C) que provocam a morte de micro-organismos patogênicos e de fungos não esporulantes. A terceira fase é de arrefecimento, caracterizada pela diminuição da atividade microbiana e, conseqüentemente, pelo decréscimo da temperatura. A

quarta fase é a maturação, na qual ocorre a formação de ácidos húmicos e proliferação de micro-organismos do solo.

O método tradicional de compostagem consiste em colocar a matéria orgânica em compostagem em pilhas, nas quais são adicionados agentes de degradação em uma proporção pré-estabelecida, sendo que o inoculante mais comumente usado é o esterco animal fresco (VIEIRA, 2013). Também pode ser feita uma inoculação massal na fase inicial da compostagem, um processo que consiste na introdução de um material que esteja na fase final de compostagem, possibilitando a adição de uma população diversificada de micro-organismos (PIRES, 2013). Esse material adicionado deve ser na proporção de 10 a 20 % do volume do resíduo a ser compostado (SANCHUKI, 2011).

O tamanho da pilha pode variar, mas geralmente tem um metro de altura e dois de largura da base para facilitar o revolvimento manual ou 2 metros de altura e 4 metros de largura da base (BRUNI, 2005). O material básico habitualmente usado neste método de compostagem é o material orgânico proveniente das mais diversas atividades, principalmente resíduos gerados no meio rural, tais como restos de vegetais, palhas, restos de folhas e galhos, restos de comida, entre outros resíduos. O resíduo orgânico e o esterco são dispostos em camadas alternadas formando pilhas (VIEIRA, 2013). O revolvimento é necessário para permitir a aeração na pilha, ocorrendo periodicamente até se alcançar a fase final de degradação que pode demorar entre 90 a 120 dias.

A compostagem acelerada é aquela em que se oferecem condições especiais tais como: adição de micro-organismos e/ou enzimas, fornecimento de aeração forçada. Ela oferece a maior possibilidade de controle sobre todos os parâmetros importantes para o processo, tais são os casos da compostagem realizada em reatores biológicos, compostagem de aeração em pilhas, dentre outras (FERNANDES & SILVA, 1996; BRUNI, 2005; CORRÊA, FONSECA & CORRÊA, 2007).

A compostagem biotecnológica é aquela em que para sua aceleração são adicionados micro-organismos ao resíduo a ser compostado, proveniente do meio rural, urbano e/ou industrial (VIEIRA, 2013). Esse resíduo deve passar por um processo de balanço de massas visando a otimização dos parâmetros químicos e físico-químicos (ANGNES, 2010), que é feito mediante a adição e mistura uniforme de minerais à base de cálcio(Ca), fósforo(P) e micronutrientes, juntamente com

ajuste de umidade para que haja um aumento exponencial da atividade microbiológica, sobre o substrato, fazendo com que o tempo de compostagem seja reduzido significativamente (VIEIRA, 2013).

A eficiência do processo de compostagem depende de fatores físico-químicos, como a temperatura, aeração, umidade e pH. As condições ambientais são importantes para o desenvolvimento microbiológico durante o processo bem como para as características nutricionais do resíduo (GORGATI, 2001), sendo fundamental o seu controle em ambos os métodos de compostagem.

## 2.5 FATORES QUE AFETAM O DESENVOLVIMENTO DA COMPOSTAGEM

Fatores, tais como umidade, pH, temperatura, relação C/N, composição do resíduo, afetam o processo de compostagem e, conseqüentemente, o produto final. Estes parâmetros estão fortemente ligados de tal forma que a não otimização de um pode afetar o restante e, conseqüentemente, compromete a dinâmica de todo o processo.

### 2.5.1 pH

Geralmente a leira de compostagem tem no início um pH ácido. Tal fato deve-se ao material orgânico comumente utilizado como matéria prima que é de natureza ácida (Valente *et al.*, 2009). Essa acidez tende a aumentar durante esta fase devido ao aumento da concentração de ácidos orgânicos (Sundberg, Smars & Jonsson, 2004). Contudo, a ação microbiana sobre o substrato também determina os valores de pH que ocorrem ao longo do processo. Oliveira *et al.*, (2008) afirmam que à medida que os fungos e as bactérias digerem a matéria orgânica libertam-se ácidos que se acumulam e acidificam o meio. Este pH ácido favorece o crescimento de fungos e a decomposição da celulose e da lignina.

A fase inicial da compostagem é a parte mais dinâmica do processo e é caracterizada por um rápido aumento na temperatura, grandes oscilações no pH, e a degradação de compostos orgânicos simples. A passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia, tornando o ambiente alcalino, com pH na faixa de 7.5 a 9.0 durante a fase termófila (FERNANDES & SILVA, 1996). Numa experiência de

compostagem de restos de comida realizada por Schloss *et al.* (2003), notou-se que o pH mudou de 4.4 para 7.9 durante as primeiras 96 horas, e um aumento médio de 20 °C na temperatura. De acordo com os mesmos autores, mudanças de uma magnitude semelhante foram observadas por outros pesquisadores durante as experiências de compostagem em grande escala.

Sundberg (2005), apresenta três sistemas ácido-base que influenciam o pH durante a compostagem: o primeiro é o sistema carbônico, com dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o qual é formado durante a decomposição e pode escapar como um gás ou dissolver no líquido, formando ácido carbônico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e carbonato (CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>), o que tende a reduzir o pH do composto, tornando-o baixo. O segundo sistema é de amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) - amoníaco (NH<sub>3</sub>), que é formado quando as proteínas são decompostas. Durante a fase inicial da compostagem, a maior parte do azoto metabolizado é retido por micro-organismos em crescimento, mas durante a fase de alta intensidade (bioestabilização) a amônia é libertada, aumentando o pH para valores próximos de 9. O terceiro sistema é composto por vários ácidos orgânicos, sendo o ácido acético e o ácido láctico os dominantes. Este sistema pode reduzir o pH para valores próximos de 4. Contudo, os resíduos com um pH ligeiramente alcalino na fase inicial da compostagem tendem a manter este valor durante todo o processo (PAGANS *et al.*, 2005).

Em experimento de compostagem de resíduo de alimentos realizado por Sundberg, Smars & Jonsson, (2004), notaram que houve inibição da atividade microbiana em um pH inferior a 6,0 a uma temperatura próxima a 46 °C e, conseqüentemente, um baixo teor de degradação do resíduo. Atividade microbiológica relativamente maior foi verificada na temperatura próxima de 46 °C e pH acima de 6,0. A uma temperatura próxima de 36 °C e um pH abaixo de 6,0 maior atividade microbiológica foi registrada. A justificativa para este fato, de acordo com os mesmos autores, pode dever-se a sensibilidade das comunidades microbianas para os efeitos combinados de temperatura e condições ácidas, isto é, os micro-organismos podem suportar um fator ambiental extremo, a temperatura elevada ou o pH baixo, mas não a ambos simultaneamente.

O processo de compostagem pode ser desenvolvido sob uma ampla faixa de pH entre 4,5 e 9,5 uma vez que os micro-organismos crescem melhor, pois a maioria das enzimas encontram-se ativas nesta faixa de pH, sendo que a ocorrência de valores extremos são ajustados pelos próprios micro-organismos ativos no processo

(WITTER & KIRCHMANN, 1988; VALENTE *et al.*, 2011; ALMEIDA *et al.*, 2012). Valores de pH fora desse intervalo tendem a diminuir a velocidade de decomposição da matéria orgânica durante a compostagem, tornando o processo muito lento (SANCHUKI, 2011).

### **2.5.2 Umidade**

O teor de água contido no substrato é um componente importante no processo da compostagem. Sendo a compostagem um processo biológico que atua na matéria orgânica, é imprescindível a presença da água para satisfazer as necessidades fisiológicas dos micro-organismos envolvidos no processo. Assim, o controle da quantidade da água existente na matéria orgânica faz-se necessário de modo a garantir a qualidade e velocidade do bioprocessamento (PIRES, 2013). Segundo Miller, (1993) citado por Sundberg, (2005), para os micro-organismos não há limite superior para o teor de água como tal, mas a umidade excessiva reduz o espaço de ar na matriz de compostagem e, assim, causa a limitação de oxigênio, portanto, a umidade ideal do substrato no início da compostagem é de fundamental importância para o desenvolvimento correto do processo, sendo necessário o conhecimento da quantidade de água acrescentada para umidificar o substrato na umidade ideal (SANCHUKI, 2011).

Em um estudo feito por McClendon, Das & Liang, (2002), para avaliar a atividade microbiana em compostagem de mistura de biossólidos, a temperatura controlada e umidade ajustada, constataram que o teor de umidade tem uma maior influência sobre a atividade microbiana do que temperatura e a umidade de 50% mostrou ser o valor mínimo para o rápido aumento da atividade microbiana, enquanto que a umidade no intervalo de 60-70% a atividade microbiana foi máxima.

De modo geral, o teor ótimo de umidade, no processo de compostagem, situa-se entre 50 e 60% (SUNDBERG, SMARS & JONSSON, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2008; TROIS & COUTH, 2012; PIRES, 2013). Entretanto, umidade acima de 60% provoca aglutinação de partículas, restringindo sobremaneira a difusão de oxigênio, o que causa a redução da concentração de oxigênio para valores menores que levam à instalação de condições anaeróbicas na massa de compostagem. Esses problemas culminam com a queda da velocidade de degradação da matéria orgânica acompanhada pela emissão de odores desagradáveis, atração de insetos

vetores e formação de chorume (OLIVEIRA *et al.*, 2008). Se o teor de umidade de uma mistura é inferior a 40% a atividade biológica é inibida, bem como a velocidade de biodegradação (FERNANDES & SILVA, 1996). Porém, como há perdas de água devido à aeração, em geral, o teor de umidade do composto tende a diminuir ao longo do processo.

A natureza do resíduo a ser compostado é determinante na faixa do teor de umidade que condicione boa degradabilidade e velocidade do processo. Manios (2003) apresenta diferentes valores de umidade para cada tipo específico de resíduo: para compostagem de lixo urbano o teor de umidade ótimo situa-se na faixa de 55 e 69%; Para compostagem de resíduo doméstico fresco a faixa ótima de umidade situa-se entre 50 a 60% e a umidade ótima para compostagem de casca situa-se entre 60-70%

Tendo em consideração as variações que a umidade causa sobre o processo de compostagem, Gorgati, (2001), ressalta a importância da cobertura das leiras após comparar o volume de chorume gerado em diferentes estações do ano e durante o período chuvoso. Nas leiras, na primavera foram gerados 17 litros de chorume, no verão zero litro, no outono 12 litros e no inverno 17 litros, sendo que esse volume foi considerado menor quando comparado com a quantidade de água que foi utilizada em adição para corrigir a umidade, ao passo que nas leiras sem cobertura a quantidade da água que incidiu sobre a leira superou a quantidade da água que seria necessária para correção da umidade, tendo gerado cerca de 1980 litros de chorume numa leira que ocupava uma área de 6m<sup>2</sup>.

Há uma relação direta entre o oxigênio fornecido no sistema e o teor de umidade. A este propósito, Sundberg, (2005), afirma que o equilíbrio entre a água e o oxigênio é complicado num sistema de compostagem pelo fato de o gás remover a água da compostagem, visto que a água se evapora, tornando praticamente impossível manter o mesmo teor de umidade por longos períodos de tempo, sendo a evaporação o principal meio de arrefecimento da leira.

A umidade é um fator ambiental chave que afeta muitos aspectos do processo de compostagem. A cinética de biodegradação é afetada pela umidade através de mudanças na difusão de oxigênio, potencial hídrico, atividade da água, e as taxas de crescimento microbiano. Essas relações são mais complexas pela natureza dinâmica do processo de compostagem, com mudanças no tamanho e estrutura das partículas que ocorrem ao longo do tempo (RICHARD *et al.*, 2013).

### 2.5.3 Temperatura

A temperatura é um fator importante na eficiência da compostagem, devido à sua influência sobre a atividade e diversidade de micro-organismos (MIYATAKE & IWABUCHI, 2005). A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo (FERNANDES & SILVA, 1996). A temperatura ótima é considerada como sendo de aproximadamente 60 °C de acordo com as taxas máximas de respiração, tais como taxa de absorção de oxigênio e taxa de evolução de CO<sub>2</sub> (JERIS & REGAN, 1975). Miller (1993) é citado por Sundberg, (2005) afirmando que a temperatura para a taxa máxima de degradação em compostagem é normalmente próxima de 55 °C, e a velocidade de degradação é muito baixa a 70 °C.

De acordo com Fernandes & Silva, (1996), se a leira em compostagem registrar temperatura da ordem de 40-60°C no segundo ou terceiro dia é sinal de que o ecossistema está bem equilibrado e que a compostagem tem todas as chances de ser bem sucedida. Caso contrário, é sinal de que algum ou alguns parâmetros físico-químicos (pH, relação C/N, umidade) não estão sendo respeitados, limitando assim a atividade microbiana.

A leira de compostagem pode atingir valores acima de 70 °C, o que não é recomendado pois altas temperaturas podem fazer com que ocorra volatilização de amônia, principalmente quando a leira é composta por material com baixa relação carbono/nitrogênio (C/N), podem insolubilizar proteínas hidrossolúveis como albumina e podem anular a ação de micro-organismos que não são termotolerantes (PIRES, 2013).

O aumento da temperatura durante a compostagem possibilita a eliminação de grande parte dos micro-organismos patogênicos, assim como larvas, insetos, ovos de parasitas e ervas daninhas, sendo que para a sanitização do material são necessárias temperaturas próximas a 55 °C por no mínimo três dias (SANCHUKI, 2011).

Durante a compostagem de resíduos domésticos em experimentos controlados em reatores de 200 litros, Sundberg (2005), notou que a decomposição da matéria orgânica durante a fase de alta taxa foi mais rápido a 55 °C do que a 40

ou 67 °C e as emissões de amônia a 67 ° C foram mais do que o dobro das de 55 ou 40 °C.

Cada uma das espécies microbianas só pode crescer dentro de uma determinada faixa de temperatura, e a maior parte dos micro-organismos são mortos por temperaturas demasiado elevadas. Micro-organismos mesófilos crescem melhor entre as temperaturas de 25 °C e 40 °C, enquanto que micro-organismos termofílicos crescem melhor entre 50 °C e 80 °C (TRABULSI & ALTERTHUM, 2008, p. 24).

Alguns estudos mostram que maior atividade microbiana durante a compostagem ocorre em altas temperaturas. Nagasaki *et al.* (1985b) são citados por Miyatake & Iwabuchi, (2005) como tendo mostrado que a taxa específica de evolução de CO<sub>2</sub> de micro-organismos é mais elevada a 70 °C quando comparado com compostagem a 50 °C e 60 °C. Também tem sido relatado que a temperatura para a taxa máxima de absorção de oxigênio de um micro-organismo é mais elevada do que a temperatura ótima da sua taxa de crescimento .

Durante a compostagem de esterco de gado leiteiro com temperatura variando de 20 °C a 70 °C, com finalidade de avaliar a atividade respiratória microbiana e a atividade enzimática, Miyatake & Iwabuchi (2005), notaram que a taxa de absorção de oxigênio foi maior a 43 °C e 60 °C e a atividade enzimática foi maior a uma temperatura de 54 °C em todos os ensaios testados, o que lhes permitiram concluir que nem toda a temperatura para máxima atividade respiratória de micro-organismos de um processo de compostagem correspondia à atividade de crescimento. Contudo, eles ressaltaram que a taxa de consumo de oxigênio, a taxa específica de crescimento e a atividade enzimática observadas nos experimentos de compostagem foram afetados pela temperatura do processo.

#### **2.5.4 Relação Carbono/Nitrogênio**

Carbono e nitrogênio são fontes principais de energia e para a formação de proteínas dos micro-organismos, por isso, entre os parâmetros necessários para que ocorra a compostagem de forma correta, a relação carbono/nitrogênio (C/N) é de fundamental importância (SANCHUKI, 2011).

Acredita-se que os micro-organismos absorvem o carbono e o nitrogênio numa proporção de 30 partes de carbono para uma parte de nitrogênio. Partindo

desse pressuposto 30/1 é a relação C/N do substrato ótima para iniciar a compostagem (BARRINGTON *et al*, 2001; OLIVEIRA *et al*, 2008; COUTH & TROIS, 2012). Contudo ela pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato (FERNANDES & SILVA, 1996).

Para relações C/N inferiores o nitrogênio ficará em excesso e poderá ser perdido como amoníaco causando odores desagradáveis (OLIVEIRA *et al.*, 2008). No material com elevada relação C/N, a baixa disponibilidade de nitrogênio vai restringir severamente a estabilidade microbiana do resíduo em compostagem (MANIOS, 2003), isto é, os micro-organismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado.

De acordo com Manios, (2003), uma abordagem para corrigir esta deficiência é fornecer uma fonte de nitrogênio mineral para ajustar a relação C/N a um nível ótimo. Segundo o mesmo autor, uréia e nitrato de amônio são mais eficientes do que sulfato de amônio e nitrato de potássio como fontes de nitrogênio da compostagem para iniciar e manter intensa a atividade respiratória. Resíduos como casca de árvore, serragem, cavacos de madeira, por possuírem relação C/N elevada, necessitam da adição de um material rico em nitrogênio, em alguns casos, estrume ou dejetos de porco, porém, mais frequentemente usa-se lodo de esgoto (GOMEZ, 1998).

Kirchmann & Witter, (1988), afirmam que a relação C/N é relevante para as perdas de amoníaco no processo de compostagem, com perdas superiores a baixa relação C/N. No entanto, a disponibilidade de carbono do substrato também é importante, dado que uma maior disponibilidade de carbono diminui as perdas de azoto.

As perdas de nitrogênio que ocorrem durante a compostagem são uma questão-chave, especialmente em países onde a volatilização de amônia é uma importante fonte de chuvas ácidas. Além disso, a volatilização de N reduz o valor do composto e constitui uma perda econômica importante. A disponibilidade de carbono, tamanho das partículas, teor de umidade, regime de aeração são os fatores que afetam a volatilização de N durante a compostagem (BARRINGTON, 2001).

Durante três anos consecutivos, Eghball *et al.* (1997) citados por Barrington *et al.*, (2001), efetuaram compostagem de esterco bovino em confinamento e mediram as perdas de N e C. Naquele estudo eles notaram que as perdas de nitrogênio foram

associadas ao teor inicial de N do esterco e variou de 19,3% a 61,5%. A volatilização de amônia consistiu em mais de 92% de todas as perdas de nitrogênio.

Barrington *et al*, (2001), realizaram um estudo de compostagem com relação C/N inicial diferente, tendo preparado duas pilhas estáticas aeróbicas consistindo de estrume de porco misturado com serragem em uma relação C/N inicial de 30 (pilha A) e 15 (pilha B), respectivamente, e observaram que a pilha B demandou muito tempo para aumentar a temperatura; a temperatura máxima atingida foi menor, e a fase termofílica foi mais curta do que na pilha A.

### **2.5.5 Micro-organismos**

A compostagem é um processo microbiano, e o desempenho global do processo de compostagem é, por conseguinte, o efeito combinado da atividade de micro-organismos individuais. Dessa forma, os micro-organismos desempenham um papel fundamental na degradação do resíduo a ser compostado.

A transformação de matéria orgânica em humos é realizada por micro-organismos como bactérias, principalmente do grupo actinomicetos e fungos. Porém, algas, protozoários, nematóides, vermes e agentes bioquímicos como enzimas, hormônios e vírus contribuem para a degradação da matéria orgânica durante o processo de compostagem, sendo que a diversidade e a população de cada agente dependem das condições existentes ou oferecidas durante o processo (PIRES, 2013).

Na compostagem, inicialmente, atuam micro-organismos que metabolizam o nitrogênio orgânico transformando-o em nitrogênio amoniacal e com o decorrer da decomposição, a amônia pode ser perdida por volatilização ou convertida à forma de nitratos, pela nitrificação, sendo este último fenômeno acidificante (OLIVEIRA, 2008).

Na primeira fase predominam as bactérias e fungos mesófilos, em seguida, com o aumento de temperatura, na fase termofílica os micro-organismos predominantes passam a ser as bactérias do grupo actinomicetos, outras bactérias e fungos termófilos. Após esta fase, quando a temperatura pode atingir 70 °C, a massa em compostagem retorna à fase mesófila, mais longa que a primeira, porém, com outra composição química, devido ao consumo de açúcares e amido. Na fase final, encontram-se protozoários, nematóides, formigas, vermes e o mais variado número

de insetos (BRUNI, 2005). Segundo Partanen *et al.* (2010), os principais grupos de bactérias no início do processo de compostagem são as bactérias mesofílicas que produzem ácidos orgânicos, tais como *Lactobacillus* spp. e *Acetobacter* spp. Mais tarde, na fase termofílica, bactérias Gram-positivas tais como *Bacillus* spp. e Actinobactérias, tornam-se dominantes.

Estudos recentes, utilizando métodos de biologia molecular têm revelado uma comunidade microbiana mais diversificada, incluindo bactérias do ácido láctico, espécies do gênero *Bacillus*, actinomicetos e algumas bactérias Gram-negativas (SCHLOSS *et al.*, 2003).

Schloss *et al.*, (2003) monitorando um experimento de compostagem descobriram que as sequências relacionadas com bactérias lácticas eram mais comuns durante as primeiras 60 horas e seqüências pertencentes aos organismos do gênero *Bacillus* eram mais comum entre 72 e 96 h. Notaram ainda que a temperatura aumentou de forma constante ao longo das primeiras 96 horas, o pH caiu após 12 h e aumentou após 60 h. Essas alterações estavam correlacionadas a mudança de sequências genéticas do gênero *Bacillus*, de bactérias lácticas e o retorno mais tarde para as sequências típicas do gênero *Bacillus*.

Eastwood (1952), citado por Chang & Hudson, (1967), mostrou que a compostagem da palha cortada de cevada atingiu uma temperatura de 64 °C no centro ao quinto dia de compostagem e não encontrou nenhuma evidência de fungos termófilos, mas apenas um fungo termotolerante (*Aspergillus fumigatus*) e assumiu que nesta fase de altas temperaturas os fungos no centro da massa de compostagem foram destruídos.

### **2.5.6 Aeração**

A compostagem deve ocorrer de forma aeróbia, pelo fato do oxigênio ser essencial ao metabolismo dos micro-organismos envolvidos. Sendo assim, segundo Herbets *et al.* (2005) a concentração de oxigênio na faixa de 5 a 15%, pode ser considerada ideal; 5% é o limite mínimo para que não ocorra o desenvolvimento anaeróbio na pilha. A escassez de oxigênio dentro da pilha conduz a um processo anaeróbio, que geralmente leva a uma acidificação do material, e o produto resultante se tornará um composto de baixa qualidade.

Segundo Jardim *et al*, (1995), na compostagem aeróbica, quanto maior for a exposição ao oxigênio da matéria orgânica, maior será a sua velocidade de decomposição. Num experimento conduzido por Sundberg (2005) constatou-se que o aumento das taxas de arejamento no início do processo resultou num aumento da atividade microbiana, aumento do pH e um produto de compostagem mais estável. Entretanto, Valente *et al*, (2009) afirmam que a atividade microbiana no interior da massa em compostagem ocorre na presença de quantidades muito reduzidas de oxigênio, sendo que a ausência de revolvimentos não é um fator prejudicial para o desenvolvimento do processo. Contudo, ele se faz necessário no caso da compostagem de resíduos líquidos, sendo utilizado para acelerar a evaporação do excedente de umidade. Neste caso, de acordo com os mesmos autores, caso a escolha de resíduos orgânicos que servirão de agentes estruturantes se faz necessário, devendo-se levar em conta a sua capacidade de absorção.

Se a taxa de arejamento é insuficiente, o oxigênio vai diminuir e a falta de oxigênio durante a compostagem irá resultar em condições anaeróbicas. Por outro lado, se a taxa de arejamento é demasiado elevada, a pilha de compostagem será arrefecida (RASAPOOR *et al.*, 2008).

Rasapoor *et al.* (2008), analisaram diferentes taxas de aeração no processo de compostagem e notaram que as taxas baixas e especialmente médias de aeração tiveram maiores impactos na obtenção de nitrogênio ideal no composto e temperatura ideal para o desenvolvimento do processo. A aeração necessária para o arrefecimento do composto é geralmente maior do que a aeração necessária para o suprimento de oxigênio (SUNDBERG, 2005).

O processo de aeração do composto pode ser feito revolvendo-se o material com pás carregadeiras ou máquinas especiais. Em pequenas unidades, este revolvimento pode ser feito à mão (JARDIN *et al*, 1995).

Energia, nutrientes e água são necessários para o crescimento microbiano, e a estrutura é essencial para o arejamento, o qual fornece oxigênio e arrefece o composto. Muitos sistemas de compostagem têm sido usados para o tratamento de diferentes tipos de resíduos, sob diferentes condições. Os sistemas comuns em larga escala incluem: sistema de leiras naturalmente gaseificadas (longas linhas com uma secção triangular); sistemas de aeração forçada; e sistemas de túneis (cilindros rotativos fechados), enquanto os sistemas de pequena escala incluem compostagem estática ou rotativa (SUNDBERG, 2005).

### 2.5.7 Granulometria

O tamanho das partículas a serem compostadas tem influência direta no tempo e na qualidade da compostagem, sendo responsável pelo movimento de líquidos e gases (PIRES, 2013).

A fração do resíduo deve proporcionar um suporte estrutural e uma superfície de contato muito favorável, criando espaços de ar livre no resíduo orgânico. Esse espaço livre permite a movimentação de moléculas de oxigênio na biomassa, assegurando que a taxa de atividade microbiana aeróbica não se torne impedida por uma fonte limitada de oxigênio (VIEIRA, 2013).

O processo de decomposição inicia-se junto à superfície das partículas, onde exista oxigênio difundido na película de água que as cobre, e onde o substrato seja acessível aos micro-organismos e às suas enzimas extracelulares. Como as partículas pequenas têm uma superfície específica maior estas serão decompostas mais rapidamente desde que exista arejamento adequado. As partículas devem ter entre 1,3 cm e 7,6 cm. Abaixo deste tamanho seria necessário utilizar sistemas de ar forçado enquanto que os valores superiores podem ser bons para pilhas mais estáticas e sem arejamento forçado. O ideal é que os materiais utilizados na compostagem não tenham dimensões superiores a 3 cm de diâmetro (OLIVEIRA et al., 2008). Partículas muito pequenas podem tornar a massa muito compacta, dificultando a aeração adequada (JARDIN et al, 1995).

O tamanho das partículas do resíduo também pode contribuir nas perdas de nitrogênio no processo. Em relação a esse aspecto, Barrington (2001) avaliou perdas de nitrogênio no processo de compostagem e constatou que as perdas de N por volatilização não foram afetadas pelo teor de umidade ou regime de arejamento, mas pela perda de C durante o processo de compostagem. O nível de C disponível no composto correlacionou-se pobremente com as perdas de N, sugerindo que o fator tamanho das partículas, afetou a disponibilidade de C.

O tamanho das partículas define a porosidade, a disponibilidade de oxigênio, a velocidade de clivagem das ligações carbônicas do resíduo, a área de superfície de contato para a fixação dos micro-organismos e a homogeneidade da biomassa como um todo (AGNEW, 2003 citado por VIEIRA, 2013).

A tabela abaixo apresenta de forma resumida as faixas ótimas dos fatores que influenciam o processo de compostagem.

Tabela 5. Faixas ótimas dos parâmetros físico/químicos que influenciam o processo de compostagem.

<b>Parâmetro</b>	<b>Abaixo</b>	<b>Ótimo</b>	<b>Acima</b>
<b>pH</b>	A velocidade de decomposição da matéria orgânica diminui.	A maioria das enzimas estão ativas na faixa de pH entre 4,5 e 9,5, possibilitando o crescimento de micro-organismos ativos no processo.	Limita o crescimento microbiano.
<b>Umidade</b>	A atividade biológica é inibida e a velocidade de degradação cai.	50 a 60%	Aglutinação de partícula e redução de espaços de ar na matriz em compostagem;  Limitação da disponibilidade de O <sub>2</sub> ;  Emissão de odores desagradáveis.
<b>Temperatura</b>	Degradação lenta do resíduo	55 a 60 °C  Rápida biodegradação;  Eliminação de micro-organismos patogênicos.	Temperaturas de 70 °C provocam volatilização de amônia;  Anula a ação de micro-organismos não termotolerantes.
<b>C/N</b>	Excesso de N será perdido como amônia causando odores desagradáveis	30/1	Desenvolvimento microbiano limitado devido a insuficiência de N para síntese de proteínas.

<b>Aeração</b>	Instalação de ambiente anaeróbico na pilha; acidificação do material; Limitação da atividade microbiana e exalação de odores desagradáveis.	5 a 15%  Aumento da atividade microbiana	Arrefecimento da pilha.
<b>Granulometria</b>	Torna a massa muito compacta e dificulta a aeração adequada.	1,3 a 3 cm	Menor área da superfície de contacto para fixação de micro-organismos.

Fonte: Adaptado de Valente *et al.*, 2011; Sundberg, 2005; Fernandes e Silva, 1996; Sanchuki, 2011; Oliveira *et al.*, 2008.

### 2.5.8 Produto Final da Compostagem

O composto é resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica do material orgânico por micro-organismos, transformando toda matéria prima em um produto mais estável. Segundo Fernandes & Silva, (1996), um composto é considerado maturado e pronto para uso quando ele pode ser estocado em grandes leiras, indefinidamente, sem criar condições de anaerobiose ou gerar calor, podendo ser aplicado em solos agrícolas sem efeitos negativos, devido a sua baixa relação C/N e pobre disponibilidade de carbono.

A maturidade do composto ocorre quando a decomposição microbiológica se completa e a matéria orgânica é transformada em húmus. O composto estabilizado, além de ter temperatura igual à ambiente, apresenta-se quebradiço quando seco, moldável quando úmido, não atrai moscas e não tem cheiro desagradável (FERNANDES & SILVA, 1996).

Oliveira *et al.*, (2008) afirmam que o resultado da compostagem é um composto normalmente escuro e de textura turfa, utilizado como condicionador de propriedades físicas e biológicas do solo, assim como, um composto fertilizante que fornece os nutrientes essenciais para o suprimento das plantas. Ele forma-se

durante a sucessão das fases ao longo do processo. Após a fase termófila, o composto está estabilizado, mas ainda não está maturado. Epstein (1997) citado por Fernandes & Silva, (1996), diferencia os dois últimos estágios de formação do composto, definindo *estabilização* como um estágio de decomposição da matéria orgânica, sendo função da atividade biológica, enquanto a *maturação* é uma condição organo-química do composto que indica a presença ou ausência de ácidos orgânicos fitotóxicos e presença de moléculas húmicas e pré-húmicas.

De acordo com Primo *et al.*, (2010), a riqueza de um adubo orgânico em nutrientes depende do material de origem e do processo de produção. Os adubos orgânicos, além de fornecerem nutrientes se destacam por seu significativo papel, isto é, pelo fornecimento de matéria orgânica visando melhorar as propriedades físicas e biológicas do solo. Neste caso, o efeito é o de condicionador do solo considerando-se a matéria orgânica um produto que melhora os atributos físicos do solo.

Garcia *et al.*, (1992) citados por Goyal, Dhull & Kapoor (2005) sugerem que no composto maduro o valor de CO<sub>2</sub>-C envolvido deve ser inferior a 500 mg de CO<sub>2</sub>-C por 100g do carbono orgânico total, pois maior evolução de CO<sub>2</sub> indica que o composto ainda não está estabilizado. A relação C/N em torno de 20 é indicativa da aceitabilidade da maturidade do composto (GOYAL, DHULL & KAPOOR, 2005).

Não existe um parâmetro singular que pode ser usado como um indicador confiável da maturidade do composto. O decréscimo da relação C/N pode ser considerado indicador confiável da maturidade do composto quando combinado com outros parâmetros tais como evolução de CO<sub>2</sub> do composto maduro, carbono solúvel em água e o teor de substâncias húmicas (GOYAL, DHULL & KAPOOR, 2005).

No geral, o produto final do processo de compostagem deve consistir em uma matéria orgânica homogênea, de cor escura e estabilizada, preferencialmente isenta de micro-organismos patogênicos e sementes de plantas invasoras. Este composto deve possuir macronutrientes assimilados em grandes quantidades pelas raízes das plantas tais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre, e micronutrientes absorvidos em menor quantidade pelas plantas tais como ferro, cobre, zinco, manganês, boro e outros (VIEIRA, 2013).

## 2.6 BALANÇO DE MASSAS

O balanço de massa é determinante para otimização dos parâmetros da compostagem. Permite fixar as proporções de combinação do resíduo com nutrientes que possibilitem maior ação microbiana no começo do bioprocessamento e a consequente aceleração da compostagem.

ANGNES (2012) determinou o balanço de massa do processo de compostagem, coletando amostras da biomassa nas leiras e enviou-as ao laboratório para realização das análises físico-químicas. O balanço de massa foi determinado a partir da quantidade que ingressou no sistema de compostagem, o que ficou retido na biomassa e o que foi perdido. A biomassa foi pesada no início e no final do experimento, porém para a determinação de seu peso intermediário foi utilizada a concentração de Fósforo (P). Considerando que o fósforo não sofre transformações durante o processo de compostagem e nem pode ser perdido na forma de gás. Para qualificar e quantificar o resíduo a ser processado Pereira & Fialho (2013), elaboraram o balanço de massas para a produção do fertilizante organocomposto. Neste caso, os autores recomendam que no balanço de massas sejam adicionados como fonte de matéria-prima, minerais de baixo teor, do tipo: fosfato de rocha, gesso agrícola, calcário, entre outros.

### 2.6.1 Fosfato de Rocha

A rocha fosfática promove maior atividade bacteriana, aumentando a sua taxa de reprodução, como também o seu metabolismo geral e a eficiência nos processos de utilização de nutrientes, como o fósforo (BRANCO, MURGEL & CAVINATTO, 2001).

Pereira & Fialho (2013) desenvolveram um processo de compostagem acelerado de resíduos sólidos, no qual obtiveram o composto estabilizado em 72h, mediante a aplicação de um complexo enzimático que incluía 2,5 % do complexo enzimático denominado Pulverbill® para a desodorização e esterilização prévia; 19% de Fosfato de rocha (fosforita de Cajati); 12,5% do complexo enzimático biocatalizador denominado Ecolix C.

Branco, Murgel & Cavinatto (2001), citam uma experiência de compostagem de matéria orgânica realizada na Índia, na qual folhas de grama e de árvores foram

adicionadas a esterco de gado nas proporções de 7.5:1, acrescentando uma parte de solo e 0,5 de composto bem fermentado. A essa mistura foram acrescentadas diferentes quantidades de rocha fosfática e o produto final deixado em processo de compostagem, tendo notado que a proporção de fósforo solúvel em ácido cítrico aumentou consideravelmente com adição da rocha fosfática, atingindo um máximo com 25% de rocha. Eles concluíram, porém, que a rocha fosfática, quando em proporção superior a 20%, exerce nítida ação inibidora sobre o próprio processo de compostagem, por exercer ação tóxica sobre a atividade microbiana quando em altas concentrações.

Matthur *et al.*, (1986) citados por GOMES (2001) revelaram em experiências que realizaram, que o processo de compostagem pode ser acelerado, para além da adição de fungos mesófilos celulolíticos (*Aspergillus niger*) e micro-organismos fixadores de azoto (*Azotobacter*), pela adição de micro-organismos solubilizadores de fosfato, juntamente com rocha fosfatada. Neste caso a inoculação não só reduz o tempo de compostagem como conduz à obtenção de um produto de melhor qualidade devido ao maior teor húmico final.

### **2.6.2 Calcário Dolomítico**

Segundo Gibson (2002), o calcário pode ser utilizado principalmente como fonte de Ca e Mg, em quantidades 1 a 2 % em relação ao peso seco (conteúdo de sólidos) dos resíduos orgânicos. Portanto, não deve ser utilizado em grandes quantidades, pois além de aumentar o custo, obtêm-se condições de alcalinidade, o que leva à perda de nitrogênio devido à volatilização na forma de amônia (NH<sub>3</sub>). Além disso, altera os níveis da população dos micro-organismos atuantes causando prejuízos ao processo. Na compostagem da fibra de coco verde para produção de mudas de tomateiro, Liz *et al.*, (2003) adicionaram 1,1 e 2,2 kg m<sup>-3</sup> de calcário e 0,6 g dm<sup>-3</sup> de uréia para acelerar o bioprocessamento.

### **2.6.3 Uréia**

A adição da uréia no processo da compostagem é determinante na otimização da relação C/N. Barretto *et al.*, (2002) observaram o efeito positivo da adição de uréia visando trazer a relação C/N inicial da mistura para valores entre 30

e 40:1. No experimento por eles realizado concluíram que a adição de N contribui na taxa de decomposição da matéria orgânica, expressa em perda de peso e na qualidade, expressa em teor de N e relação C/N, sendo que na proporção 4:1 houve um pequeno efeito da adição de N sobre os parâmetros avaliados e ao reduzir a quantidade de esterco, a adição de N permitiu a manutenção da qualidade química do composto na relação 8:1. Menegale *et al.*, (2012) na compostagem de palhiço de cana-de-açúcar, utilizaram uréia na proporção de 0,7kg para 100kg de substrato, para completar a quantidade de N necessária.

No processo de compostagem tradicional de aparas de grama desenvolvido por Benites *et al.* (2004), foram adicionados doses de nitrogênio (500 g de uréia), doses de fósforo (8 Kg de fosfato reativo de rocha) por cada pilha de 100kg de aparas de grama (em matéria seca).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 LOCAL DE PESQUISA

A pesquisa foi desenvolvida num alpendre de compostagem construído no Instituto de Ciências de Saúde (ICS), e no Laboratório de Biotecnologia e Ecologia de Micro-organismos no Departamento de Ciências da Biointeração da UFBA, com o apoio do Laboratório de Bioquímica dos Alimentos da Escola de Nutrição da UFBA; do Laboratório de Estudos de Petróleo da Faculdade de Geociências (LEPETRO) da UFBA e do Parque das Dunas.



Figura 1 Vista do alpendre onde são desenvolvidos os experimentos de compostagem no ICS.

Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 3.2 MATÉRIA-PRIMA

A matéria-prima utilizada é majoritariamente coco verde e pequena quantidade de poda de árvores verde provenientes da zona urbana de Salvador. As amostras de resíduos (cascas) de coco verde foram coletadas junto a uma unidade industrial de processamento de água de coco em Lauro de Freitas. O material foi selecionado com base no aspecto externo, sem nenhum indício de putrefação e que não tivesse atingido estado de maturação, no caso de coco verde e que não estivesse seco, no caso de poda de árvore.

### 3.3 COMPOSIÇÃO DOS EXPERIMENTOS

A pesquisa obedeceu a três etapas. A etapa I foi realizada no Parque das dunas e consistiu no teste do tamanho das partículas do resíduo e da efetivação da compostagem artificial. Na etapa II foram testadas concentrações de minerais usados na correção nutricional do resíduo e também foi feito o ajuste da umidade inicial do resíduo. Esta etapa consistiu de quatro experimentos. Na etapa III fez-se o teste da adição parcelada de uréia e também foi feita a inoculação com bactérias celulolíticas e com *Nitrosomonas*. Esta etapa foi composta por três experimentos.

A primeira etapa (Etapa I) do projeto foi desenvolvida no Parque das Dunas com finalidade de adequar a granulometria ideal do coco verde e avaliar o processo de compostagem de forma natural, isto é, sem a adição de micro-organismos nem complementação com minerais de baixos teores. Inicialmente foi montada uma leira com uma estrutura vertical de 50x50x60cm (largura, comprimento e altura) usando madeira de eucalipto para reduzir a influência na perda de umidade. Esta estrutura foi elaborada com um bom sistema de aeração para evitar a formação de ilhas de anaerobiose e conseqüente putrefação do resíduo. Em seguida foram triturados 25 cocos (cerca de 40 kgs). No primeiro experimento o coco foi triturado apenas uma vez, no segundo o coco foi submetido a uma segunda trituração e no terceiro, foi adicionado ao resíduo 10% de biomassa que se encontrava no estágio final de compostagem. A cada três dias era realizada a correção da umidade e respectivo revolvimento do resíduo.

Na segunda etapa (Etapa II) foram realizados quatro experimentos de compostagem. O primeiro foi constituído por 18 tratamentos e testou-se o efeito de diferentes concentrações de minerais de baixos teores e fonte de nitrogênio sobre o

resíduo de coco e mistura do resíduo de coco (70%) com poda de árvore (30%). No segundo experimento foram repetidos os tratamentos do primeiro experimento que apresentaram melhores resultados, mas desta vez, em todos os tratamentos o resíduo consistia da mistura do resíduo com poda de árvore e testou-se o inóculo prévio em alguns tratamentos. O terceiro experimento consistiu na compostagem de resíduo de coco misturado com poda de árvore na mesma proporção do experimento anterior, porém, com uma leira de volume maior (30 kg de resíduo). O quarto experimento foi realizado apenas com resíduo de coco no volume de 1 kg, mas com umidade otimizada no início da compostagem para valores de 60, 55 e 50%.

Na Etapa III, foram realizados três experimentos, sendo que o primeiro teve como finalidade avaliar a possibilidade da redução dos níveis de emissão de amônia mediante adição fracionada da uréia. Para o efeito, foram criados sete tratamentos com resíduo no volume de 1,5 kg com a seguinte distribuição de uréia em percentagem a cada 24 horas: 100; 50 – 50; 50 – 0 – 50; 50 – 25 – 25; 0 – 50 – 25 – 25; 30 – 25 – 25 – 20 e 25 – 25 – 25 – 25. No segundo experimento foi testada a inoculação de bactérias celulolíticas e *Nitrosomonas* no resíduo de cerca de 30 kgs visando avaliar a sua capacidade na aceleração da degradação do resíduo e redução de emissão de amônia, respectivamente. Foram inoculados 300 ml da cultura de bactérias celulolíticas e igual volume das *Nitrosomonas*. Das culturas inoculadas foram retiradas amostras para quantificar as bactérias através do número mais provável, cujo resultado revelou terem sido inoculadas  $2,4 \times 10^6$  NMP/ml e  $2,3 \times 10^6$  NMP/ml de bactérias celulolíticas e *Nitrosomonas*, respectivamente. Neste experimento, a uréia foi adicionada de forma fracionada considerando o tratamento do experimento I que apresentou melhor resultado. No terceiro experimento foram aplicados todos parâmetros avaliados desde a primeira etapa e que apresentaram melhores resultados. O volume do resíduo foi de 120 kgs de resíduo, incluindo 12 kgs de inoculação massal, uréia fracionada, enriquecimento com minerais e inoculação com bactérias celulolíticas e *Nitrosomonas*. O encerramento dos experimentos era decretado quando a temperatura do sistema decrescia progressivamente até estar em torno da temperatura ambiente em combinação com a ocorrência da cor escura e tamanho menor do resíduo.

A tabela abaixo apresenta de forma resumida a distribuição dos experimentos por etapas.

Tabela 06. Descrição dos experimentos realizados nas três etapas da pesquisa.

Etapa	Experimentos	Descrição
I Teste do tamanho das partículas do coco e da compostagem artificial	1	Coco verde triturado uma vez.
	2	Coco verde submetido à segunda trituração.
	3	Coco triturado duas vezes e inoculação massal.
II Teste das concentrações de minerais usados na correção nutricional e ajuste da umidade inicial do resíduo	1	Teste de diferentes concentrações de minerais e ureia adicionados ao resíduo.
	2	Repetição dos tratamentos do experimento anterior que apresentaram melhores resultados.
	3	Resultado satisfatório do experimento 02 repetido em volume maior (30kg de resíduo).
	4	Teste da otimização de umidade inicial do coco para 50, 55 e 60%.
III teste da adição parcelada de uréia e inoculação com bactérias celulolíticas e <i>Nitrosomonas</i>	1	Teste da adição fracionada de uréia.
	2	Adição fracionada de uréia e inoculação de bactérias celulolíticas e <i>Nitrosomonas</i> (30kg de resíduo).
	3	Adição fracionada de uréia e inoculação de bactérias celulolíticas e <i>Nitrosomonas</i> (120kg de resíduo).

Com a finalidade de favorecer o crescimento dos micro-organismos presentes no meio, aumentando sua taxa de crescimento e, conseqüentemente, a taxa de mineralização dos componentes orgânicos do substrato efetuou-se balanço de massa em todos os experimentos realizados a partir da segunda etapa, com minerais de baixos teores usando fosfato de rocha (1,95%), fosfato monobásico de potássio -  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (0,52; 1,15 e 2,3%), fosfato dibásico de sódio -  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  (0,57; 0,98 e 1,96%) e carbonato de cálcio -  $\text{CaCO}_3$  (0,32 e 0,64%) do peso total do resíduo de acordo com Vieira (2013). Também foi ajustada a relação C/N inicial para diferentes níveis, nomeadamente, 30/1; 23/1; 18/1 e 12/1, mediante a complementação com uréia nas seguintes percentagens: 2,09%; 3,03%; 4,6% e 7,8%, respectivamente. Adicionou-se também ao resíduo, micro-organismos

lioofilizados (1%) obtidos durante a produção de adubo a partir da compostagem da poda de árvore, inóculo prévio (2 e 5%) obtido da biomassa em compostagem e, nos dois últimos experimentos da etapa III, bactérias celulolíticas e *Nitrosomonas* isolados do resíduo em compostagem.

O processamento do material obedecia à seleção e coleta do resíduo, seguida da trituração de modo a obter fragmentos uniformes de menor tamanho. Posteriormente, o resíduo era pesado e colocado sobre uma bancada montada junto a estrutura, aonde era efetivada a complementação nutricional do resíduo. Os reagentes usados na complementação nutricional eram pesados e dissolvidos em água destilada contida num recipiente estéril. Em seguida a solução era colocada num borrifador e aplicada sob forma de “*spray*” no resíduo, em seguida o resíduo era misturado manualmente e distribuído para compostar em recipientes plásticos de polietileno com capacidade para 1500 ml (1,5kg do resíduo) e nas baias construídas no local cujo tamanho variava em função do volume do resíduo a ser compostado. A composição de cada tratamento consta do apêndice neste trabalho.



Figura 2. Máquina utilizada para triturar o resíduo de coco e poda de árvore.  
Fonte: Acervo pessoal do autor.

### 3.4 ANÁLISES FÍSICO/QUÍMICAS DO RESÍDUO DE COCO VERDE

Logo no início da primeira etapa foram realizadas análises de modo a determinar os parâmetros básicos do processo de compostagem, tais como umidade, carbono, nitrogênio e pH. As mesmas análises foram feitas sobre o composto de modo a identificar as suas propriedades, incluindo o teor de

macronutrientes (fósforo, potássio, nitrogênio, magnésio e enxofre) e micronutrientes (ferro, cobre, e manganês). As análises das propriedades do composto final foram realizadas com apoio do Laboratório de Estudos do Petróleo (LEPETRO) do Instituto de Geociências da UFBA para onde amostras do composto do experimento 3 da terceira etapa foram levadas.

#### **3.4.1 Determinação da Umidade**

A umidade do coco verde foi determinada de acordo com Amoedo & Muradian (2001). Deste modo, logo após a trituração do coco foi coletada uma amostra. Desta amostra foram pesadas 5g numa placa de porcelana e secas em estufa a 105 °C por três horas. As amostras foram Resfriadas em dessecador até a temperatura ambiente. Em seguida as operações de secagem, resfriamento e pesagem foram repetidas até peso constante. O teor de umidade foi determinado usando a seguinte fórmula:  $100 \times N / P$ , onde:

N – teor de água perdida na amostra;

P – peso da amostra.

#### **3.4.3 Determinação de Carbono Orgânico, Matéria orgânica, cinzas e Nitrogênio total**

O carbono orgânico foi determinado pelo método de incineração da amostra em forno tipo mufla proposto por Goldin (1987), trata-se de um método que consiste na determinação gravimétrica do CO<sub>2</sub> evoluído e, por conseguinte, na perda de massa de resíduo submetido à alta temperatura por certo intervalo de tempo. Para o efeito, foram pesados 5,0g do resíduo de coco nos cadinhos, em seguida o resíduo foi secado na estufa a 105 °C por 24 horas e imediatamente determinado o peso do resíduo após a secagem. O resíduo seco foi carbonizado na chama do bico de bunsen até acabar toda a fumaça e seguidamente foi acondicionado em forno do tipo mufla a temperatura de 550 °C, por 6 horas. Depois deste período o material foi esfriado no dessecador e depois pesado. O teor da matéria orgânica foi determinado em razão da perda de massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura de 105 °C a 550 °C, de acordo com a fórmula:  $MO (\%) = [(P - T - C) \times 100] / P$ , onde:

“P” = peso da amostra (g) depois de aquecida a 105 °C;

C = peso do recipiente (g); e

T = peso da cinza + recipiente (g).

De acordo com Jiménez & García (1992), o teor de carbono total de resíduos compostados pode ser determinado pelo método da mufla, bastando para isso que se utilize o fator de 1,8 para conversão de Matéria Orgânica.

O nitrogênio total foi determinado pelo clássico método de kjeldhal de acordo com Kiehl (1979) e Verdonck & Gabriels (1992). Estas análises foram realizadas no laboratório da Escola de Nutrição da UFBA. As determinações foram repetidas três vezes.

Para avaliar a evolução de carbono e nitrogênio ao longo do processo de compostagem, foram colhidas 15 amostras referentes aos respectivos dias de compostagem do segundo experimento da etapa III para determinação destes elementos.

### 3.5 MONITORAMENTO DO EXPERIMENTO

Parâmetros como temperatura, pH, umidade e emissão de amônia eram periodicamente monitorados. Com exceção do experimento 4 da segunda etapa cujo monitoramento era feito em dias alternados, o monitoramento era feito diariamente nos demais experimentos.

Para determinar pH da amostra eram colhidos cerca de 5 gramas do resíduo e colocados num tubo Falcon onde se adicionava 20ml de água destilada, homogeneizava-se por cerca de 60 segundos no agitador mecânico e aferia-se pH usando fita de pH ou pHmetro. A temperatura aferia-se introduzindo termômetro no centro da baia e lendo o valor registado depois de cerca de cinco minutos. No caso da baia de volume maior a temperatura era aferida em três pontos, no centro e nas extremidades.

A avaliação da umidade era feita observando o teor de água no interior da baia, sendo que caso se percebesse déficit de umidade era borrifada água destilada sobre o resíduo até que este ficasse ligeiramente úmida. No terceiro experimento da etapa II a determinação da umidade foi realizada por método gravimétrico tomando como base a perda de massa da amostra por dessecação até peso constante, de acordo com Amoedo & Muradian (2001).

A emissão de amônia era determinada através da percepção de cheiro liberado na amostra. A temperatura e umidade do ambiente eram determinadas usando termohigrômetro que era colocado no local de compostagem e cerca de 10 minutos depois se fazia a leitura dos respectivos valores registrados pelo equipamento. O monitoramento dos experimentos também incluía o reviramento do resíduo que acontecia depois de aferir a temperatura e depois de tirar as amostras usadas para determinação das análises necessárias.

### 3.6 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE MICRO-ORGANISMOS CELULOLÍTICOS, UREOLÍTICOS E NITRIFICANTES

Com objetivo de isolar e quantificar micro-organismos ureolíticos, nitrificantes e celulolíticos, foram coletadas amostras do resíduo no quinto dia da compostagem dos tratamentos 30, 32 e 33 do segundo experimento da etapa II. Nos dois últimos experimentos da etapa III as amostras eram coletadas diariamente até ao final do processo de modo a avaliar a evolução de bactérias celulolíticas através do número mais provável (NMP).

O preparo do inóculo foi feito obedecendo ao método sugerido por Silva *et al.*, (2007). Para tanto, colocou-se 25g da amostra em compostagem em sacos especiais do stomacher, onde se adicionou 225ml de solução tampão fosfato salino (PBS) 1X e a homogeneização era feita no Stomacher por 120 segundos. Em seguida, a amostra era filtrada e o filtrado foi utilizado como inóculo. Obedeceu-se a esta metodologia também para obter o inóculo prévio que foi inoculado nos experimentos.

### 3.7 NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA BACTÉRIAS UREOLÍTICAS

Foi preparado meio caldo uréia de Christensen, de acordo com Silva *et al* (2007), com a seguinte composição em g/l: 1,0 de peptona, 1,0 de dextrose, 5,0 de cloreto de sódio (NaCl), 2,0 de fosfato ácido de potássio (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), 20 de uréia e 0,012 de vermelho de fenol (6ml de solução 0,2%), pH 6,8. O meio foi em seguida distribuído em tubos de ensaio (10x160mm) em volumes de 9 ml. Uma vez preparado o meio, foram feitas diluições decimais em PBS 1x. Dessa forma, 1 ml de inóculo foi transferido para o tubo contendo solução PBS, obtendo-se assim a diluição 10<sup>-2</sup>, tendo em conta que a amostra já estava na diluição 10<sup>-1</sup>. A diluição 10<sup>-2</sup>

foi homogeneizada no agitador mecânico por 30s e transferiu-se 1 ml para outro tubo contendo solução PBS, obtendo-se assim a diluição  $10^{-3}$  e seguiu-se o mesmo procedimento até obter-se a diluição  $10^{-11}$ . Em seguida transferiu-se de cada diluição 1 ml de inóculo para os tubos contendo meio caldo uréia de Christensen. Foram inoculados três tubos para cada diluição e incubou-se a  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Após 24 horas de incubação iniciou-se a leitura, sendo que o crescimento de bactérias metabolizadoras de uréia foi comprovado pela viragem da cor original do meio para rosa devido à alcalinidade da cultura indicada pelo vermelho de fenol (indicador de pH).

### 3.8 ISOLAMENTO E NMP PARA BACTÉRIAS CELULOLÍTICAS

As bactérias celulolíticas foram cultivadas em meio sintético celulose adaptado de Nogueira e Cavalcanti (1996), com a seguinte composição em g/l: 3,0 de nitrato de sódio ( $\text{NaNO}_3$ ), 1,0 de sulfato de amônio [ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ ], 0,5 sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ), 0,5 de cloreto de potássio (KCl), 0,01 de sulfato de ferro heptahidratado ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) e 10,0 de celulose em pó. A adaptação consistiu do fato de que a composição original desse meio utiliza carboximetilcelulose (CMC) em lugar da celulose. As culturas usadas para inoculação no resíduo eram cultivadas em Erlenmeyer de 500ml contendo 225ml do meio sintético e 25 ml de inóculo e era incubado na estufa a  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 10 dias.

O NMP era feito em tubos múltiplos com diluição até  $10^{-10}$  contendo 9 ml de meio sintético celulose e 1 ml de inóculo e incubado na estufa a  $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ , sendo que para o experimento 3 da etapa III a incubação foi feita a  $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O crescimento de bactérias degradadoras de celulose foi comprovado pelo uso do corante 2,6 diclorofeno-indofenol (DCPIP) usado em situações similares por Oliveira (2009). A composição do corante é de 0,2g DCPIP em 30ml de água destilada e nesta solução eram adicionados ao tubo contendo meio de cultura e inóculo. A solução DCPIP tem coloração azul escuro e a leitura positiva para degradação da celulose foi observada pela descoloração do DCPIP, sugerindo sua oxidação pelas bactérias celulolíticas.

### 3.9 ISOLAMENTO E NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA *Nitrosomonas*

O número mais provável das *Nitrosomonas* foi determinado obedecendo a um método empregado na análise de solo por Alexander & Clark (1982) citado por Delgado (2009), que se baseia no princípio segundo o qual fornecendo um meio específico ocorre o crescimento de bactérias nitrificantes, podendo ocorrer o desenvolvimento de outras bactérias, mas as nitrificantes são as predominantes.

Foi preparado meio amônia-carbonato de cálcio no qual para 1000 ml de água destilada foram adicionados 0.302 g de  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ , 0.3 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , 3.33g de  $\text{CaCO}_3$ , 0.3 g de NaCl, 0.03 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ , 1 g de  $\text{K}_2\text{HPO}_4$ . O meio foi esterilizado por autoclave a 121 °C, sendo que o sulfato de amônio foi esterilizado por filtração e misturado assepticamente com os outros reagentes. O meio amônia-carbonato de cálcio foi distribuído nos tubos de ensaio no volume de 9 ml. Em seguida foram feitas diluições e respectiva inoculação obedecendo ao mesmo critério descrito no NMP das ureolíticas. As amostras foram incubadas a 28 °C por três semanas.

Paralelamente foram preparados dois reagentes, nomeadamente, Griess – Ilosvay e reagente de nitrato (solução de difenilamina). Estas soluções foram preparadas de acordo como descrito por Delgado (2009). As soluções que compõem o reagente Griess – Ilosvay foram acondicionados em frascos escuros e guardados sobre refrigeração e o reagente de nitrato foi conservado em frasco protegido da luz por no máximo 14 dias.

Após o período de incubação cada tubo era submetido ao teste de nitrito adicionando três gotas do reagente Griess – Ilosvay. Após alguns minutos caso ocorresse o desenvolvimento da coloração vermelho-púrpura, indicativo de nitrito, o tubo era considerado positivo. Caso não ocorresse o aparecimento dessa cor, tubo negativo, era feito o teste de nitrato, adicionando-se uma gota do reagente de difenilamina, se ocorresse o aparecimento de uma cor azul o teste era considerado positivo para *Nitrosomonas*, indicando que o nitrito produzido por elas foi convertido a nitrato pelas *Nitrobacter*.

Um volume maior de cultura foi preparado consistindo em colocar 25 g de resíduo em compostagem em saco próprio para o Stomacher contendo 225 ml do meio amônia-carbonato de cálcio. O saco contendo meio de cultura e resíduo foi homogeneizado no Stomacher por 90 segundos, em seguida retirou-se o

sobrenadante para um Erlen de 500 ml e foi incubado a 28 °C sob agitação de 125 rpm. Uma semana depois da incubação era retirados 3ml da cultura para fazer teste de nitrito usando o reagente Griess – Ilosvay. Foi por esse método que eram preparadas as culturas de *Nitrosomonas* que foram inoculadas no resíduo.

### 3.10 NÚMERO MAIS PROVÁVEL PARA *Nitrobacter*

Para quantificação de *Nitrobacter* foi aplicada a mesma metodologia proposta por Alexander & Clark, descrita no NMP das *Nitrobacter*. O meio de cultura utilizado foi nitrito-carbonato de cálcio com seguinte composição em g/l: 0,006 de nitrato de sódio (NaNO<sub>2</sub>), 1,0 de fosfato monobásico de potássio (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>), 0,3 cloreto de sódio (NaCl), 0,1 de sulfato de magnésio (MgSO<sub>4</sub>), 1,0 carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), 0,3 de cloreto de cálcio (CaCl<sub>2</sub>), 0,03 de sulfato de ferro heptahidratado (FeSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O).

Um volume de 9 ml de meio nitrito-carbonato de cálcio foi distribuído em tubos de ensaio contendo tubos de Durham, invertidos. Os tubos de ensaio contendo meio de cultura foram autoclavados a 121 °C por 15 minutos. Foram feitas diluições até 10<sup>-10</sup> e respectiva inoculação obedecendo ao descrito anteriormente. Os tubos inoculados foram incubados a 28 °C por 21 dias.

Depois do período de incubação os tubos foram submetidos ao teste com o reagente Griess-Ilosvay. Se a coloração avermelhada, característica de nitrito, se desenvolvesse, os tubos eram considerados positivos para *Nitrobacter* e, caso a coloração vermelha se desenvolvesse o resultado era considerado negativo.

Em todos os casos o número mais provável foi determinado com base na tabela proposta por Silva *et al.*, (2007).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados que se apresentam são referentes às atividades desenvolvidas de Outubro de 2013 a Dezembro de 2014. Em relação aos experimentos realizados no Parque das Dunas (Etapa I), o coco triturado duas vezes apresentou partículas de tamanho ideal para compostagem, compostou em 45 dias, 7 dias a menos que o resíduo triturado apenas uma vez, indicando que a trituração do coco aumentou a superfície específica e a área de contato com micro-organismos atuantes no processo. O terceiro experimento apresentou resultado melhor, tendo compostado em 35 dias, sugerindo que a biomassa no estágio final de compostagem adicionada ao resíduo aumentou a população microbiana e acelerou o processo.

### 4.1 RESULTADOS DAS ANÁLISES DAS PROPRIEDADES FÍSICO/QUÍMICAS DO RESÍDUO

#### 4.1.1 Umidade do Resíduo de Coco Verde

O resultado da determinação de umidade revelou a existência de maior teor de água no coco verde tal como pode ser visto na tabela abaixo.

Tabela 07 - Avaliação da umidade relativa do resíduo de coco verde.

Amostra	Placa vazia (g)	Massa úmida (g)	Pesagem 3(g)	Pesagem 4(g)	Massa seca (g)	Umidade relativa (%)	Médias (%)	
							Umidade	Massa seca
01	46,00	5,00	47.03	47.03	1.03	79,4750		
02	52,16	5,00	53.19	53.19	1.03	79,3300	79,43±0,12	20,57±0,12
03	53,40	5,00	54.43	53.44	1.02	79,4800		

#### 4.1.2 Composição Química da Matéria Seca do Coco

O carbono e Nitrogênio são elementos cruciais na proliferação microbiana ao longo do processo de compostagem. Sua determinação foi feita no Laboratório de Bioquímica dos Alimentos da Escola de Nutrição da UFBA e foi uma das atividades

iniciais que visou identificar a proporção em que estes elementos se encontram no coco verde. O resultado pode ser visto nas tabelas 8 e 9 que apresentam também o teor de matéria orgânica e cinza.

Tabela 8 – Teor percentual de matéria orgânica, carbono total e cinzas contidas no coco verde. Legenda: AS – Amostra seca; M. Org. – Matéria orgânica.

Amostras	Cadinho(g)	Cadinho <sup>(g)</sup> AS +	Cinzas + Cadinho <sup>(g)</sup>	Cinzas	M.Org.	Carbono	Médias		
							M.Org.	Carbono	Cinzas
01	27,881	28,948	27,897	1,50	98,49	54,71			
02	27,059	28,020	27,076	1,77	98,23	54,57	98,2±0,17	54,6±0,09	1,7±0,18
03	28,059	29,095	28,078	1,83	98,17	54,53			

Com base no resultado apresentado na tabela 8 percebe-se que o coco verde é muito rico em matéria orgânica que representa cerca de 98% da sua composição, sendo que a matéria inorgânica (cinzas) representa 1,7% e o teor de carbono total é de cerca de 55%. Comparando este resultado com os dados apresentados no capítulo II referentes à composição química do coco nota-se uma ligeira diferença. No entanto, a composição química da casca de coco depende de vários fatores que influenciam o crescimento da planta e a produção do fruto, entre os quais há a destacar a fonte, a época do ano e a quantidade de chuvas (PINO, 2005).

Tabela 9 - Teor de Nitrogênio contido no coco verde

Amostra	Peso de amostra (g)	Titulação HCl (ml)	Proteína (g)	Média	Nitrogênio (g)	Média (g)
01	0,125	0,900	6,426		1,028	
02	0,125	0,700	4,998	5,7±0,72	0,7998	0,91±0,12
03	0,125	0,800	5,712		0,9139	

Com base na composição química acima apresentada percebe-se que o coco verde tem teor de carbono relativamente alto e baixo teor de nitrogênio, passando a ter uma relação C/N de 60, que é elevada em relação à recomendada para a ocorrência do processo de compostagem.

A complementação do resíduo com uréia permitiu baixar a relação C/N do resíduo, tendo sido testados diferentes valores, sendo que a adição de 2,09% de uréia baixou a relação C/N para 30/1. Em um estudo de compostagem de quatro misturas diferentes preparados a partir de seis resíduos orgânicos feito por Sanchez-Monodero *et al.*, (2001), em uma das misturas adicionaram 1% de uréia para baixar a relação C/N do resíduo de bagaço de sorgo e casca de pinheiro, tendo constatado que este tratamento apresentou alto grau de nitrificação em comparação com os outros que não foram enriquecidos com uréia.

Os resíduos com relação C/N de 30/1 em combinação com os minerais de baixos teores nas concentrações de 1,15%; 1,96% e 0,32% para  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$ , respectivamente, apresentaram melhores resultados quando avaliados pela temperatura alcançada, aspecto físico e o tempo de compostagem. A suplementação do resíduo com os minerais supramencionados possibilitou o incremento de P, K, Na e Ca em 0,47%, 0,33%, 0,32% e 0,14%, respectivamente.

## 4.2 pH

As figuras abaixo apresentam valores de pH dos quatro experimentos realizados. Na figura 3A, que representa os resultados do experimento 1 da segunda etapa, pode-se perceber que 24 horas após o início da compostagem o pH subiu ligeiramente, apresentando ao longo do processo valores que oscilaram próximos de 8. Maiores oscilações nos valores de pH foram registrados no controle negativo, i.e., sem a adição de quaisquer nutrientes, cujas faixas de pH estavam de muito ácido até o 6º dia de compostagem, passando os valores de pH para 7 a 8 nos últimos quatro dias. Na Figura 3B, onde está representado o experimento 2 da etapa II, o pH baixou ligeiramente 24 horas depois do início da compostagem, tendo em seguida oscilado entre 7 e 8 ao longo do processo, com os tratamentos em que as temperaturas estavam na faixa de 29 a 33°C, chegando a atingir pH 9, em seguida caindo para cerca de 7 em praticamente quase todos tratamentos no último dia de compostagem. No experimento 3 (figura 3C) da etapa II, o pH manteve-se ácido nas primeiras 24 horas tendo depois subido para manter-se em torno de 8 ao longo da compostagem e decrescer ligeiramente no último dia. Já no experimento 4 da mesma etapa, figura 3D, o pH teve tendência crescente no início do bioprocessamento, tendo se mantido constante do meado até ao final da compostagem.

Já no experimento 2 da etapa III (figura 3E), o pH ácido, no início, foi registrando um crescimento contínuo nos primeiros seis dias, tendo se mantido em torno de 8,5 no meio do processo durante cinco dias. A partir do nono dia o pH começou a decrescer até se manter em 7 no fim do processo. No experimento 3 da terceira etapa (Figura 3E) o pH de 5 registrado no primeiro dia, atingiu o valor de 9 ao terceiro dia do processo, tendo decrescido para 8 ao quarto dia e manteve-se em torno desta faixa ao longo de quase todo processo, com pequenas oscilações para 9 no sétimo dia e para sete no décimo e décimo terceiro dias, tendo em seguida reduzido até 6,63 no fim do processo.

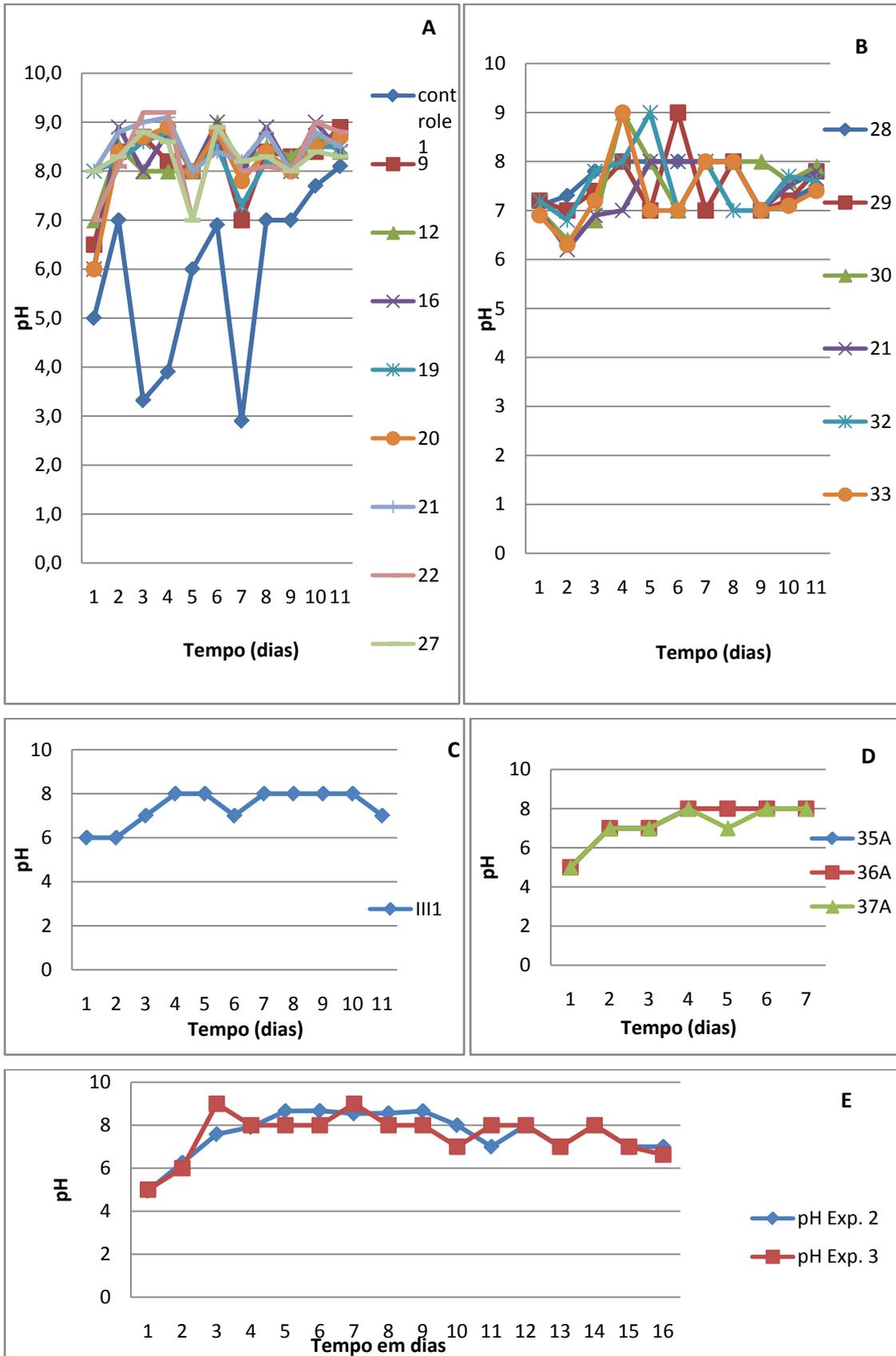


Figura 3 - Variação de pH nos experimentos da etapa II: A- experimento 1; B- experimento 2; C- experimento 3 e D- experimento 4; etapa III: E- Experimentos 2 e 3.

Como se pode notar, o pH não variou muito entre os tratamentos. Excetuando o controle negativo do experimento 1, o pH variou de 5 a 9. De modo geral, o pH registrou oscilações ao longo do processo, com tendência a crescer a partir do segundo e terceiro dias. Essa constatação coincide com a registrada por Schloss *et al.*, (2003) em experimentos de compostagem de restos de comida nos quais o pH mudou de 4.4 para 7.9 durante as primeiras 96 horas. Isso pode justificar-se pelo fato de neste período ocorrer a degradação de compostos orgânicos de fácil decomposição como proteínas que culminam com a liberação de amônia que eleva o pH do meio. No controle negativo do experimento 1, é possível perceber que o pH só começa a ter uma tendência crescente a partir do nono dia, o que pode sugerir uma demora na atividade microbiana, tendo em conta que nenhum estimulante da proliferação microbiana foi adicionado a este tratamento.

Quase todos os tratamentos apresentam pH relativamente alcalino, o que provavelmente pode ser devido aos minerais de baixos teores adicionados quando do balanço de massas, principalmente o enriquecimento feito com ureia. Sánchez-Monedero *et al.*, (2001), compostaram uma mistura de bagaço de sorgo com casca de pinheiro enriquecida com 1% de uréia, tendo constatado que a rápida hidrólise da uréia levou ao rápido aumento de pH em poucas horas, tal foi o que se verificou no experimento 3 da etapa III, onde o pH registrou valor de 9 no terceiro dia de compostagem. Nesse experimento, o pH manteve-se em torno de 8 até o décimo segundo dia do bioprocessamento, período no qual a temperatura do sistema estava entre 45 a 61°C (Figura 5E). Esta constatação coincide com o relato de Fernandes & Silva (1996), que explica que durante a passagem para a fase termofílica, o pH sobe de forma rápida como consequência da hidrólise de proteínas, culminando com a liberação de amônia que torna o ambiente alcalino, entre 7,5 a 9,0 durante a fase termofílica. Entretanto, os valores de pH registrados são considerados ideais ao processo de compostagem, pois situam-se na faixa exigida por micro-organismos que participam do bioprocessamento.

### 4.3 UMIDADE

A umidade interna só foi quantificada no experimento 3 da etapa II. O resultado está apresentado na figura 4, onde também pode ser vista a variação da umidade ambiente dos outros experimentos da segunda etapa. No geral, a umidade registrada nos experimentos foi elevada, apesar de que em alguns dias houve necessidade de aumentá-la através da adição de água nos tratamentos que apresentaram aspecto seco. No experimento 3, a umidade interna do resíduo durante o período de compostagem situou-se entre 66.6% e 76.2%, valores muito elevados se considerarmos que a faixa de 50% a 60% é citada como sendo a ideal para o bom andamento do processo. Embora não tenha sido adicionada água em nenhum dia no experimento 3, é possível notar que a umidade baixou e aumentou durante o período de compostagem, o que sugere que a umidade ambiente tenha influenciado bastante no elevado teor de umidade registrado, embora a umidade interna do coco verde por si já seja elevada, situando-se em torno de 79,43%. Uma tendência decrescente da umidade ao longo da compostagem seria aceitável dado que, tal como afirma Sundberg (2005), o gás remove água do composto em forma de vapor, fenômeno que desempenha um papel importante no arrefecimento da pilha quando atinge temperaturas muito elevadas.

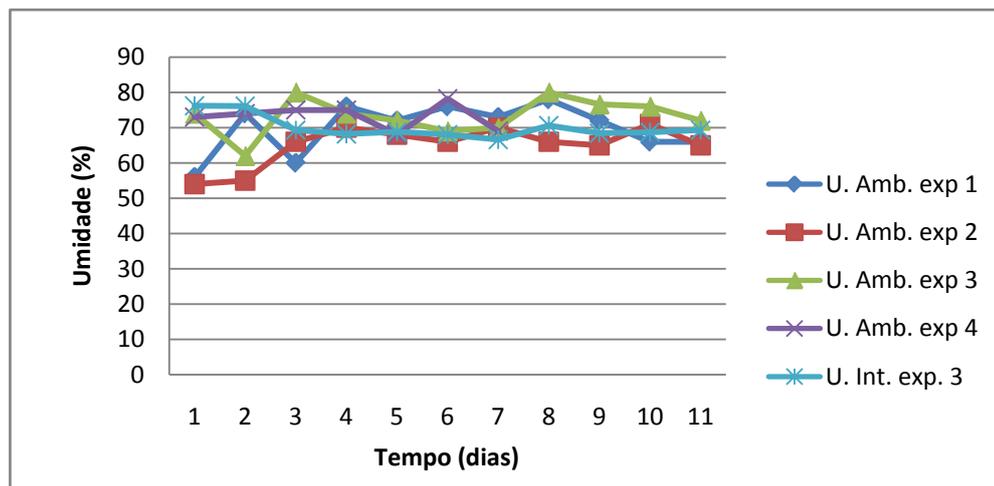


Figura 4: Variação da umidade ambiente (U. Amb.) dos experimentos (exp) 1, 2, 3 e 4; e umidade interna do experimento 3 (U. Int. exp. 3) da etapa II.

A umidade ambiente registrada durante a realização de todos os experimentos variou entre 55% e 80%, tendo se mantido durante grande parte do

processo em torno de 70%. A alta umidade também foi influenciada pela chuva que caía principalmente durante o monitoramento dos experimentos 3 e 4 da etapa II.

No quarto experimento realizado, no qual a umidade inicial foi otimizada, a variação da umidade durante a compostagem não foi quantificada, mas o aspecto físico do resíduo evidenciou que ao longo do processo o teor de umidade não excedeu o nível da umidade inicial, porém em alguns dias o resíduo aparentava estar seco, tendo havido necessidade de umedecê-lo. No entanto, o tratamento 35A cuja umidade inicial foi reduzida para 50%, foi o que apresentou melhor resultado da compostagem, visto que foi o que registrou temperatura relativamente mais alta e baixa emissão de amônia em relação aos experimentos em que a umidade inicial foi reduzida a 55 e 60%.

No experimento 3 da terceira etapa a umidade teve tendência a reduzir ao longo do processo, no entanto, se manteve na faixa ideal durante o curso da compostagem, não tendo havido necessidade de umedecer o resíduo. A umidade final do composto manteve-se em torno de 36,4%. O decréscimo da umidade neste experimento pode ser devido à elevada temperatura registrada durante a compostagem.

#### 4.4 TEMPERATURA

A temperatura teve uma tendência crescente nos primeiros dias em todos os experimentos da etapa II, exceto no experimento 4. No experimento 1, é possível ver (Figura 5A) que a temperatura atingiu o pico mais alto no terceiro dia de compostagem, com a temperatura máxima de 40 °C registrada no tratamento 26. O tratamento 27 apresentou a temperatura máxima de 37 °C e os tratamentos 11, 12, 24 e 25 registraram 35 °C de temperatura máxima. Esses valores decresceram no 5º dia, tendo se mantido próximo da temperatura ambiente até o último dia. No experimento 2 (figura 5B) a temperatura mais alta (36 °C ) foi registrada no segundo dia (tratamento 32) e os tratamentos 29, 30 e 31 registraram temperatura máxima de 35 °C. Vinte e quatro horas depois, a temperatura interna decresceu para valores próximos de 30 °C e manteve –se em torno da temperatura ambiente até o fim do processo.

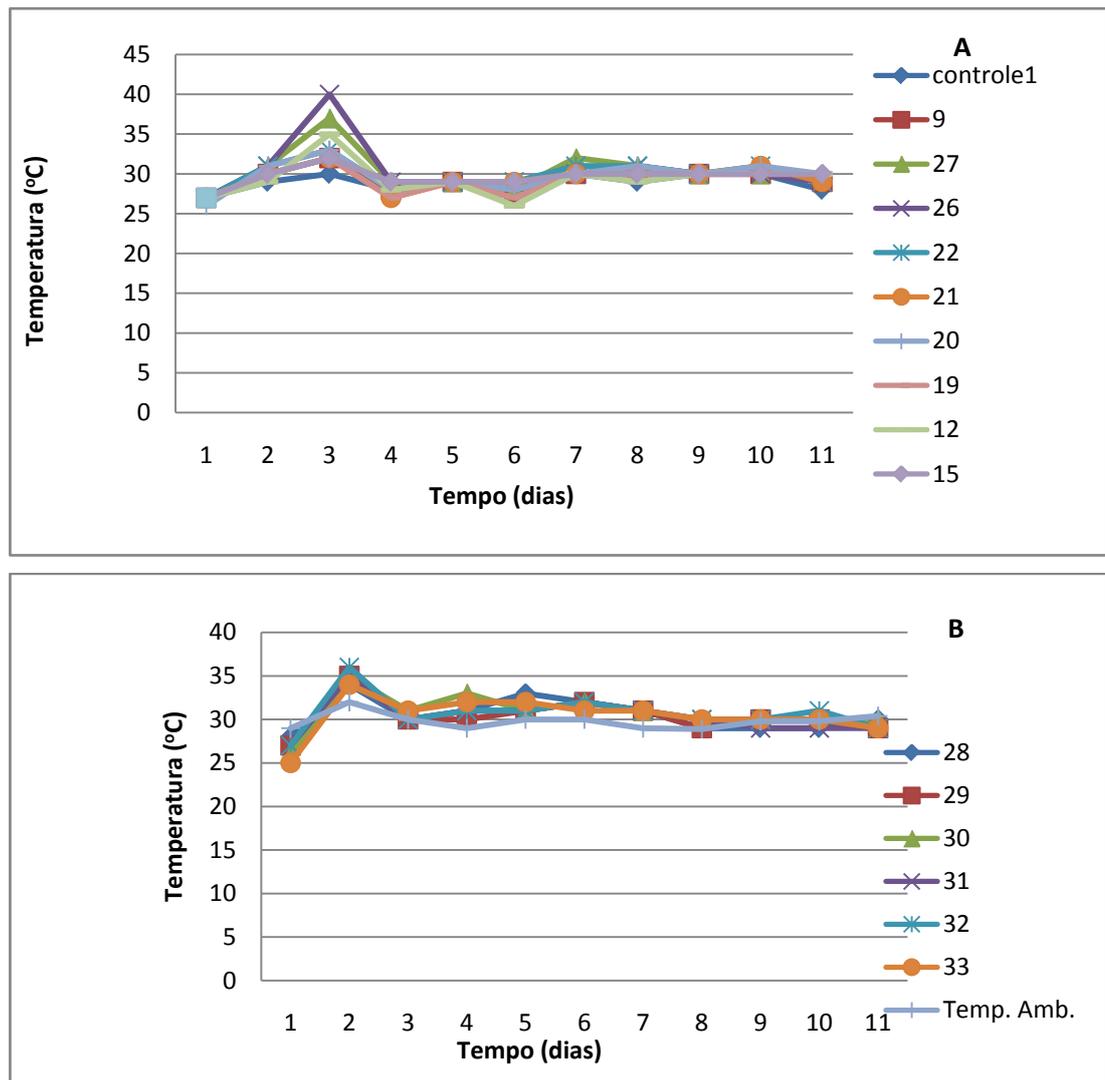


Figura 5 - Variações de temperatura interna nos experimentos da etapa II: experimento 1 (A) e experimento 2 (B).

No experimento 3 (figura 5.1C) a temperatura teve uma tendência crescente até ao terceiro dia, momento em que foi registrada a temperatura mais alta (38 °C) que se manteve por 48 horas e depois registrou um decréscimo progressivo até 30 °C no oitavo dia, seguido de um crescimento, uma pequena oscilação e um decréscimo progressivo. No entanto a temperatura interna neste experimento esteve acima da temperatura ambiente durante o processo todo. No experimento 4 (figura 5.1D), os tratamentos assumiram comportamento diversificado, tendo apenas mantido valores iguais nas primeiras 48 horas onde a temperatura não variou. No geral, em todos os tratamentos deste experimento a temperatura interna situou-se em torno da temperatura ambiente, sendo que os tratamentos 35A e 37A

registraram aumento da temperatura no último dia do monitoramento dos experimentos.

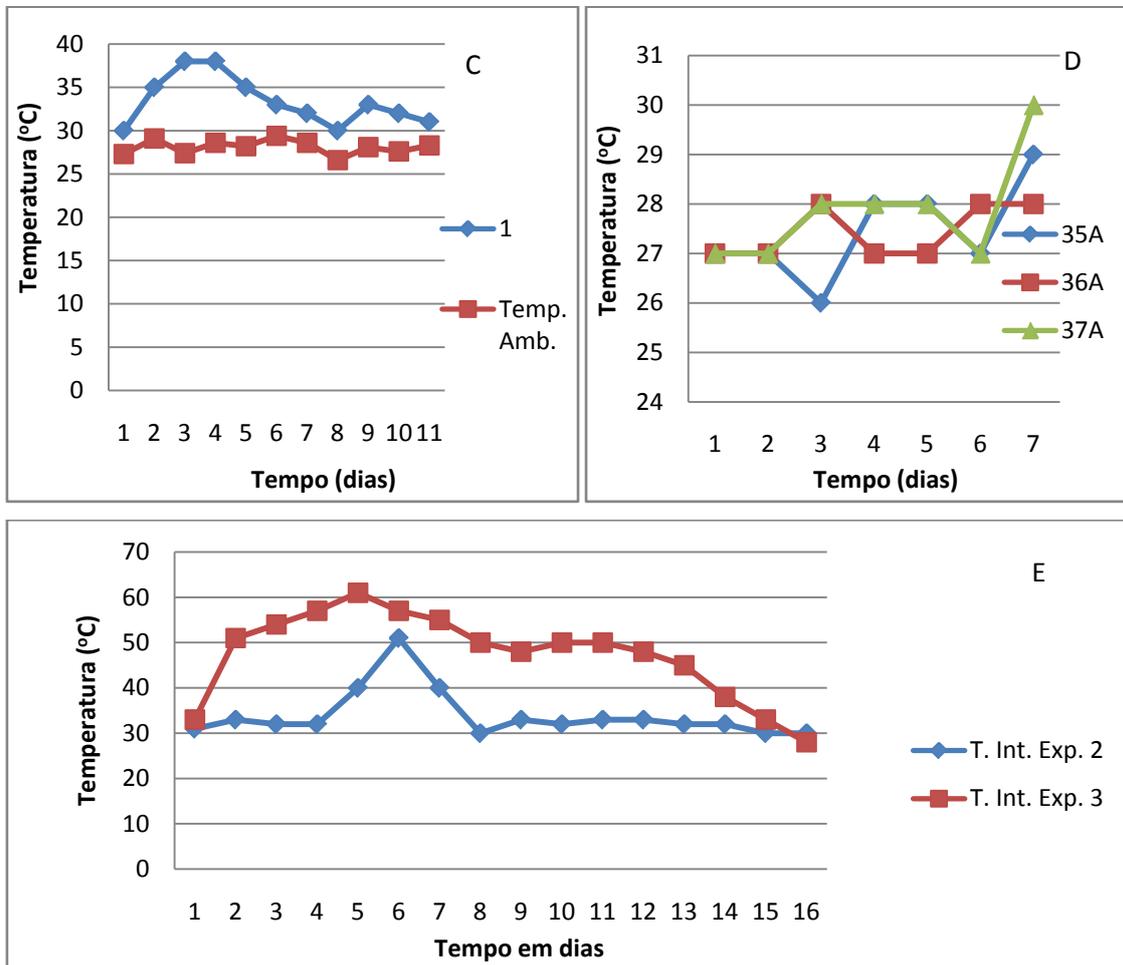


Figura 5.1. Variações de temperatura interna no experimento 3 (C) e experimento 4 (D) da etapa II e dos experimentos 2 e 3 (E) da etapa III.

Na etapa III (Figura 5.1E), o experimento 2 iniciou com a temperatura próxima da temperatura ambiente, em torno de 31°C, tendo se mantido nessa faixa por quatro dias, a partir daí, a temperatura registrou uma subida até 51°C e em seguida decresceu para valores próximos da temperatura ambiente até ao fim do processo. No experimento 3, cuja temperatura inicial foi de 33°C, registrou-se uma rápida subida a partir do segundo dia para 51°C, tendo atingido temperatura máxima de 61°C no quinto dia. A partir daí a temperatura baixou gradualmente, mas a fase termofílica se manteve até ao décimo terceiro dia, isto é, dos 16 dias de monitoramento do bioprocessamento, a temperatura variou entre 45 e 61°C do segundo ao décimo terceiro dias, sendo que nos dois últimos dias o sistema voltou a atingir valores da temperatura ambiente.

Em todos os experimentos da etapa II, apenas o tratamento 26 do experimento 1 atingiu a fase termofílica, no entanto esta fase apenas durou cerca de 24 horas. Em quase todos os experimentos a temperatura alta registrada baixou depois de 24 horas. Esse fato deve ser indicativo da ineficiência do processo visto que é na fase termofílica que ocorre a degradação de maior parte da matéria orgânica, principalmente do material lignocelulósico. No entanto, o experimento 3 apresentou um resultado relativamente melhor em comparação com os outros experimentos, pois além de ter conseguido manter a temperatura de 38 °C por 48 horas, também apresentou temperatura acima da do ambiente ao longo da compostagem, sugerindo que o volume da leira é um fator importante para o bom desenvolvimento da compostagem. Em relação a este aspecto, Valente *et al.*, (2009) afirmam que uma leira de compostagem deve ter um tamanho suficiente para evitar a dissipação de calor. De acordo com os mesmos autores, uma altura mínima de 0,80 m deve ser respeitada, abaixo da qual não existem condições adequadas para a formação e manutenção da temperatura.

Importa realçar também que, com exceção do experimento 4, os restantes experimentos registraram índice elevado de umidade interna, que foram agravadas pela chuva que caía durante a maior parte do período em que os experimentos da etapa II foram realizados e, conseqüentemente pela elevada umidade ambiente. Portanto, a umidade elevada registrada pode ter influenciado na ineficiência do processo que se reflete em não alcançar a fase termofílica. Oliveira (2008), afirma que quando a umidade é excessiva ocorre restrição da difusão de oxigênio devido à aglutinação das partículas, o que reduz a temperatura para faixas mesofílicas. Entretanto, apesar da umidade inicial ter sido otimizada no experimento 4 para 60% (37A), 55% (36A) e 50% (35A), este experimento foi o que se mostrou mais ineficiente, registrando temperatura não superior a 30 °C durante os 13 dias de compostagem. Contudo, o tratamento 35 (umidade inicial 50%) foi o que apresentou temperatura mais alta e melhor degradação em relação aos outros, considerando o aspecto físico apresentado pelo resíduo.

O pH baixo registrado no início da compostagem, no experimento 4, também pode ter contribuído para a baixa temperatura que se observou. Sundberg, Smars & Jonsson (2004), afirmam que o baixo pH inicial limita a atividade microbiana e atrasa o aumento da temperatura.

Resultado satisfatório foi alcançado na etapa III, onde no experimento 3, a temperatura atingiu o pico de 61°C (Figura 5.1E). O período de registro de temperatura máxima neste experimento coincide com o período no qual foi observada uma população maior de bactérias celulolíticas (Tabela 11), sugerindo que elas tenham contribuído na intensificação da degradação do resíduo neste período. Goyal, Dhull & Kapoor (2005), observaram atividade máxima de bactérias termofílicas nos primeiros 14 dias de compostagem tradicional, tendo relacionado esse fato com a predominância de bactérias termofílicas nesta fase.

O volume do resíduo também pode ter contribuído bastante na eficiência do experimento 3, avaliado pela temperatura alcançada, pois, experimentos com volume menor praticamente não atingiram a fase termofílica. De acordo com Tang *et al.*, (2007), a compostagem pode ser mesofílica durante todo o processo se o volume total não for suficientemente grande ou se o calor for removido por ventilação durante o processo. A inoculação é outro aspecto importante que deve ser considerado e que pode ter contribuído para que a fase termofílica neste experimento tenha sido mantida por um período relativamente longo, pois em um experimento de compostagem de bagaço de uva e palha de arroz feito por Lei & VanderGheynst (2000), no qual foi feita a complementação com 5% de composto prévio, constataram que essa inoculação fez aumentar o período de tempo em que a temperatura de compostagem permaneceu acima de 40°C. Estes autores entendem que o inóculo prévio possibilitou o aumento do nível de fontes de carbono degradáveis disponíveis para o crescimento microbiano. Importa lembrar que este experimento (3), além de ter recebido 10% de inóculo prévio, também foi inoculado com bactérias celulolíticas e *Nitrosomonas*.

#### 4.5 EMISSÃO DE AMÔNIA

A emissão de amônia não foi quantificada, no entanto foi possível perceber sua liberação através do cheiro. Houve liberação de amônia em quase todos os experimentos feitos, sendo que o cheiro era percebido a partir do terceiro a quarto dias e a intensidade era crescente até o oitavo ao nono dias, momento a partir do qual o cheiro decrescia até deixar de senti-lo por volta do décimo a 11º dias. Entretanto, no experimento com umidade inicial otimizada a intensidade do cheiro foi relativamente baixa e durou pouco tempo.

A emissão de amônia é considerada como indicador da atividade biológica em resíduo com alto teor de nitrogênio (PAGANS *et al.* 2005), contudo o resíduo de coco verde tem uma relação C/N elevada (60/1), provavelmente a uréia que foi adicionada para balanço de massas seja a responsável pela geração e volatilização da amônia. Uma combinação de fatores pode estar na origem da emissão de amônia. De acordo com Pagans *et al.* (2005), temperatura, pH e a concentração inicial de nitrogênio no resíduo são os mais importantes parâmetros que afetam o teor de nitrogênio emitido como amônia.

Segundo Beck-Friis *et al.* (2001) citados por Pagans *et al.* (2005), uma explicação possível para o padrão de emissões de amônia é que, na fase inicial de compostagem, a degradação das grandes quantidades de compostos orgânicos facilmente biodegradáveis com elevado teor de nitrogênio provoca uma libertação do gás amônia. Pelo contrário, no estágio final de compostagem, o nitrogênio está ligado a moléculas orgânicas complexas e nessa fase ocorrem os processos de humificação que impedem a liberação e volatilização de amônia.

Kirchmann & Witter, (1988) conseguiram reduzir significativamente a volatilização de amônia durante a decomposição aeróbia de esterco de galinha através da adição de sais de cálcio e magnésio, nomeadamente, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio. Durante todo o período de incubação, sendo que o  $MgCl_2$  reteve mais amônia do que  $CaCl_2$ .

Devido à emissão de amônia nos experimentos anteriores, a partir da etapa III a uréia foi sendo adicionada ao resíduo de forma fracionada, tendo sido testados diferentes intervalos de tempo no experimento 1. O tratamento cuja adição da uréia foi fracionada a 50% no instante inicial do processo (tempo 0 hora), 25% adicionados 24 horas depois, e os outros 25% adicionados às 48 horas do processo foi o que apresentou o melhor comportamento sensorial, ou seja, em nenhum dia foi sentido o cheiro de amônia. Este tratamento foi tomado como referência nos experimentos subseqüentes, nomeadamente, 2 e 3 da etapa III.

No experimento 2 o cheiro de amônia não se percebeu nos primeiros três dias, tendo se sentido cheiro moderado de amônia a partir do quarto até o nono dia e não mais voltou a sentir até ao final do processo. No experimento 3, um cheiro leve ao revirar foi sentido no terceiro dia, tendo se sentido de forma intensa nos dois dias subseqüentes e nos dois dias seguintes o cheiro foi moderado e nos dias restantes não era mais possível senti-lo.

As perdas de nitrogênio sob forma de amônia nos dois últimos experimentos, principalmente no experimento 3, foi devido possivelmente à fase termofílica. Esta constatação é sustentada por Sanchez-Monedero *et al.*, (2001), que afirmam que a amônia pode ser volatilizada e perdida quando o resíduo está a alta temperatura, com pH acima de 7,5. Nos seis dias consecutivos que se sentiu o cheiro de amônia no experimento II, tal só acontecia quando o resíduo era revolvido e o cheiro não chegou a ser intenso, isto provavelmente tenha acontecido porque o resíduo não chegou a se manter por mais de 24 horas na fase termofílica.

O pH básico favorece altas perdas de amônia. Ekinci, Keener & Elwell (2000), quantificaram perdas de nitrogênio amoniacal em pH ácido e alcalino tendo constatado que em pH de 8,3 a perda nitrogênio amoniacal foi 75% maior do que em pH de 6,6.

Nos nossos experimentos, no entanto, a perda de nitrogênio foi minimizada com a inoculação de *Nitrosomonas* e adição fracionada de uréia, podendo se afirmar que a liberação de amônia ocorrida nos experimentos 2 e 3 da terceira etapa são típicos do processo, pois durante as primeiras semanas de compostagem ocorrem altas concentrações de amônia como consequência da degradação intensa da matéria orgânica (SANCHEZ-MONEDERO *et al* (2001).

#### 4.6 QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS UREOLÍTICAS

Vinte e quatro horas depois do período de incubação fez-se a leitura dos tubos de ensaio inoculados para verificar a ocorrência de hidrólise da uréia e foi notória a viragem da cor do meio de cultura para rosa devido à elevação do pH indicado pelo vermelho de fenol presente no meio, sugerindo ter havido crescimento de bactérias ureolíticas em todas as três amostras que foram testadas como inóculo.



Figura 6. Número mais provável das bactérias ureolíticas: viragem de cor do meio para rosa como resultado da alcalinidade do meio indicado pelo vermelho de fenol.

Fonte: Acervo pessoal do autor.

A tabela abaixo mostra as diluições a partir das quais foram obtidas as combinações que permitiram quantificar essas bactérias. Os números sugerem a ocorrência de quantidades maiores dessas bactérias no resíduo em compostagem. Depois de 48 horas nenhum crescimento foi observado.

Tabela 10. Número mais provável de bactérias ureolíticas em três amostras extraídas dos tratamentos 30, 32 e 33 do segundo experimento da etapa II.

Amostra	Diluições			Combinação	NMP/ml
30	$10^{-9}$	$10^{-10}$	$10^{-11}$	3-1-1	$7.5 \times 10^9$
32	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	3-2-0	$9.3 \times 10^7$
33	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$	3-1-0	$4.3 \times 10^8$

A ocorrência em grande quantidade de bactérias ureolíticas pode estar associada ao fato do resíduo ter sido enriquecido com uréia para ajustar a relação C/N. CASSINI (2005), afirma que bactérias ureolíticas são facilmente isoladas do esterco ou solo enriquecido com solução contendo altas concentrações de uréia. Muitos micro-organismos possuem a enzima urease, responsável pela hidrólise da uréia, e um pequeno grupo de bactérias tem sido nomeado como bactérias da uréia, tais como micro-organismos esporulados do gênero *Bacillus* presentes em amostras de solo (CORTEZ, 2009).

#### 4.7 IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS NITRIFICANTES (*Nitrosomonas* e *Nitrobacter*)

Bactérias nitrificantes são geralmente quimiolitotróficas do solo. Têm um papel fundamental no ciclo do nitrogênio na terra e estão envolvidas na nitrificação, sendo indispensáveis na disponibilização de nitrogênio assimilável pelas plantas (DELGADO, 2009). A necessidade de isolamento destas bactérias se deveu ao fato de ter se constatado a emissão de altos teores de amônia durante o monitoramento dos experimentos. Entretanto na técnica de tubos múltiplos empregada para quantificar esses micro-organismos, o resultado dos testes foi negativo tanto para nitrito como para nitrato, sugerindo não ter ocorrido crescimento das *Nitrosomonas* e das *Nitrobacter*. O volume de inóculo usado (1ml para 9ml de meio) pode ter contribuído para o não crescimento destas bactérias. De acordo com Delgado (2009), as bactérias nitrificantes não são facilmente isoladas no laboratório pelo fato de terem um crescimento lento e por estarem em pequeno número no solo e em outros ambientes. Importa ressaltar também que o crescimento das bactérias nitrificantes é afetado pela queda do pH, ocasionado pelo consumo da alcalinidade ocorrida pela produção de  $H^+$  da reação de nitrificação. Em pH elevado, a amônia livre exerce inibição tanto das *Nitrosomonas* quanto das *Nitrobacter*.

As bactérias nitrificantes só cresceram quando a cultura foi efetuada com volume da amostra, mediante a homogeneização de 25g de resíduo em 225ml do meio amônia-carbonato de cálcio e incubação do filtrado sob agitação. O resultado do teste feito depois de 11 dias de incubação foi positivo para nitrito, sugerindo que as *Nitrosomonas* oxidaram amônia em nitrito.

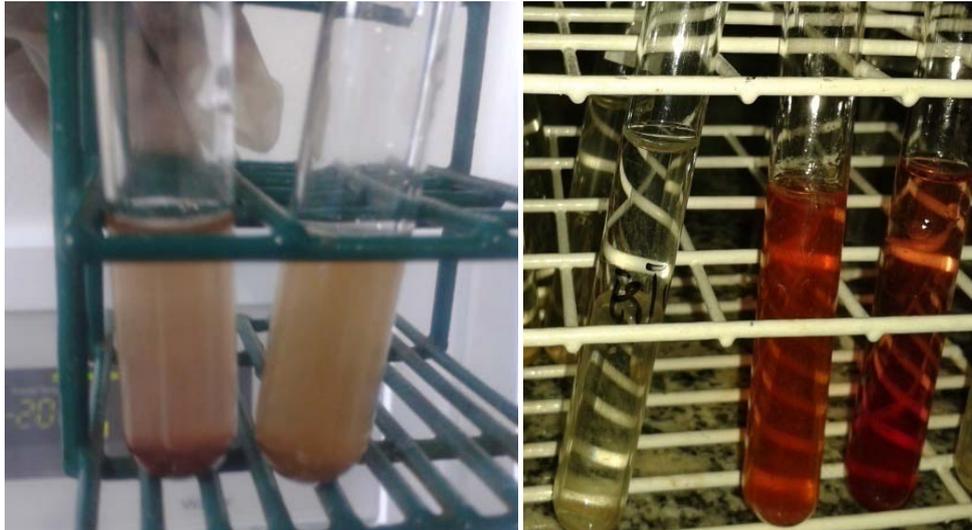


Figura 7. Teste de oxidação da amônia a nitrito pelas *Nitrosomonas*. Vermelho púrpuro após a adição do reagente Griess - Ilosvay indicando que o resultado foi positivo para nitrito (à esquerda – teste feito na cultura pura; à direita – teste feito após o repique).

O teste de produção de gás (nitrogênio gasoso) feito nos tubos múltiplos foi negativo tanto para *Nitrosomonas* como para *Nitrobacter*, de modo que a amônia está sendo oxidada até nitrato.

#### 4.8 ISOLAMENTO E QUANTIFICAÇÃO DE BACTÉRIAS CELULOLÍTICAS

O isolamento e quantificação de bactérias celulolíticas foram feitos na terceira etapa da pesquisa. Sua inoculação só foi feita nos dois últimos experimentos, juntamente com *Nitrosomonas*. As bactérias utilizadas como inóculo foram cultivadas em volume de 225 ml, tendo sido utilizado meio sintético com adição de 1% de celulose.

A técnica de tubos múltiplos utilizada na quantificação destas bactérias revelou ocorrência de população maior nos dois experimentos. O crescimento desses organismos foi revelado pela descoloração da cor azul escuro conferida ao meio de cultura pelo corante DCP – IP, sugerindo sua oxidação pelas bactérias. A descoloração parcial do meio indica que a degradação da celulose ocorreu de forma parcial.

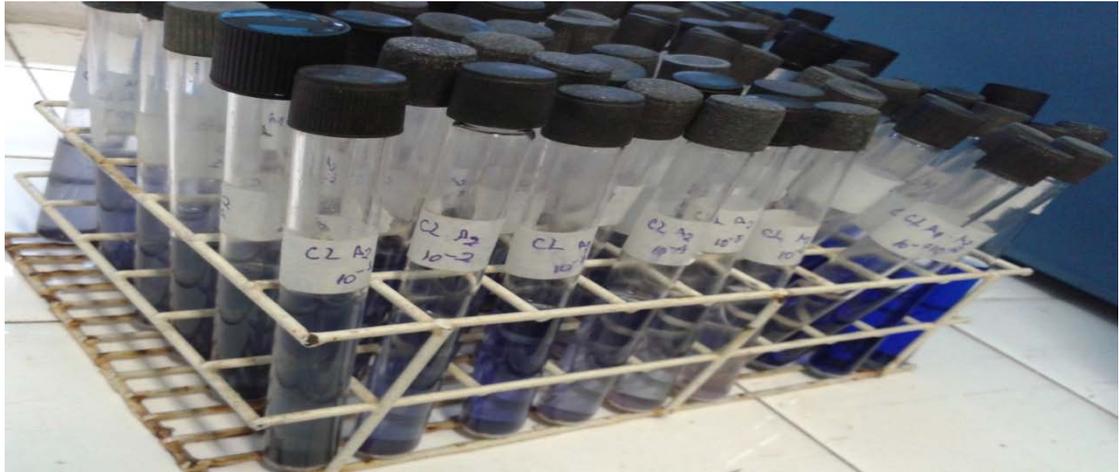


Figura 8. Resultado do NMP de bactérias celulolíticas. Descoloração do corante DCP - IP mostrando que as bactérias celulolíticas degradaram a celulose contida no meio de cultura.

O resultado do NPM é apresentado na tabela 11.

Tabela 11. Evolução de bactérias celulolíticas ao longo do processo de compostagem nos experimentos 2 e 3 da etapa III.

NMP celulolíticos	Experimento 2		Experimento 3	
	Combinação	NMP/ml	Combinação	NMP/ml
1º	3-3-0	$2,4 \times 10^5$	3-1-0	$4,3 \times 10^4$
2º	3-2-2	$2,1 \times 10^7$	3-2-0	$9,3 \times 10^6$
3º	3-3-0	$2,4 \times 10^7$	3-3-0	$2,4 \times 10^6$
4º	3-0-0	$2,3 \times 10^6$	3-3-0	$2,4 \times 10^6$
5º	3-2-2	$2,1 \times 10^7$	3-2-2	$2,1 \times 10^9$
6º	3-2-2	$2,1 \times 10^7$	3-3-2	$1,1 \times 10^{10}$
7º	3-3-0	$2,4 \times 10^8$	3-3-3	$\geq 2,4 \times 10^{10}$
8º	2-2-1	$2,8 \times 10^6$	3-3-3	$\geq 2,4 \times 10^{10}$
9º	3-3-1	$4,6 \times 10^6$	3-2-1	$1,5 \times 10^9$
10º	3-2-0	$9,3 \times 10^8$	2-2-1	$2,8 \times 10^8$
11º	3-0-1	$3,9 \times 10^6$	3-2-1	$1,5 \times 10^8$
12º	3-3-1	$4,6 \times 10^6$	2-2-1	$2,8 \times 10^8$
13º	3-3-0	$2,4 \times 10^7$	3-0-1	$3,9 \times 10^6$
14º	3-1-0	$4,3 \times 10^6$	3-2-0	$9,3 \times 10^6$
15º	3-1-0	$4,3 \times 10^6$	3-2-1	$1,5 \times 10^6$

Pelo resultado apresentado na tabela acima pode se perceber que houve uma tendência crescente das bactérias celulolíticas ao longo do processo de compostagem, sendo que o período em que se registrou a população mais alta, principalmente no experimento 2, coincide com a fase termofílica, que é a fase em que a atividade microbiana é intensa, no entanto, a população bacteriana decresceu na fase final do processo.

Num processo de compostagem em que os parâmetros básicos inerentes ao processo estão controlados é comum a ocorrência de elevados níveis da atividade de proteases, lipases e celulasas. Goyal, Dhull & Kapoor (2005), notaram aumento da atividade das celulasas ao longo da compostagem tradicional e foi máxima aos 30 dias e decresceu entre 30 e 60 dias. No caso do experimento 3 a população mais alta foi registrada ao sexto, sétimo e oitavo dias, portanto, muito mais cedo em relação ao constatado pelos autores supracitados, provavelmente isto seja devido à inoculação de bactérias celulolíticas e suplementação nutricional. Segundo Lei & VanderGheynst (2000), o gerenciamento do processo de compostagem através da adição de micro-organismos específicos pode ser uma alternativa para aumentar a velocidade de decomposição dos substratos.

A grande proliferação microbiana verificada nestes experimentos pode ter sido proporcional a alta degradação do resíduo. Goyal, Dhull & Koopr (2005), afirmam que as atividades da celulase e xilanase mostram que a celulose e hemicelulose são ativamente degradadas durante os primeiros 60 dias no caso da compostagem tradicional.

#### 4.9 AVALIAÇÃO DO COMPOSTO

A avaliação do composto foi realizada com apoio do Laboratório de Estudos de Petróleo (LEPETRO) do Instituto de Geociências da UFBA, para onde foi enviada uma amostra do resíduo compostado referente ao experimento 3 da terceira etapa por ser o que apresentou melhores resultados de todos os experimentos realizados. Foram feitas análises de macronutrientes (N, P, K, S, Mg e Ca), micronutrientes (Fe, Cu e Mn), relação C/N, carbono orgânico, pH, amônia e nitrato. Os resultados são apresentados a seguir.

##### 4.9.1 Macronutrientes

A tabela 12 mostra o resultado de macronutrientes do composto obtido depois de 16 dias de compostagem.

Tabela 12. Concentração de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, enxofre, cálcio e magnésio) contidos no composto de coco verde depois de 16 dias de compostagem.

Macronutriente	Unidade	Valor mínimo* (%)	Concentração	Porcentagem
Nitrogênio (N)	%	0,5	4,03	4,03
Fósforo (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	g/kg	1,0	39,75	3,975
Potássio (K <sub>2</sub> O)	g/kg	0,3	375,34	37,534
Enxofre (S)	%	-	0,57	0,57
Cálcio (Ca <sup>2+</sup> )	g/Kg	-	1,124	0,1124
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	g/kg	-	6,748	0,6748

\*Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)

Conforme pode se ver na tabela acima, os valores de macronutrientes estão acima dos mínimos estabelecidos pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) do Brasil de acordo com a Instrução Normativa DAS No. 25 de 23 de julho de 2009, sendo que o mesmo não informa as concentrações de enxofre, cálcio e magnésio. Em relação aos macronutrientes esta instrução apenas informa o valor mínimo de nitrogênio, sendo que para os restantes macronutrientes foram considerados valores atribuídos aos fertilizantes orgânicos.

#### 4.9.2 Micronutrientes

O resultado dos micronutrientes contidos no composto de coco verde obtido da compostagem biotecnológica deste resíduo pode ser visto na tabela 13.

Tabela 13. Micronutrientes (ferro, cobre e manganês) contidos no composto de coco verde.

Micronutrientes	Concentração (mg/Kg)	Porcentagem (%)	Limite Mínimo* (%)
Ferro (Fe <sup>2+</sup> )	379	0,0397	0,2
Cobre (Cu <sup>2+</sup> )	6,4	0,00064	0,05
Manganês(Mn <sup>2+</sup> )	18,1	0,0181	0,05

\* Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Conforme pode se ver na tabela 13, o teor de micronutrientes determinados (Ferro, cobre e Manganês) está abaixo dos mínimos estabelecidos pelo ministério da agricultura de acordo com a Instrução Normativa DAS No. 25 de 23 de julho de 2009, a qual apenas informa a percentagem mínima de micronutrientes em fertilizante orgânico, não informando a percentagem de micronutrientes exigida no composto orgânico.

#### 4.9.3 Umidade Final, pH, Carbono Orgânico e Relação C/N

Além de macro e micronutrientes também foram determinados teores de umidade final, pH, carbono orgânico e relação C/N do composto. A umidade foi determinada a 65 °C de acordo com a NBR 10006:2004. Os resultados podem ser vistos na tabela 14.

Tabela 14. Valores de umidade, pH, carbono orgânico e relação C/N contido no composto de coco verde.

Variável	Valor mínimo*	Valor Máximo*	Concentração	Percentagem (%)
C/N	-	20	9,0	-
C.O	15	-	36,4	36,4
U	-	50	26,92	26,92
pH	6,0	-	6,63	-

\* Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Os valores de umidade final, pH, carbono orgânico e relação C/N conforme a tabela acima, estão dentro do exigido pelo MAPA. O teor de umidade situa-se em torno de 26,9%, valor correspondente a classe A do organocomposto de acordo com o anexo III da instrução normativa DAS No. 25 de 23/07/2009 que considera 50% como sendo o valor máximo exigido. Este valor relativamente baixo de umidade pode ter sido devido a perdas de água no sistema quando a temperatura era alta.

O valor de pH ficou próximo de neutro, tendo se situado em torno de 6,63, no entanto este valor está acima do mínimo estabelecido pelo MAPA.

O valor de carbono orgânico foi de 36,4, evidenciando sua redução ao longo do processo dado que o teor inicial foi de 55, esta redução pode ter sido condicionada pelo elevado índice de lignina contido no resíduo compostado (VIEIRA, 2013). No entanto, o valor de carbono orgânico está no intervalo considerado ideal para o composto.

A relação C/N situou-se em torno de 9,0 estando abaixo do limite Máximo estabelecido pelo MAPA. A redução da relação C/N é esperada num processo de compostagem que decorre de forma equilibrada. Goyal, Dhull & Kapoor (2005) afirmam que à medida que a decomposição progride devido a perdas de carbono, principalmente sob forma de dióxido de carbono, o teor de carbono do material em compostagem diminui com o tempo e o teor de N por unidade de material aumenta o que resulta na diminuição da relação de C/N.

#### **4.9.4 Nitrogênio Inorgânico**

O resultado do nitrogênio inorgânico revela ocorrência de elevado teor de nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) que se situou em torno de 0,83% enquanto que o nitrogênio do nitrato (N-NO<sub>3</sub>) foi de 0,48%. A razão entre as formas inorgânicas de nitrogênio tem sido usada como critério para assegurar a maturidade do composto. De acordo com Sánchez-Monedero *et al.*, (2001), no fim do processo de compostagem a concentração dos nitratos deve ser alta em relação a de amônio, indicando que o processo está sendo preparado em condições adequadas de aeração. Segundo os mesmos autores, a alta concentração de amônio no composto indica a instabilidade e não pode exceder 0,04 em composto maduro.

A ocorrência da concentração elevada de N-NH<sub>3</sub> pode sugerir que fosse necessário mais tempo para que o composto se estabilizasse, pois, no composto é possível ver alguma fibra de coco não degradada conforme ilustrado na figura abaixo.



Figura 9. Amostras do composto de coco verde obtido no experimento 3 da etapa III.  
Fonte: Acervo pessoal do autor.

Amostras do resíduo em compostagem foram coletadas diariamente no experimento 2 da etapa III para determinação de carbono e nitrogênio de modo a avaliar o comportamento destes elementos ao longo do processo. O resultado é apresentado na figura 10.

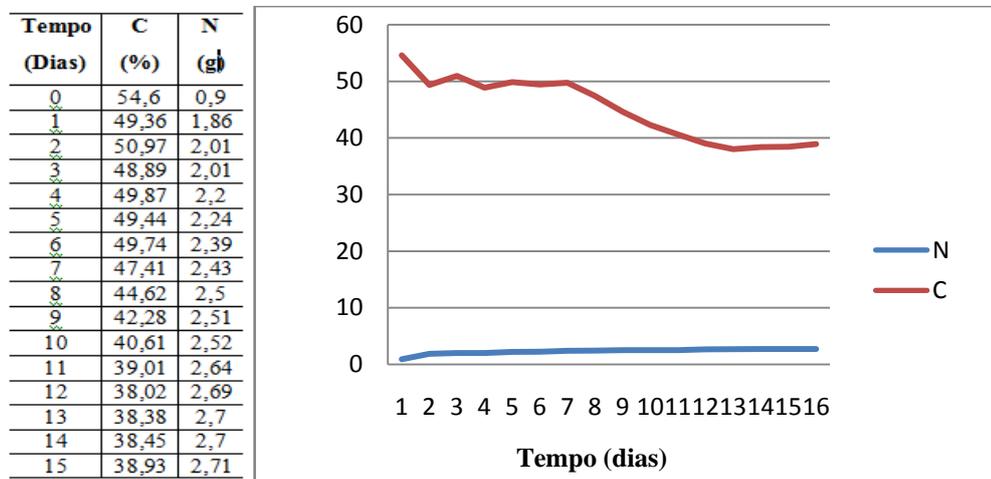


Figura 10. Evolução do carbono e nitrogênio ao longo da compostagem, experimento 2 da etapa III.

Conforme a figura acima, o carbono teve tendência decrescente, tendo baixado de 55 para 38,93 e o Nitrogênio aumentou de 0,9 antes do início do processo para 2,71 após a compostagem, o que resultou na respectiva redução da relação C/N de 60 para 14. O processo neste experimento foi quase que inteiramente mesofílico, tendo registrado temperatura máxima de 51°C que durou

não mais de 24 horas. Isso pode justificar a baixa degradação do resíduo verificada neste experimento em comparação com o experimento III, no qual a relação C/N fixou-se em torno de 9,0. Entretanto, nos dois experimentos, o enriquecimento com uréia contribuiu no decréscimo da relação C/N.

De modo geral, a compostagem de coco verde nos experimentos realizados ocorreu de forma parcial devido às características físico/químicas do próprio coco tais como elevado teor de fibra e umidade. Possivelmente o que ocorreu é a utilização do pó do triturado, ficando parte das fibras sem alteração. O último experimento foi o que apresentou resultado mais satisfatório, tendo atingido a temperatura máxima de 61 °C e se mantido na fase termofílica por mais tempo. Além do volume maior do resíduo, a inoculação e a suplementação nutricional condicionaram a melhoria do processo. A inoculação das bactérias celulolíticas e nitrificantes aumentou a degradação da fibra e reduziu perdas de amônia.

## 5 CONCLUSÃO

1. A mistura do coco verde com poda de árvores mostrou ser importante na manutenção duma estrutura não compacta na baía de compostagem e ajudou na manutenção da umidade no sistema;

2. A inoculação com bactérias isoladas do resíduo em compostagem e a correção nutricional aumentou a degradação do substrato, no entanto, a compostagem ocorreu de forma parcial devido ao alto teor de lignina na fibra de coco, levando a que as bactérias tenham preferência pelo pó do coco em detrimento da fibra;

3. O volume do resíduo mostrou ser determinante na manutenção do calor no sistema que, por seu turno, ajudou na eliminação de excesso da água sob forma de vapor evitando a ocorrência de umidade excessiva;

4. Este estudo abre boas perspectivas para compostagem acelerada de coco verde, tendo determinado os parâmetros básicos tais como correção nutricional e inoculação com bactérias celulolíticas e nitrificantes. Contudo, devem ser feitas mais pesquisas visando o aprimoramento do bioprocessamento;

5. Resíduo enriquecido com 1,15%; 1,96% e 0,32% para  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  e  $\text{CaCO}_3$  em combinação com 2,09% de ureia apresentou melhor resultado a avaliar pela temperatura atingida e pelo aspecto físico do resíduo.

6. O composto obtido apresenta elevada qualidade nutricional embora não esteja em condições de ser usado para ração devido à degradação incompleta da fibra;

7. A elevada concentração de potássio poderá abrir novos caminhos para o seu aproveitamento industrial;

8. O composto apresenta parâmetros químicos e físicos-químicos apropriados para ser utilizado como adubo segundo normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGAMUTHU, P. **Landfilling in developing countries.** *Waste Management & Research*, V. 31, n. 1, p. 1–2, 2013.

ANGNES, G. **Emissões de gases no processo de compostagem de dejetos suínos.** Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina. 2012.

ALMEIDA *et al.* **Unidades de Triagem e Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos.** Apostila para a gestão de municipal de resíduos sólidos urbanos. Paraná, 2012.

ALVES, W. L. **Compostagem e vermicompostagem no tratamento de lixo urbano.** Jaboticabal: FUNEP. 1996.

AMOEDO, L. H. G. e MURADIAN, L. B. A. **Comparação de Metodologias Para a Determinação de Umidade em Geléia Real.** *Quim. Nova*, V. 25, n. 4, p676-679, 2001.

BARRETTO, M. C. V.; JÚNIOR. C. R. A. B.; OLIVEIRA A. S. **Efeito do uso de aditivos minerais sobre a qualidade do composto orgânico.** 2002. Disponível em:

[http://www.fapitec.se.gov.br/Anais/ANAIS/Anais\\_fap\\_01\\_02\\_03\\_2001/trabalhos\\_pdf/efeito\\_uso\\_aditivosminerais.pdf](http://www.fapitec.se.gov.br/Anais/ANAIS/Anais_fap_01_02_03_2001/trabalhos_pdf/efeito_uso_aditivosminerais.pdf), acessado em 10/05/14.

BARRINGTON, S.; CHOINIERE, D.; TRIGUI, M.; WILLIAM, K. **Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses.** *Bioresource Technology*, V. 83, p. 189–194, 2001.

BENITES, V. M.; BEZERRA, F. B. MOUTA, R. O.; ASSIS, I. R. SANTOS, R. C.; CONCEIÇÃO. M.; ANDRADE, A. G. **Produção de Adubos Orgânicos a partir da Compostagem dos Resíduos da Manutenção da Área Gramada do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro.** 2004. Disponível em: [http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/bpd50\\_2004\\_adubos\\_organicos.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/bpd50_2004_adubos_organicos.pdf), acessado em 11/05/14.

BERNARDO J. **Uma proposta metodológica para a gestão de resíduos sólidos urbanos na África.** Recife, (2008). Disponível em <http://www.didinho.org/umapropostametodologicaparaagestaoderesiduossolidosurbanosnaafrica.pdf>, acessado em 10/05/14.

BRANCO, S. M.; MURGEL. P. H.; CAVINATTO. V. M. **Compostagem:** solubilização biológica de rocha fosfática na produção de fertilizante organomineral. Artigo técnico, Vol. 6 - Nº 3, 2001. Disponível em: <http://www.malavolta.com.br/pdf/fosforomurgel.pdf> , acessado em 08/06/2014.

BRÍGIDA, [A.I.S.](#); CALADO, [V.M.A.](#); GONÇALVES, [L.R.B.](#); COELHO, [M.A.Z.](#) **Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber.** *Carbohydrate Polymers*. V. 79, p. 832–838, 2011.

BRITO, N.M.; NAVICKIENE S.; POLESE, L.; JARDIM, E.F.G.; ABAKERL, R.B.; RIBEIRO, M.L. **Determination of pesticide residues in coconut water by liquid-liquid extraction and gas chromatography with electron-capture plus thermionic specific detection and solid-phase extraction and high-performance liquid chromatography with ultraviolet detection.** *Journal of Chromatography A*, 957, p. 201–209, 2002.

BRUNI, V. C. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados.** Dissertação de Mestrado, Paraná, 2005.

BUQUE, L. I. B. **Panorama da coleta seletiva no município de Maputo, moçambique:** sua contribuição na gestão de resíduos sólidos urbanos, desafios e perspectivas. Dissertação de mestrado, São Paulo, 2013.

ARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. **Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola.** *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 4, p. 533-535, Dezembro 2002.

CASSINI, S.T. **Biotecnologia ambiental.** Programa de pós-graduação engenharia ambiental – PPGEA / Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, 2005.

CHANG, Y. and HUDSON, H.J. **The fungi of wheat straw compost.. ecological studies.** *Trans. Br. mycol. Botany School, University of Cambridge*, p. 649-666, 1967.

CORRÊA, R. S.; FONSECA, Y. M. F.; CORRÊA A. S. **Produção de bio sólido agrícola por meio da compostagem e vermicompostagem de lodo de esgoto.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.11, n.4, p. 420–426, 2007.

CORTEZ, J. W. M. **Esterco de bovino e nitrogênio na cultura de rabanete.** Dissertação de Mestrado, São Paulo, 2009.

COUTH, R.; TROIS, C., **Cost effective waste management through composting in Africa.** *Waste Management*, v. 32, p. 2518–2525, 2012.

DELGADO, T. C. **Avaliação de bactérias nitrificantes em filtros biológicos submersos aerados.** Dissertação de mestrado, Rio Grande do Sul, 2009.

FERNANDES, F.; SILVA S. M. C. **Manual prático para a compostagem de bio sólidos.** 1996, disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>, acesso, 20 de Junho de 2014.

FERRÃO, D. A. G. **Avaliação da Remoção e Eliminação dos Resíduos Sólidos na Cidade de Maputo, Moçambique.** Dissertação de Mestrado, Durban, 2006.

GIBSON, C. P. **Compostagem orgânica**. 2002. disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad>, acessado em 25 de Maio de 2014.

GOLDIN, A. **Reassessing the use of loss-on-ignition for estimating organic matter content in noncalcareous soils**. Commun. Soil Sci. Plant. Anal, v.18, p. 1111-1116, 1987.

GOMES, A. P. D. **Fundamentos da compostagem de resíduos sólidos**. Tese de doutorado, Aveiro. 2001.

GOMEZ, A. **The evaluation of compost quality**. Trends in analytical chemistry, v. 17, n. 5, p. 310 – 314, 1998.

GONÇALVES, F.; RUIZ, A., H. A.; NOGUEIRA, C. C.; SANTOS, E. S.; TEIXEIRA, J. A.; MACEDO, G. R. **Comparison of delignified coconuts waste and cactus for fuel-ethanol production by the simultaneous and semi-simultaneous accharification and fermentation strategies**. Fuel, v. 131, p. 66–76, 2014.

GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais** - município de São Lourenço da Serra - SP: Compostagem e impacto ambiental. Tese de doutorado, São Paulo. 2001.

GOYAL, S.; Dhull, S.K., & Kapoor K.K. **Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity**. Bioresource Technology, v. 96, p. 1584–1591, 2005.

JARDIM, N. S. *et al.* (coord). **Lixo Municipal: Manual de gerenciamento integrado**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas: CEMPRE, São Paulo, 1995.

JERIS, J.S., REGAN, R.W. **Controlling environmental parameters for optimum composting**. 1975.

JIMÉNEZ, E.I. & GARCIA, V.P. **Relationships between organic carbon and total organic matter in municipal solid wastes and city refuse composts**. Biores Technol, v. 41, p. 265-272, 1992.

HAN, J. **Properties of non wood fibers**. 1998. Disponível em: <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1998/han98a.pdf>, acessado em 20 de Junho de 2014.

HENRY, R. K.; YONGSHENG, Z.; JUN, D. **Municipal solid waste management challenges in developing countries – Kenyan case study**. Waste Management, v. 26, p. 92–100, 2005.

HERBETS *et al.* **Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos**. 2005. Disponível em: <http://periodicos.univille.br/index.php/RSA/article/download/68/111>, acessado em 21 de Junho de 14.

HOGUANE, A. M. **Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique**. Revista de Gestão Costeira Integrada, v. 7, n. 1, p. 69-82, 2007.

KIEHL, E.J. **Manual de Edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ed. Agron. Ceres Ltda, 1979. 262 p.

KIRCHMANN, H.; WITTER E. **Effects of addition of calcium and magnesium salts on ammonia volatilization during manure decomposition**. Plant and Soil, v. 115, p. 53-58, 1988.

Lei, F. & VanderGheynst, J.S. **The effect of microbial inoculation and pH on microbial community structure changes during composting**. Process Biochemistry, v. 35, p. 923–929, 2000.

LIZ, R. S.; VIDAL, M. C.; CARRIJO, O. A. **Enriquecimento com calcário e tempo de compostagem da fibra de coco verde sobre a produção de mudas de tomateiro**. 2003. Disponível em: [http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/44\\_379.pdf](http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/44_379.pdf), acesso em 28 de Maio de 2014.

MAGALHÃES, V. H. P.; FERNANDES, M. A.; NEVES, S. **Utilização do pericarpo de coco verde (*Cocos nucifera* L. -Arecaceae) para a remoção de resíduos de íons cromo (VI) em soluções aquosas**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, 2011.

MENEGALE, V. L. de C.; LEÃO, A. L.; FILHO, H. G.; MENEGALE, M. L. de C. **Resíduos Agroindustriais Para Enriquecimento de Fertilizante Orgânico**. Revista Energia na Agricultura ISSN, p. 1808-8759, 2012.

MANIOS T. **The composting potential of diferente organic solid westes**. Experience from the island of craté. Environment International, v. 29, p. 1079– 1089, 2004.

MATTOS, A. L. A.; ROSA, M. F.; CRISÓSTOMO, L. A. BEZERRA, F.C. CORREIA, D.; VERAS, L. G. C. **Beneficiamento da casca de coco verde**. 2006. Disponível em: [http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo\\_3830.pdf](http://www.ceinfo.cnpat.embrapa.br/arquivos/artigo_3830.pdf), acesso em 11 de Junho de 2014.

McCLENDON, R.W. Das, K.C.; LIANG, C.; **The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of abiosolids composting**. Bioresource Technology, v. 86, p. 131–137, 2002.

MEIRA, A. M. CAZZONATTO, A. C.; SOARES, C. A. **Manual Básico de Compostagem**. 2009, disponível em: [file:///C:/Users/Pedro/Downloads/Apostila%20Compostagem%20AMPLIADA\\_d2012.pdf](file:///C:/Users/Pedro/Downloads/Apostila%20Compostagem%20AMPLIADA_d2012.pdf), acesso em 18 de Junho de 2014.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA)**. Instrução Normativa Número 25 de 23 de Julho de 2009. Capítulo II, Secção II e anexo III.

**MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA).** Norma brasileira numero 10004 de 30 de novembro de 2004. Anexo F, 68p.

MIYATAKE, F.; IWABUCHI, K. **Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure.** *Bioresour Technol*, p. 961-5, 2005.

MOLLA, A.H., Fakhru-Razi, A., Abd-Aziz, S., Hanqfi, M.M., Roychoudhury, P.K., and Akan, M.Z., *Bioresour. Technol*, v. 85, n. 3, p. 263–272, 2002.

MONTEIRO, R. A. **Avaliação do potencial de adsorção de U, Th, Pb, Zn e Ni pelas fibras de coco** Dissertação de Mestrado em Ciências, São Paulo, 2009.

MOSCA, J. **Porque é que a produção alimentar não é prioritária? 2012.** Disponível em: [http://pascal.iseq.utl.pt/~cesa/templatés/cesa/imagens/OMR\\_WP1.pdf](http://pascal.iseq.utl.pt/~cesa/templatés/cesa/imagens/OMR_WP1.pdf), acesso em 11 de Junho de 14.

MOURA, G. A. **Biodigestor para compostagem acelerada com emprego de oxigênio puro.** PI 94023-9 dep. INPI em 29 de Abril de 1994, 1994.

NEKLYUDOV, A. D., FEDOTOV G. N. and IVANKIN, A. N. **Intensification of Composting Processes by Aerobic Microorganisms: A Review.** *Applied Biochemistry and Microbiology*, v. 44, n. 1. p. 6–18, 2008.

NOGUEIRA, E. B. S.; CAVALCANTI. M. A. Q. **Cellulolytic fungi isolated from processed oats.** *Revista de Microbiologia*, São Paulo, v. 5, p. 7-9, 1996.

OLIVEIRA, E. C. A.; SARTORI, R. H.; GARCEZ, T. B. **COMPOSTAGEM.** Universidade de São Paulo. 2008. Disponível em [http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem\\_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Compostagem_000fhc8nfqz02wyiv80efhb2adn37yaw.pdf), acesso em 18 de Junho 2014.

OLIVEIRA, N. C. **Seleção de micro-organismos com potencialidades para biorremediação de ambientes contaminados com hidrocarbonetos de petróleo e/ou derivados.** Dissertação de mestrado, Goiás, 2009.

OLIVEIRA, V. R.; FREIRE F. M.; VENTURIN, R.; CARRIJO, O. A.; MACARENHAS, M. H. T. **Caracterização química de substratos para produção de hortaliças.** 2002. Disponível em: <http://www.abhorticultura.com.br/biblioteca/arquivos/Download/Biblioteca/cpna2002c.pdf>, acesso em 15 de Junho 2014.

PAGANS, E., Barrena, R., Font, X., SA´NCHEZ, A. **Ammonia emissions from the composting of different organic wastes.** Dependency on process temperature. *Chemosphere*, v. 62, p. 1534–1542, 2005.

PARTANEN, P.; HULTMAN, J.; PAULIN L.; AUVINEN, P.; ROMANTSCHUK, M. **Bacterial diversity at different stages of the composting process.** *BMC Microbiology*, 2010.

PARROT, L.; SOTAMENOU, J.; DIA, B. K. **Municipal solid waste management in Africa: Strategies and livelihoods in Yaoundé, Cameroon.** Waste Management, v. 29 p. 986–995, 2008.

PEREIRA, L. A. A. & FIALHO, M. L. **Gestão da sustentabilidade: Compostagem otimizada em resíduos sólidos orgânicos com a utilização de metodologia enzimática na implantação de uma usina de compostagem de lixo no município de Santa Juliana/MG.** Int. J. Knowl. Eng. Manage., ISSN, Florianópolis, v. 2, n. 2, p. 52-85, 2013.

PEREIRA NETO, J. T. **Um sistema de reciclagem e compostagem, de baixo custo, de lixo urbano para países em desenvolvimento.** Viçosa, MG. UFV. 1995. 16p. (Conselho de Extensão, UFV. Informe Técnico, 74).

PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** Tese de doutorado, São Paulo, 1999.

PIRES, C. S. **Tratamento dos resíduos orgânicos como cumprimento da política nacional de resíduos sólidos: Análise dos planos municipais da bacia do alto Tietê.** 2013.

**Política Nacional de Resíduos Sólidos.** Lei 12.305 de 02 de Agosto de 2010. Artigo 19, 22p.

PRIMO, D. C.; FADIGAS, F. S.; CARVALHO, J. C. R.; SCHMIDT, C. D. S.; FILHO, A. C. S. B. **Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.14, n.7, p. 742–746, 2010.

RASAPOOR, M. NASRABADI, T.; KAMALI, M. HOVEIDI, H. **The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method.** Waste Management, v. 29, p. 570–573, 2008.

RICHARD, T. L.; HAMELERS, H.V.M.; VEEKEN, A.; SILVA, T. **Moisture Relationships in Composting Processes.** Compost Science & Utilization. v. 10, n. 4, p. 286-302, 2013.

ROBERTO, L.S. **Processo para preparação de Fertilizante Organomineral a partir de uma ampla série de resíduos orgânicos.** BRPI9803631-9, Dep. INPI, 1998.

ROSA *et al.* **Utilização da Casca de Coco como Substrato Agrícola.** 2002. disponível em: [http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5794/Documents\\_52.pdf?sequence=1](http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/5794/Documents_52.pdf?sequence=1), acesso em 16 de Junho de 2014.

SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A.; PAREDES, C.; BERNA, M. P. **Nitrogen Transformation During Organic Waste Composting by the Rutgers System and Its Effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures.** Bioresource technology v. 78, p. 301-308, 2001.

SANCHUKI, C. E. **Estudo da Compostagem Acelerada de Cama de Frango**. Dissertação de mestrado. Paraná, 2011.

SANTOS, G. dos. **Utilização de resíduos agroindustriais para produção de amiloglucosidade por *Aspergillus awamori***. Dissertação de mestrado. Ponta Grossa, 2006.

SCHLOSS, P.D.; HAY, A.G.; WILSON, D.B.; WALKER, L.P. **Tracking temporal changes of bacterial community fingerprints during the initial stages of composting**. FEMS Microbiology Ecology. v. 46, p. 1–9, 2003.

SEADON, J.K. **Integratéd waste management** – Looking beyond the solid waste horizon. Waste Management, v. 26, p.1327–1336, 2006.

SILVA, G. G.; SOUZA, D. A.; MACHADO, J. HOURSTON, C., D. J. **Mechanical and Thermal Characterization of Native Brazilian Coir Fiber**. Journal of Applied Polymer Science, v. 76, n. 7, p. 1197–1206, 2000.

SILVA, N.; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A. **Manual de análise microbiológica de alimentos**. São Paulo, 1997. 207p.

SILVA *et al.* **Avaliação de Diferentes Estruturas de Compostagem**. Anais - 4o Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos – FATÉC, Jahu, p. 320 – 328, 2000.

SILVA, F. A. M.; GUERRERO, L. F. VILLAS, B. R. L.; SILVA, R. B. **Transformação da matéria orgânica em substâncias húmicas durante a compostagem de resíduos vegetais**. Rev. Bras. de Agroecologia, v. 4, n. 1, p.59-66, 2009.

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

SUNDBERG, C. **Improving Compost Process Efficiency by Controlling Aeration, Temperature and pH**. Tese apresentada a Universidade Sueca de Ciências Agrícolas como requisito para aquisição de grau de Doutor, Uppsala (2005).

VALENTE *et al.* **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. 2009.

VERDONCK, O.; GABRIELS, R. **Reference method for the determination of physical properties of plant substratés**. Acta Horticulturae, v. 302, p. 169-179, 1992.

VIEIRA, M.R. **Processo Biotecnológico de Produção de Composto Orgânico a partir de Resíduos de Poda de Árvores**. Tese de Doutorado. Ceará, 2013.

WANG, H. and WANG, C. **Municipal solid waste management in Beijing: characteristics and challenges**. Waste Management & Research, v. 31, n.1, p. 67–72, 2013.

WOODROOF, J. G. **Coconuts**: production, processing and products. ISBN 0-87055-276-7, v. 10, p. + 307, 1979.

TANG, J. C.; SHIBATA, A.; ZHOU, Q.; & KATAYAMA, A. **Effect of Temperature on Reaction Rate and Microbial Community in Composting of Cattle Manure with Rice Straw**. Journal of Bioscience and Bioengineering. v. 104, n. 4, p. 321–328, 2007.

TRABULSI, L. R.; ALTERTHUM, F. **Microbiologia**. 5<sup>a</sup> Ed. São Paulo: Atheneu, 2008. 24p.

## APÉNDICE

## APÊNDICE A - Composição dos Experimentos

**Obs.:** % determonada de acordo com o volume total do resíduo.

## Experimento 1, Etapa II

Trtment.	Complemento (%)				Inóculo		Resíduo	
	Uréia	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Liofilizado	Prévio	Coco	Poda
<b>Controle 01</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	100%	-
<b>Controle 02</b>	0,0	0,0	0,0	0,0	-	-	100%	-
<b>09</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	-	-	100%	-
<b>10</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	-	-	100%	-
<b>11</b>	3,03	1,15	0,98	0,32	-	-	100%	-
<b>12</b>	4,6	1,15	0,98	0,32	-	-	100%	-
<b>14</b>	2,09	2,3	1,69	0,64	-	-	100%	-
<b>15</b>	2,09	1,15	0,98	0,64	-	-	100%	-
<b>16</b>	3,03	1,15	0,98	0,64	-	-	100%	-
<b>17</b>	4,6	1,15	0,98	0,64	-	-	100%	-
<b>19</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	1%	-	100%	-
<b>20</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	-	100%	-
<b>21</b>	3,03	1,15	0,98	0,32	1%	-	100%	-
<b>22</b>	4,6	1,15	0,98	0,32	1%	-	100%	-
<b>24</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	-	5%	100%	-
<b>25</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	-	5%	100%	-
<b>26</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	2%	-	70%	30%
<b>27</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	2%	-	70%	30%

Nota: volume do resíduo 1,5kg.

## Experimento 2, Etapa II

Trtment.	Complemento (%)				Inóculo		Resíduo	
	Uréia	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Liofilizado	Prévio	Coco	Poda
<b>28</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	-	-	70%	30%
<b>29</b>	2,09	2,3	1,96	0,32	1%	-	70%	30%
<b>30</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	-	70%	30%
<b>31</b>	3,03	1,15	0,98	0,32	1%	-	70%	30%
<b>32</b>	4,6	1,15	0,98	0,32	1%	-	70%	30%
<b>33</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	-	2%	70%	30%

Nota: volume do resíduo 1,5kg.

## Experimento 3, Etapa II.

Trtment.	Complemento (%)				Inóculo		Resíduo	
	Uréia	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Liofilizado	Prévio	Coco	Poda
<b>34</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	-	70%	30%

Nota: volume do resíduo 30kg.

## Experimento 4, Etapa II.

Trtment.	Complemento (%)				Inóculo Liofilizado	Resíduo		Umidade Inicial
	Uréia	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>		Coco	Poda	
<b>35</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	100%	-	50%
<b>36</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	100%	-	55%
<b>37</b>	2,09	1,15	0,98	0,32	1%	100%	-	60%

Nota: volume do resíduo 1kg.

## Experimento 1, Etapa III

Tratamento	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	CaCO <sub>3</sub>	Coco verde	Ureia (2,09%)			
					00h	24h	48h	72h
<b>Controle</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	100%			
<b>38</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	50%	-	50%	-
<b>39</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	50%	50%	-	-
<b>40</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	50%	25%	25%	-
<b>41</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	-	50%	25%	25%
<b>42</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	30%	25%	25%	20%
<b>43</b>	1,15%	0,98%	0,32%	1,5kg	25%	25%	25%	25%

## Experimento 2, Etapa III

Complemento	Quantidade	Resíduo
Uréia (00h – 50%; 24h – 25%; 72h – 25%)	2,09%	Coco verde – 20kg (70%)
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1,15%	
Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,98%	Poda de árvore – 8,5kg
CaCO <sub>3</sub>	0,32%	(30%)
Bactérias celulolíticas	300ml	
<i>Nitrosomonas</i>	300lm	

## Experimento 3, Etapa III

Complemento	Quantidade	Resíduo
Uréia (00h – 50%; 24h – 25%; 72h – 25%)	2508g (2,09%)	
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1392g (1,15%)	
Na <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	1176g (0,98%)	Coco verde – 120kg
CaCO <sub>3</sub>	348g (0,32%)	(100%)
Bactérias celulolíticas	1000ml	
	(0,83%)	
<i>Nitrosomonas</i>	730ml (0,6%)	
Inóculo massal (resíduo compostado)	12000g (10%)	

APENDICE B - Resultado de Monitoramento de pH

**Experimento 1, Etapa II**

Tratamento		Tempo (dias)										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
pH	<b>Controle 01</b>	3,0	2,9	3,3	3,9	6,0	6,9	2,9	7,0	7,0	7,7	8,1
	<b>Controle 02</b>	6,5	2,9	3,7	4,0	6,0	6,5	2,9	7,1	7,0	7,9	8,1
	<b>09</b>	7,5	7,0	8,7	8,2	8,0	8,7	7,0	8,4	8,3	8,4	8,9
	<b>10</b>	8,0	7,7	7,8	8,0	8,0	9,0	7,7	8,1	8,3	8,6	8,6
	<b>11</b>	7,0	8,2	8,5	8,0	8,0	9,1	8,2	8,2	8,3	8,5	8,5
	<b>12</b>	7,0	8,1	8,0	8,0	8,0	9,0	8,1	8,5	8,3	8,7	8,4
	<b>14</b>	7,0	7,5	7,8	8,0	8,0	8,7	7,5	8,4	8,0	8,2	8,3
	<b>15</b>	6,0	7,3	8,7	8,8	8,0	9,1	7,3	8,6	8,0	8,8	8,5
	<b>16</b>	7,0	7,9	8,0	8,8	8,0	9,0	8,0	8,9	8,0	9,0	8,4
	<b>17</b>	8,0	7,7	8,4	8,7	8,0	8,9	7,7	8,6		8,8	8,7
	<b>19</b>	8,0	7,3	8,6	8,8	8,0	8,5	7,3	8,2	8,0	8,5	8,5
	<b>20</b>	6,0	7,8	8,7	8,9	8,0	8,8	7,8	8,4	8,0	8,5	8,7
	<b>21</b>	8,0	8,2	9,0	9,1	8,0	8,4	8,2	8,8	8,0	8,8	8,5
	<b>22</b>	7,0	8,0	9,2	9,2	7,0	8,9	8,0	8,1	8,0	9,0	8,8
	<b>24</b>	7,0	6,9	7,7	8,0	8,0	8,6	6,9	8,4	8,0	8,7	8,4
	<b>25</b>	8,0	8,1	9,1	8,8	7,0	8,6	8,1	8,5	8,0	8,7	8,3
	<b>26</b>	7,0	6,7	7,5	8,1	8,0	8,8	6,7	8,7	8,0	8,3	8,3
<b>27</b>	8,0	8,2	8,8	8,6	7,0	8,9	8,2	8,3	8,0	8,4	8,3	

**Experimento 2, Etapa II**

Tratamento		Tempo (dias)										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
pH	<b>28</b>	7,1	7,3	7,8	8	8	8	8	8	7	7,2	7,5
	<b>29</b>	7,2	7	7,4	8	7	9	7	8	7	7,2	7,8
	<b>30</b>	7	6,4	6,8	9	8	7	8	8	8	7,6	7,9
	<b>31</b>	7	6,2	6,9	7	8	8	8	8	7	7,5	7,8
	<b>23</b>	7,2	6,8	7,8	8	9	7	8	7	7	7,7	7,6
	<b>33</b>	6,9	6,3	7,2	9	7	7	8	8	7	7,1	7,4

**Experimento 3, Etapa II**

Tratamento		Tempo (dias)										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
pH		6,0	6,0	7,0	8,0	8,0	7,0	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0

**Experimento 4, Etapa II**

Tratamento	Tempo (dias)							
	01	03	05	07	09	11	14	
<b>35 A</b>	5	7	7	8	8	8	8	
<b>35 B</b>	5	7	7	8	8	8	8	
<b>35 C</b>	5	7	7	8	8	8	8	
<b>36 A</b>	5	7	7	8	8	8	8	
<b>pH 36 B</b>	5	7	7	8	8	8	8	
<b>36 C</b>	5	7	8	8	8	8	8	
<b>37 A</b>	5	7	7	8	7	8	8	
<b>37 B</b>	5	7	7	8	7	8	8	
<b>37 C</b>	5	7	7	8	7	8	8	

**Experimento 1, Etapa III.**

Tratamento	Tempo (dias)										
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
<b>Controle</b>	60	6,0	6,0	6,0	6,0	6,56	6,7	6,0	6,42	6,47	
<b>38</b>	6,2	8,0	8,0	8,0	8,0	8,7	8,6	8,0	8,02	8,07	
<b>39</b>	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,6	8,7	8,0	8,2	8,08	
<b>pH 40</b>	6,0	6,0	7,0	8,0	7,0	8,8	8,7	8,0	8,04	8,11	
<b>41</b>	6,0	7,0	7,0	8,0	8,0	8,7	8,67	7,0	8,16	8,06	
<b>42</b>	6,0	6,0	7,0	8,0	7,0	8,4	8,55	8,0	7,72	8,07	
<b>43</b>	6,0	8,0	7,0	9,0	8,0	8,8	8,76	8,0	8,09	8,21	

**Experimentos 2 e 3, Etapa III**

pH		
Tempo (dias)	Experimento 2	Experimento 3
<b>01</b>	4,95	5
<b>02</b>	6,26	6
<b>03</b>	7,58	9
<b>04</b>	7,91	8
<b>05</b>	8,66	8
<b>06</b>	8,67	8
<b>07</b>	8,54	9
<b>08</b>	8,56	8
<b>09</b>	8,66	8
<b>10</b>	8	7
<b>11</b>	7	8
<b>12</b>	8	8
<b>13</b>	7	7
<b>14</b>	8	8
<b>15</b>	7	7
<b>16</b>	7	6,63

## APÊNDICE C - Resultado de Monitoramento da Temperatura

### Experimento 1, Etapa II

	Tratamento	Tempo (dias)										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Temperatura Interna °C	Controle 01	27	28	30	28	29	28	30	29	30	30	28
	Controle 02	26	30	30	28	29	27	30	29	30	29	29
	09	27	30	32	28	29	27	30	30	30	30	29
	10	27	29	33	27	29	28	30	30	30	30	29
	11	28	30	35	27	29	28	30	30	30	30	29
	12	27	30	35	28	29	26	30	29	30	30	30
	14	28	31	32	28	29	28	30	30	30	30	29
	15	27	29	32	29	29	29	30	30	30	30	30
	16	27	30	32	30	29	27	30	29	30	30	30
	17	28	31	31	30	29	27	30	30	30	30	29
	19	27	30	32	27	29	27	30	30	30	30	30
	20	26	31	33	28	29	28	30	31	30	31	30
	21	27	30	32	27	29	29	30	30	30	31	29
	22	27	32	33	28	29	29	31	31	30	31	29
	24	28	31	35	29	29	29	31	24	30	31	30
25	27	33	35	28	29	29	30	30	30	31	30	
26	27	32	40	28	29	29	30	31	30	30	29	
27	27	30	37	29	29	28	32	31	30	30	30	
Temperatura Ambiente	27,7	29,7	33,7	28,3	29,2	29	30,2	29,3	30	29,6	30	

### Experimento 2, Etapa II

	Tratamento	Tempo (dias)										
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Temp. Interna	28	28	34	30	31	33	32	31	29	29	29	30
	29	27	35	30	30	31	32	31	29	30	30	29
	30	26	35	31	33	31	32	31	30	30	30	30
	31	27	35	30	31	31	32	31	30	29	29	29
	23	27	36	30	31	31	32	31	30	30	31	29
	33	25	34	31	32	32	31	31	30	30	30	29
Temperatura ambiente	29	32	30	29	30	30	29	28,9	29,8	29,8	30,4	

### Experimento 3, Etapa II

Tratamento	Tempo (dias)										
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
Temperatura Interna	30	35	38	38	35	33	32	30	33	32	31
Temperatura ambiente	27,3	29,1	27,4	28,6	28,2	29,4	28,6	26,6	28,1	27,6	28,3

### Experimento 4, Etapa II

Tratamento	Tempo (dias)							Média
	01	03	05	07	09	11	14	
35 A	27	27	26	28	28	27	29	
35 B	27	27	26	28	29	27	28	
35 C	27	27	27	27	26	28	28	
36 A	27	27	28	27	27	28	28	
36 B	27	27	27	28	28	27	27	
36 C	27	27	27	28	28	27	28	
37 A	27	27	28	28	28	27	30	
37 B	27	27	27	27	29	27	29	
37 C	27	27	27	27	29	27	29	
<b>Temperatura ambiente</b>	27,3	26,8	25,6	28	30	26	28,8	

### Experimento 1, Etapa III

Tratamento	Tempo (dias)										
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
<b>Controle</b>	29	29	32	30	26	27	27	26	28	29	
<b>38</b>	29	29	34	32	29	28	31	28	29	31	
<b>39</b>	29	29	32	32	26	28	31	28	28	31	
<b>40</b>	29	29	31	31	27	28	29	28	29	29	
<b>41</b>	29	29	30	30	28	29	29	28	28	30	
<b>42</b>	29	29	29	31	28	28	30	28	28	29	
<b>43</b>	29	29	30	31	28	27	28	26	27	28	

### Experimentos 2 e 3, Etapa III

Temperatura (°C)		
Tempo (dias)	Experimento 2	Experimento 3
01	31	33
02	33	51
03	32	54
04	32	57
05	40	61
06	51	57
07	40	55
08	30	50
09	33	48
10	32	50
11	33	50
12	33	48
13	32	45
14	32	38
15	30	33
16	30	28