

JULIO RUFFIN PINHEL

**“CICLO LIMPO”: UM MODELO DE GERENCIAMENTO DESCENTRALIZADO DE
RESÍDUOS BIOGÊNICOS**

Botucatu

2019

JULIO RUFFIN PINHEL

**“CICLO LIMPO”: UM MODELO DE GERENCIAMENTO DESCENTRALIZADO DE
RESÍDUOS BIOGÊNICOS**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP, Câmpus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Energia na Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Alcides Lopes Leão

Botucatu

2019

P654c	Pinhel, Julio Ruffin Ciclo Limpo : um modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos / Julio Ruffin Pinhel. -- Botucatu, 2019 85 p. : il., tabs., fotos Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu Orientador: Alcides Lopes Leão 1. Resíduos biogênicos. 2. Compostagem. 3. Gerenciamento descentralizado. 4. Biomassas. I. Título.
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

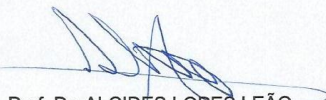
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: "CICLO LIMPO": UM MODELO DE GERENCIAMENTO DESCENTRALIZADO DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

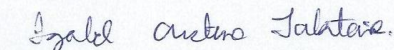
AUTOR: JULIO RUFFIN PINHEL

ORIENTADOR: ALCIDES LOPES LEÃO

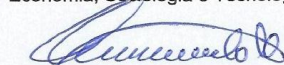
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. ALCIDES LOPES LEÃO
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP / Botucatu



Prof.ª Dr.ª IZABEL CRISTINA TAKITANE
Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP



Prof. Dr. VALDIR SCHALGH
Hidráulica e Saneamento / Universidade de São Paulo

Botucatu, 31 de maio de 2019

À minha mãe Regina e ao meu tio João

dedico

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Alcides Lopes Leão, pela orientação, confiança e incentivo.

À toda turma do RESIDUALL – Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos, pelo companheirismo.

Ao Prof. Dr. Saulo Philippe Sebastião Guerra e aos colegas do LABB – Laboratório Agroflorestral de Biomassa e Bioenergia, pela parceria.

À Ana Luiza Azank Veltri, minha melhor amiga, companheira, namorada, esposa, por dividir comigo esta aventura que é a vida! Tudo isso faz muito mais sentido junto com você. Te amo!

Ao André Nadal e ao João Paulo Garcia, meus amigos e parceiros no Ciclo Limpo, por viabilizarem que continuemos levando este sonho adiante!

Às famílias Ruffin Pinhel e Azank Veltri, pelo amor.

Ao Mário, na pessoa de quem agradeço profundamente todos os companheiros e companheiras que eu não preciso citar quem são, mas que estão sempre presentes. Tamo junto!

À Flora, pela sensibilidade e ajuda nos caminhos “tortuosos” da vida.

Ao meu Poder Superior, que me guia e me protege!

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo auxílio financeiro.

Deus,

Conceda-me serenidade para aceitar as coisas que não posso modificar,

Coragem para modificar aquelas que posso,

E sabedoria para reconhecer a diferença.

(Oração da Serenidade)

RESUMO

As áreas urbanas caracterizam-se pela alta produção de resíduos biogênicos, tanto de origem domiciliar quanto de atividades comerciais, como restaurantes e lanchonetes. Esses resíduos geralmente são aterrados, ou descartados em lixões e terrenos baldios. A compostagem desses resíduos evita o acúmulo em aterros, diminui o impacto ambiental, aumenta o tempo de vida útil destes locais e promove a geração de insumos orgânicos para a agricultura. Apesar de existir desde os primeiros cultivos agrícolas do homem, esta prática permanece pouco difundida e praticada no contexto nacional. Este estudo foi dividido em dois capítulos: o primeiro visa caracterizar a atuação do “Ciclo Limpo” no município de Botucatu/SP, empreendimento de coleta e compostagem, como um modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos. O segundo capítulo visa comparar o processo de compostagem dos resíduos biogênicos domiciliares utilizando-se diferentes biomassas (serragem de *Pinus*, cavaco de eucalipto e fibra de bambu) para que se entenda qual destes pode contribuir na produção do melhor composto, se adequando melhor ao processo. O “Ciclo Limpo” vem desenvolvendo um modelo de gerenciamento de grande importância para a gestão descentralizada dos resíduos biogênicos, reduzindo o impacto ambiental através da disposição adequada e produzindo um composto de qualidade agronômica. Com relação ao processo de compostagem, a serragem e o cavaco de eucalipto apresentaram resultados semelhantes e ambos demonstraram serem biomassas adequadas para a compostagem, diferentemente do que a fibra de bambu.

Palavras-chave: resíduos biogênicos; compostagem; gerenciamento descentralizado; biomassas.

ABSTRACT

The urban areas are characterized by the high production of biogenics solid waste, both of home origin and commercial, such as restaurants and snack bars. These wastes are usually grounded, or discarded in dumps and vacant lots. Composting of these wastes avoids landfill accumulation, reduces environmental impact, increases shelf life, and promotes the generation of organic inputs for agriculture. Although it existed since the first agricultural crops by humankind, this practice remains little spread and practiced in the national context. This study was divided in two chapters: the first one aims to characterize the performance of the "Clean Cycle" ("Ciclo Limpo") in the city of Botucatu / SP, a collection and composting project, as a decentralized biogenic waste management model. The second chapter aims to compare the composting process of household biogenic waste using different biomass (*Pinus* sawdust, *Eucalyptus* barks and bamboo fiber) in order to understand which of these can contribute to the production of the best compost, becoming better suited to the process. The "Clean Cycle" has been developing a management model of great importance for the decentralized management of biogenic waste, reducing the environmental impact through proper disposal and producing a quality compost. Regarding the composting process, sawdust and *Eucalyptus* bark showed similar results and both showed to be suitable biomass for composting, differently than bamboo fiber.

Keywords: household biogenic waste; composting; decentralized management; biomass.

LISTA DE FOTOS

CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO “CICLO LIMPO” COMO UM EMPREENDIMENTO DE COLETA E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Foto 1. Balde para coleta domiciliar.....	41
Foto 2. Bombonas para coletas de grandes geradores.....	41
Foto 3. Sacos de 1 kg de composto orgânico (brinde).....	55
Foto 4. Mudanças (brinde).....	55
Foto 5. Coleta dos resíduos biogênicos.....	56
Foto 6. Novo saco de lixo deixado no domicílio.....	56
Foto 7. Pesagem dos resíduos biogênicos domiciliares no momento da coleta....	57
Foto 8. Baías de concreto de 1m ³ cada utilizadas para a compostagem.....	58
Fotos 9, 10, 11 e 12. Montagem da baía (pilha) de compostagem em camadas: serragem, resíduos biogênicos e cobertura novamente com serragem.....	59
Foto 13. Composto orgânico pronto para uso.....	60

CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS COMO FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Foto 1. Serragem.....	69
Foto 2. Cavaco de eucalipto.....	69
Foto 3. Fibra de bambu.....	69
Fotos 4, 5, 6 e 7. Montagem da baía (pilha) de compostagem em camadas: biomassa, resíduos biogênicos e cobertura novamente com biomassa.....	70

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO “CICLO LIMPO” COMO UM EMPREENDIMENTO DE COLETA E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Figura 1. Quantidade de resíduos biogênicos coletada em residências e em grandes geradores (em kg).....	44
Figura 2. Aumento no número de pontos de coletas no período de outubro de 2016 a março de 2019.....	46
Figura 3. Quantidade de resíduos biogênicos coletada (em kg) x quantidade estimada de produção de composto (em kg), de outubro de 2016 a março de 2019.....	47

CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS COMO FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Figura 1. Granulometria dos compostos produzidos utilizando-se cada tipo de biomassa fonte de carbono.....	75
Figura 2. Densidade aparente (em kg.m^{-3}) dos compostos produzidos utilizando-se cada tipo de biomassa fonte de carbono.....	76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO “CICLO LIMPO” COMO UM EMPREENDIMENTO DE COLETA E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Tabela 1. Total de entrada de materiais nas pilhas de compostagem (resíduos biogênicos + serragem), total de saída (composto pronto), e as respectivas porcentagens de composto.....	44
Tabela 2. Análises da matéria orgânica total dos compostos produzidos a partir da compostagem de resíduos biogênicos e serragem.....	48
Tabela 3. Análises de metal pesado em compostos produzidos a partir de processos de compostagem (J1, J2 e J6) e em compostos vendidos comercialmente (J3, J4 e J5).....	49

CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS COMO FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Tabela 1. Análises da relação C/N e outros parâmetros das biomassas fontes de carbono.....	72
Tabela 2. Análises da relação C/N e outros parâmetros dos resíduos biogênicos	73
Tabela 3. Quantidade de resíduos biogênicos e de biomassas utilizadas para a montagem de cada baia de compostagem.....	73
Tabela 4. Análises de matéria orgânica total (MOT) dos compostos produzidos a partir das biomassas fontes de carbono.....	74

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PEV	Ponto de Entrega Voluntária
GEE	Gases de Efeito Estufa
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
PMGIRS	Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos
UNESP	Universidade Estadual Paulista
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
RESIDUALL	Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos
FCA	Faculdade de Ciências Agrônômicas
RG	Registro Geral
CPF	Cadastro de Pessoa Física
MOT	Matéria Orgânica Total
COT	Carbono Orgânico Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
NBR	Norma Brasileira Registrada
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas

LISTA DE SÍMBOLOS

N	Nitrogênio
C	Carbono
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
%	Porcentagem
kg	Quilograma
CO ₂	Gás carbônico
R\$	Reais
km	quilômetro
km ²	quilômetro quadrado
g	grama
CO ₂ -eq	Carbono equivalente
mg	Miligrama
t	Tonelada
tCO ₂ -eq	tonelada de Carbono equivalente
P ₂ O ₅	Pentóxido de fósforo
K ₂ O	Óxido de potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
S	Enxofre
C-Total	Carbono total
Na	Sódio
B	Boro
Cu	Cobre
Fe	Ferro
Mn	Manganês
Zn	Zinco
m ³	metro cúbico
°C	graus Celsius
n°	Número
+/-	mais ou menos
cm	Centímetro

cm ²	centímetro quadrado
As	Arsênio
Ba	Bário
Cd	Cádmio
Pb	Chumbo
Cr	Cromo
Hg	Mercúrio
Mo	Molibdênio
Ni	Níquel
Se	Selênio

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO GERAL.....	27
	CAPÍTULO 1 - CARACTERIZAÇÃO DO “CICLO LIMPO” COMO UM EMPREENDIMENTO DE COLETA E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS.....	36
1.1	INTRODUÇÃO.....	38
1.2	OBJETIVOS.....	39
1.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	40
1.3.1	Caracterização do modelo de gerenciamento de resíduos biogênicos do “Ciclo Limpo”.....	41
1.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
1.4.1	Gestão de parcerias.....	51
1.4.2	Gestão financeira.....	52
1.4.3	Comunicação e marketing.....	52
1.4.4	Relacionamento com os participantes.....	53
1.4.5	Gerenciamento descentralizado dos resíduos biogênicos.....	54
1.4.5.1	Coleta e transporte dos resíduos biogênicos.....	55
1.4.5.2	Compostagem.....	57
1.5	CONCLUSÕES.....	60
	REFERÊNCIAS.....	61
	CAPÍTULO 2 - COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS COMO FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS.....	63
2.1	INTRODUÇÃO.....	65
2.2	OBJETIVOS.....	67
2.3	MATERIAL E MÉTODOS.....	68
2.4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	72
2.5	CONCLUSÕES.....	76
	REFERÊNCIAS.....	77
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
	REFERÊNCIAS.....	83

INTRODUÇÃO GERAL

Em se tratando da destinação adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) e da conscientização da população em relação à importância dos cuidados com os resíduos, pode-se dizer que o Brasil ainda está em estágio inicial. Uma boa definição para o atual estágio neste quesito é dizer que o país está na fase do “sofá no córrego”. Além do significado literal desta expressão, pois de fato é comum se ver sofás e outros tantos objetos e resíduos descartados em córregos, rios e riachos, ela também expressa a falta de responsabilidade e conscientização que envolve todos os elos da cadeia dos resíduos, desde o fabricante até o consumidor final, passando pelo poder público e outros envolvidos.

Infelizmente as pessoas ainda não se despertaram para o fato de que não existe mágica na destinação e tratamento dos resíduos. Estes não somem simplesmente das suas lixeiras. Em geral, a única preocupação das pessoas é que o “lixo” suma da sua frente. Não importa como e nem para onde vai. As pessoas querem é jogar o “lixo” fora. O fato é que não existe “jogar fora”. O cidadão, no ato de jogar fora, simplesmente tirou o “problema” da sua casa, do alcance da sua visão. E sem querer maiores responsabilidades por isso. Acondicionou tudo junto e misturado num saco de lixo preto e aguardou ansiosamente que o coletor de lixo passasse e fizesse a sua “mágica”.

Assim como não existe “jogar fora”, “lixo” também não existe. O termo lixo contém a ideia de algo inutilizável ou sem serventia, não fazendo sentido assim o conceito de reciclar ou reutilizar. O que existe é resíduo e rejeito e é fundamental definir estes termos, pois aí começam os esclarecimentos e as informações de que a população necessita.

Resíduo sólido, como definido na Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010) é todo material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede. É aquilo que tem valor econômico e pode ser reciclado ou reaproveitado.

Rejeito é aquilo que não tem mais nenhum valor, não pode ser reciclado nem reaproveitado, não apresentando outra possibilidade que não a disposição ambientalmente adequada. Conforme Gonçalves, Sartori e Leão (2009), os rejeitos são misturas complexas de compostos orgânicos, polímeros artificiais, produtos de

celulose, inorgânicos e esta complexidade torna difícil sua reciclagem pelo fato de seus insumos químicos serem poluentes.

Os RSU podem ser divididos em duas frações principais: recicláveis secos (papéis, plásticos, vidros e metais) e recicláveis úmidos ou resíduos sólidos orgânicos. Não existe uma descrição clara na literatura, tanto científica quanto legislativa, em relação à definição universal do conceito “resíduo sólido orgânico”. Desta forma utiliza-se neste trabalho o termo resíduo biogênico para fins de padronização e busca de uma nomenclatura mais adequada.

Os resíduos biogênicos são aqueles que tem origem animal ou vegetal e são passíveis de decomposição, ou seja, são biodegradáveis (cascas de frutas, legumes, verduras, restos de comida cozida, borra e filtro de café, saquinho de chá, galhos e folhas secas, entre vários outros). Trata-se da fração compostável dos resíduos (que também podem ser conhecida como resíduos orgânicos úmidos). O plástico tem sua origem no petróleo, que é orgânico, então também pode se enquadrar como um resíduo sólido orgânico quando descartado. Mas não é compostável, portanto, não é um resíduo biogênico.

Na gestão e no gerenciamento dos RSU, conforme orienta a PNRS (BRASIL, 2010), deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição ambientalmente adequada dos rejeitos. Ou seja, em primeira instância não se deve nem ter o problema (não geração). Em segunda instância, deve-se minimizar o problema (redução). Em terceira instância, todos os RSU passíveis de reaproveitamento ou reciclagem devem ter estes destinos. Somente a partir daí é que são tomadas outras medidas de tratamento e disposição final dos resíduos.

Dessa forma, num cenário ideal, todos os domicílios, comércio, indústrias e outros geradores de resíduos sólidos não perigosos, deveriam separá-los em três frações: recicláveis secos, biogênicos e rejeitos. Os recicláveis secos devem ser destinados para a coleta seletiva com inclusão de catadores de materiais recicláveis organizados; os biogênicos devem ser encaminhados para processos de compostagem; e os rejeitos (e apenas os rejeitos) devem ser destinados para aterros sanitários.

As prefeituras, segundo a PNRS (BRASIL, 2010), são responsáveis pelas coletas domiciliares e comerciais em pequena quantidade. E, por consequência,

deveriam coletar as três frações citadas anteriormente, separadas na fonte. Mas não é essa a realidade do Brasil.

Os demais geradores (indústrias, hospitais, postos de saúde, restaurantes, condomínios comerciais, entre outros grandes geradores), ainda de acordo com a lei (BRASIL, 2010), são responsáveis pela destinação e tratamento adequado dos seus resíduos e, mais ainda, devem apresentar um Plano de Gerenciamento de Resíduos para as prefeituras municipais. Mais uma vez, isso também não acontece na maior parte das cidades brasileiras e as prefeituras acabam assumindo todo o custo com estas coletas e tampouco com a destinação final.

Atualmente, de acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2018) são geradas 78,4 milhões de toneladas de RSU por ano. Destas, quase 7 milhões de toneladas sequer são coletadas, tendo destino impróprio. Do total coletado, 40,9% ainda são despejados em locais inadequados por 3.352 municípios (lixões ou aterros controlados). Dos 5.570 municípios, 3.923 apresentam alguma iniciativa de coleta seletiva, o que não significa abranger a totalidade de sua área urbana. Quando esses dados são aprofundados, chega-se num dado de apenas 22% de municípios que operam programas de coleta seletiva com abrangência total de sua área urbana (CEMPRE, 2018). Com relação à compostagem, esse dado é ainda mais preocupante: somente 4% dos municípios tem alguma iniciativa, com um total de 260 unidades de compostagem apenas (PIRES e FERRÃO, 2017), daí a importância do presente estudo.

No município de Botucatu, estado de São Paulo, local de realização deste estudo, o cenário não é muito diferente do restante do país. O município possui programa de coleta seletiva, com inclusão de catadores organizados, mas não atende a cidade toda de maneira porta a porta. Segundo Souza (2018), apenas 25% dos bairros é atendido (pouco mais de 50 dos 201 bairros). O restante da cidade conta com 100 (cem) pontos de entrega voluntárias (PEV). O município não possui coleta seletiva formal (realizada pelo poder público) dos resíduos biogênicos.

As áreas urbanas caracterizam-se pela alta produção de resíduos biogênicos, tanto de origem domiciliar quanto comercial como restaurantes, lanchonetes, padarias e açougues, entre outras. Esses resíduos geralmente são aterrados, ou descartados em lixões e terrenos baldios, e constituem-se não só em grande preocupação das municipalidades, relacionada ao saneamento ambiental, como também em desperdício de nutrientes (LOUREIRO *et al.*, 2007).

Quando estes são aterrados, são responsáveis pela emissão de milhões de toneladas de CO₂ equivalente para a atmosfera todos os anos (CETESB, 2011). Segundo o Ministério do Meio Ambiente (BRASIL, 2014), o CO₂ equivalente é uma medida utilizada para comparar as emissões de vários gases de efeito estufa (GEE), baseada no potencial de aquecimento global de cada um. É o resultado da multiplicação das toneladas emitidas de GEE pelo seu potencial de aquecimento global.

Os resíduos biogênicos domiciliares e comerciais são opção para atender aos princípios sanitários e ecológicos. Isso porque, de acordo com Loureiro *et al.* (2007), a adequação da reciclagem desses resíduos melhora a questão ambiental e, em contrapartida, promove a geração de insumos orgânicos para a agricultura, o que é um dos aspectos mais importantes envolvidos nesse sistema de produção.

A reciclagem dos resíduos biogênicos se dá através da compostagem. Compostagem é o processo de decomposição biológica da matéria orgânica sob condições controladas de aerobiose, temperatura e umidade, gerando um produto estável (DE BERTOLDI; VALLINI; PERA, 1983), denominado fertilizante ou composto orgânico que pode ser utilizado para adubação do solo na recuperação de solos degradados, em cultivos agrícolas, florestais, paisagismo.

O processo de compostagem é de grande importância uma vez que o reaproveitamento dos resíduos biogênicos evita o acúmulo em aterros, diminuindo o impacto ambiental e aumentando o tempo de vida útil destes locais. A aplicação do composto ao solo melhora a sua estrutura, aumenta a disponibilidade de nutrientes, o teor de matéria orgânica e a capacidade de retenção de água. Este conjunto de fatores além de melhorar a qualidade do solo diminui o custo para os agricultores em relação à adubação do solo (SARMENTO *et al.*, 2007).

Apesar da compostagem já existir desde os primeiros cultivos agrícolas do homem, ainda permanece pouco difundida e praticada no contexto nacional. De acordo com Chiabi (2017), no Brasil existem poucos pátios de compostagem registrados, licenciados e em operação plena, em quantidade insuficiente para um país em que mais da metade dos seus resíduos são biogênicos e que a base da sua economia é constituída pela agricultura.

No estado de São Paulo foram identificadas 115 experiências de compostagem, dentre empreendimentos, programas públicos, ações institucionais, ações da sociedade civil e projetos experimentais. Deste total, 49 foram

classificadas como centralizadas e 66 como descentralizadas. E destas, 18% das centralizadas (apenas oito) e 73% das descentralizadas (quarenta e oito no total) encontram-se em funcionamento (SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Ou seja, a taxa de extinção de modelos de compostagem descentralizada é muito menor.

Compostagem centralizada são as usinas de triagem e compostagem, empreendimentos privados ou públicos, dotados de pátio de recepção de resíduos, central de triagem que pode possuir esteira de triagem e diferentes equipamentos de separação de rejeitos, pátio de compostagem, aterro para rejeitos e sistema de tratamento de chorume (BARREIRA, 2005). Este é tido como o método convencional de compostagem de RSU. Ainda de acordo com este autor, a compostagem centralizada possui a vantagem de tratar todo o RSU de um ou mais municípios num único empreendimento. Mas apresentam a desvantagem de gerar um composto final de baixa qualidade, apresentando características nutricionais insuficientes, presença de metais pesados e resíduos inertes. A baixa qualidade do composto produzido desestimula sua procura e, por consequência, sua viabilidade econômica. Assim, é frequente permanecer estocado em grandes quantidades nessas unidades (SÃO PAULO, 2012).

Um exemplo disso foi o fechamento da Usina de Compostagem de Vila Leopoldina/SP em 2004 que, devido aos problemas de poluição, causados por odores, contaminação do lençol freático e disposição inadequada dos resíduos provenientes de domicílios e feira, foi objeto de mais de 550 reclamações da população vizinha, um abaixo assinado com mais de 6 mil assinaturas e 25 autuações pela CETESB. Além disso, o composto produzido era contaminado, não possuindo nenhuma qualidade agrônômica (MEIO..., 2004). Um ano antes, em 2003, já havia sido fechada outra usina de compostagem, em São Matheus/SP, por motivos semelhantes.

A coleta seletiva dos resíduos biogênicos, além da compostagem com critérios técnicos, é essencial para a obtenção de um composto com qualidade agrônômica e para tornar a gestão viável economicamente (ABREU-JUNIOR; PIRES; COSCIONE, 2009). A inviabilidade técnica, econômica e gerencial foram os principais motivos pelo qual a maioria dos processos de compostagem centralizada foram desativados no Brasil desde a década de 1980 (BARREIRA *et al.*, 2009).

Segundo Fehr (2006), modelos centralizados de gestão de resíduos são bem sucedidos em países de economia desenvolvida, mas pouco se adaptam aos países

em desenvolvimento. Em substituição às grandes usinas que compõem os sistemas centralizados, a descentralização da compostagem tem sido adotada em vários países do mundo.

A compostagem descentralizada, de acordo com Siqueira e Assad (2015), é realizada por instituições públicas ou privadas, em localização dentro do perímetro urbano ou periurbano, onde os resíduos são provenientes de poucos grupos de geradores. Nestes casos, a unidade de compostagem pode ser localizada dentro de instituições, no seio da comunidade ou próxima ao local de origem. Estão inseridas no modelo descentralizado quatro formatos de compostagem: individual ou domiciliar, institucional e/ou privado, comunitária, e os pátios de compostagem urbanos.

A principal vantagem do modelo descentralizado é a redução de custos em relação a modelos centralizados. Isso porque na maioria dos casos são desenvolvidos sistemas naturais de compostagem, sem grandes tecnologias envolvidas, em locais que possuem tanto o espaço físico quanto pessoas disponíveis para trabalhar no processo.

Um bom exemplo de gestão descentralizada dos resíduos biogênicos está localizado na cidade de Florianópolis/SC, na qual existem iniciativas que tratam estes resíduos sem utilizar o sistema de aterro sanitário centralizado (DIAS; RUAS; MULLER, 2016). De acordo com estes autores, são identificados três formatos de compostagem descentralizada na cidade:

1. Individual ou domiciliar: aquele em que o próprio morador destina seus resíduos biogênicos de forma caseira, através de composteiras ou minhocários domésticos, não utilizando o sistema de coleta da prefeitura;
2. Institucional e/ou privado: aquele em que uma empresa presta serviço de assessoria ambiental, coleta, transporte, destinação final dos resíduos biogênicos através da compostagem e beneficiamento do composto orgânico. Em Florianópolis, a empresa coleta 100 toneladas por mês e cobra R\$ 0,40 por quilograma coletado. Até 30% destes resíduos se transformam em composto que é em parte vendido e em parte doado. Seus principais clientes são grandes geradores de resíduos biogênicos;
3. Comunitário: aquele que utiliza iniciativa da sociedade civil, geralmente aliada à estrutura do serviço público. Florianópolis tem algumas iniciativas comunitárias, mas a referência é o Projeto Revolução dos Baldinhos,

tecnologia social desenvolvida por uma comunidade para resolver problemas de doenças causadas por ratos, que conscientizou parte da população a separar seus resíduos biogênicos e destiná-los corretamente nos pontos de entrega voluntária (PEV's). Duas vezes por semana estes resíduos são coletados pela prefeitura municipal e encaminhados para um pátio de compostagem localizado na própria comunidade onde é produzido o composto que abastece hortas residenciais e comunitárias.

No entanto, apesar de existirem diversos métodos e possibilidades para se desenvolver um processo de compostagem, a Política Estadual de Resíduos Sólidos do estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2006) pouco discorre sobre essa prática. Políticas do governo federal e estadual buscam incentivar a regionalização da gestão de resíduos (BRASIL, 2010), retomando a ideia das grandes usinas de compostagem, as quais possuem histórico de falência no Brasil e em diversos países de baixa renda (ALI, 2004; EIGENHEER; FERREIRA; ADLER, 2005; FEHR, 2010).

Nesse sentido, conforme Siqueira e Assad (2015), se faz necessário identificar e caracterizar diferentes modalidades de experiências em compostagem de RSU, a fim de incentivar novas rotas tecnológicas e estimular a diversificação dos sistemas de gestão de resíduos nos municípios. Tampouco se faz necessário compreender como tais processos podem ser desenvolvidos para colaborar com a eficácia das ações municipais e orientar prefeituras no estímulo de diferentes atores (empresas privadas, organizações não governamentais, gestores comunitários e empreendedores sociais, por exemplo).

Dessa forma, o Capítulo 1 do presente trabalho, intitulado “*Caracterização do ‘Ciclo Limpo’ como um empreendimento de coleta e compostagem de resíduos biogênicos*” visa caracterizar sua atuação como um modelo de gerenciamento descentralizado destes resíduos, no município de Botucatu/SP.

O “Ciclo Limpo” é uma microempresa com natureza jurídica “empresário (individual)”, que funciona por adesão de pessoas ambientalmente interessadas, na qual estas pagam uma mensalidade (fazem uma assinatura) para ter seus resíduos biogênicos domiciliares (ou comerciais) coletados e compostados.

A hipótese levantada para este capítulo é que o modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos desenvolvido pelo “Ciclo Limpo” seja viável,

reduzindo o impacto ambiental através da destinação adequada destes resíduos, produzindo um composto orgânico com qualidade agrônômica e reduzindo custos econômicos, ambientais e sociais da prefeitura com a coleta, triagem, transporte e destinação final no aterro sanitário.

Com relação ao aproveitamento dos resíduos biogênicos domiciliares e comerciais como fertilizante ou composto orgânico, são necessários alguns conhecimentos que possibilitem a adequada forma de prepará-los e que garantam um produto estabilizado e de boa qualidade, que forneça nutrientes e condicione o solo de forma adequada (LOUREIRO *et al.*, 2007).

Existem diversos métodos e formas de se fazer a compostagem. No entanto, para que o processo ocorra de maneira adequada, é preciso que exista pelo menos um tipo de material fonte de nitrogênio (N) e um tipo de material fonte de carbono (C). De acordo com Carvalho (2006), praticamente todos os resíduos biogênicos podem ser compostados. Para se obter um composto de boa qualidade é necessário que estes resíduos apresentem um conteúdo apropriado de nitrogênio e carbono, favorecendo o crescimento e a atividade de colônias de microrganismos envolvidos no processo. A relação C/N é um dos mais importantes parâmetros no processo de compostagem.

Os resíduos biogênicos domiciliares e comerciais são constituídos principalmente por cascas de frutas, verduras, legumes, e restos de alimentos cozidos ou estragados, entre outros. Estes resíduos são fontes de nitrogênio para a compostagem. Outros tipos de resíduos como restos de podas (galhos e folhas secas), serragem, palhas, cascas de árvores, entre outros, são fontes ricas em carbono (TEIXEIRA, 2004).

Assim, avaliar o processo de compostagem dos resíduos biogênicos domiciliares, comerciais e industriais utilizando-se diferentes materiais fontes de carbono é importante para que se entenda qual destes pode contribuir na produção do melhor composto orgânico, se adequando melhor ao processo. É neste contexto que está inserido o Capítulo 2 do presente trabalho, intitulado “*Comparação de diferentes biomassas como fontes de Carbono no processo de compostagem de resíduos biogênicos*”.

A hipótese levantada para este capítulo é a de que as três biomassas testadas como fontes de carbono para o processo de compostagem (serragem de

Pinus, cavaco de eucalipto e fibra de bambu) sejam adequadas ao processo, produzindo compostos orgânicos com qualidade agronômica.

O estímulo à adubação orgânica e a integração com sistemas agrícolas urbanos, periurbanos e rurais são estratégias importantes para a sustentabilidade de programas de compostagem (DRECHSEL; KUNSE, 2001; INACIO; MILLER, 2009). O retorno da biomassa e dos nutrientes descartados nos centros urbanos para os solos agrícolas, ainda de acordo com estes autores, está vinculado à segurança alimentar e nutricional em contextos de população urbana em contínua expansão e de esgotamento de fontes de fertilizantes minerais.

CAPÍTULO 1

CARACTERIZAÇÃO DO “CICLO LIMPO” COMO UM EMPREENDIMENTO DE COLETA E COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Julio Ruffin Pinhel e Alcides Lopes Leão

RESUMO

Botucatu/SP, município com cerca de 146 mil habitantes, gera diariamente 92 toneladas de resíduos sólidos, sendo 62,9% o percentual da fração orgânica. O resíduo biogênico tem sido pouco aproveitado, sendo passível de ser tratado através da compostagem. Nesse contexto, em 2016 surge o “Ciclo Limpo”, empreendimento que oferece um serviço de assinatura mensal de coleta e compostagem de resíduos biogênicos. Ao final de cada mês, cada participante recebe 1 kg de composto ou uma muda de hortaliça (dentre outras plantas medicinais, aromáticas e condimentares) como recompensa, além de um relatório de acompanhamento. O objetivo deste trabalho é caracterizar a atuação do “Ciclo Limpo” como um modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos. Para tanto, foram quantificados o total de resíduos coletados; de composto produzido; e de participantes que aderiram ao “Ciclo Limpo” ao longo do tempo de operações do empreendimento. Foram realizadas análises dos compostos produzidos e também analisadas as presenças de metais pesados a fim de avaliar a sua qualidade agrônômica. Também foram calculadas as emissões de gases de efeito estufa evitadas. Atualmente a coleta é feita em 54 pontos. Desde o início do projeto foram coletadas e compostadas 39,64 toneladas de resíduos, produzidos 10,33 toneladas de composto e 30,52 toneladas de emissões evitadas. A análise dos dados permite concluir que o estudo contribui para a construção de um modelo viável de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos. Porém, ainda existem pontos a serem melhorados para que o modelo possa ser mais eficiente, financeira e socialmente.

Palavras-chave: resíduos biogênicos; compostagem; gerenciamento descentralizado.

ABSTRACT

Botucatu, SP, a city with around 146.000 inhabitants, generates 92 tons of solid waste a day, from which 62,9% are the biogenic or organic fraction. The biogenic waste has not been well used, considering it can be treated through composting. In this scenario, the Clean Cycle started in 2016 as a project that offers a hired service of collecting and composting biogenic waste. By the end of each month, every customer receives 1 kg of compost or a seedling of a vegetable (among other medicinal plants, aromatic and spicy) as a reward, in addition to an update report. The objective of this study is to characterize the actions of Clean Cycle as a decentralized management model of biogenic waste. Therefore, were analyzed the amount of collected waste; compost produced; and number of customers that joined the Clean Cycle project throughout the period. The analysis of composts produced was made and also analyzed the presence of heavy metals aiming to evaluate its agronomic quality. The greenhouse gas emissions avoided were also calculated. Currently the collection has been done in 54 spots. Since the beginning of the project, 39,64 tons of waste have been collected and composted, 10,33 tons of compost produced and 30,52 tons of CO₂ emissions avoided. The data analysis make it possible to conclude that the study contributes with the creation of an applicable model of biogenic decentralized waste management. However, there are still aspects to be improved and tuned in such way that the model can be more efficient, financially and socially.

Keywords: biogenic waste; composting; decentralized management.

1.1 INTRODUÇÃO

Na cidade de Botucatu, localizada na região centro oeste do estado de São Paulo, com aproximadamente 146 mil habitantes, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística para o ano de 2017 (IBGE, 2010), são geradas diariamente 92 toneladas de resíduos domiciliares, comerciais, industriais, de limpeza pública, entre outros (BOTUCATU, 2016). Segundo o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Botucatu – PMGIRS (2016), a média de geração em Botucatu é de 0,689 kg/dia/habitante de resíduos domiciliares.

De acordo com o PMGIRS de Botucatu (2016), na composição gravimétrica dos materiais que constituem os resíduos sólidos gerados nos domicílios do município, é encontrado o seguinte cenário: 62,9% de biogênicos, 27,9% de potenciais recicláveis e 7,2% de rejeitos. E é justamente na fração orgânica, quase dois terços dos RSU de Botucatu, que se concentra o presente trabalho.

Esta não é uma realidade exclusiva de Botucatu, quando se olha no contexto nacional, vê-se que a fração orgânica representa mais de 50% dos resíduos sólidos urbanos em todos os municípios (BRASIL, 2017). Analisando o contexto global tem-se uma média de 46% de resíduos biogênicos, porém essa fração varia de 64% em países de baixo grau de desenvolvimento econômico, até 28% em países onde a população possui renda média elevada (HOORNWEG e BHADA-TATA, 2012).

O que é um fato comum, é que a fração orgânica representa uma parcela significativa dos resíduos gerados em qualquer contexto, e se destinada de forma inadequada, compromete a salubridade do ambiente urbano, atraindo vetores e doenças. Quando enviada para os aterros geram gases de efeito estufa, principalmente o metano, além de representarem custos elevados para os sistemas urbanos de tratamentos de resíduos (INÁCIO e MILLER, 2009). Ainda de acordo com estes autores, a compostagem é uma solução simples, de baixo custo e alto potencial resolutivo, pois visa tratar de forma ambientalmente correta a fração orgânica.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), e sua regulamentação pelo Decreto 7.404 de 2010 (Brasil, 2010), visam estimular mudanças consideráveis na forma de gerenciar resíduos sólidos no Brasil. Dentre vários desafios, a PNRS estipulou o envio obrigatório de resíduos para reciclagem e compostagem. Aterros sanitários passaram a constituir a forma legalmente adequada de disposição final somente para rejeitos - resíduos que depois de esgotadas todas as possibilidades

de tratamento e recuperação por processos tecnológicos viáveis não possuem outra possibilidade que não a disposição final (BRASIL, 2010).

A PNRS tem como um de seus principais instrumentos o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), que em sua versão preliminar apontou como meta para a região Sudeste, onde está localizado o município de Botucatu, a redução até 2031 de 55% da parcela orgânica disposta em aterros. Não existem dados em literatura ou mesmo nos órgãos de controle municipais, estaduais e federais que consigam precisar estes dados de qual foi a meta atingida até o presente momento. Infere-se que pouco se avançou nestas metas, que em 2019 deveria atingir 35% de redução da parcela orgânica em aterros, e não é isso que tem se observado na prática.

Como formas de estímulo à compostagem, o Plano menciona a implantação de unidades de compostagem acompanhadas prioritariamente de coleta seletiva de resíduos biogênicos, o aproveitamento da capacidade já instalada de usinas de compostagem, a compostagem domiciliar (minhocários e composteiras), compostagem em grandes geradores, implantação de hortas escolares e utilização do composto na agricultura urbana.

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2018), no ano de 2017 foram gastos no país R\$ 4,07 por pessoa por mês apenas na coleta de RSU. Segundo os dados oficiais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (POPULAÇÃO..., 2017), a população brasileira atingiu aproximadamente 208 milhões de pessoas neste ano.

Ou seja, em 2017 foram gastos R\$ 846,5 milhões por mês na coleta dos RSU no Brasil. O que significa mais de R\$ 10 bilhões no ano. Sabendo-se que pelo menos metade dos RSU do país são resíduos biogênicos, no mínimo R\$ 423,25 milhões foram gastos mensalmente só na coleta deste tipo de resíduo, o que significa mais de R\$ 5 bilhões no ano.

1.2 OBJETIVOS

O presente estudo visa caracterizar a atuação do “Ciclo Limpo”, empreendimento de coleta e compostagem de resíduos biogênicos, como um modelo de gerenciamento descentralizado destes resíduos, no município de Botucatu / SP, através dos seguintes objetivos específicos:

- ✓ Analisar a quantidade de resíduos biogênicos coletados (kg), quantidade de composto produzido (kg) e número de clientes que aderiram ao Ciclo Limpo;
- ✓ Analisar o impacto ambiental através das emissões de gases efeito estufa evitadas (t de CO²-eq);
- ✓ Analisar a qualidade agrônômica do composto produzido.

1.3 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi desenvolvido no município de Botucatu, localizado na região Centro Oeste do estado de São Paulo, a 235 km de sua capital. Possui aproximadamente 146 mil habitantes e uma área de cerca de 1.496 km² (IBGE, 2010).

O “Ciclo Limpo” é uma microempresa com natureza jurídica “empresário (individual)”, que funciona por adesão de pessoas ambientalmente interessadas, na qual estas pagam uma mensalidade (fazem uma assinatura) para ter seus resíduos biogênicos domiciliares (ou comerciais) coletados e compostados. A proposta consiste, além dos serviços de coleta domiciliar ou comercial e compostagem descentralizada, no retorno a cada mês de 1 (um) kg de composto ou uma muda de hortaliça (dentre outras plantas medicinais, aromáticas e condimentares), de acordo com a disponibilidade e escolha do participante.

Cada participante também recebe um relatório de acompanhamento com o retorno da sua participação, incluindo a quantidade de resíduos coletados no mês, a estimativa da quantidade de composto produzido e as emissões de gases efeito estufa evitadas.

No caso das coletas domiciliares, quem faz a adesão recebe um balde de cor branca de 20 (vinte) litros identificado com a logomarca do “Ciclo Limpo” (Foto 1), com tampa, e um saco de lixo na cor verde de 50 (cinquenta) litros para colocar no balde, visando o acondicionamento dos resíduos biogênicos. Um novo saco de lixo é deixado a cada coleta, que é realizada semanal ou quinzenalmente.

No caso das coletas em grandes geradores (escolas, restaurantes e lanchonetes, entre outros), as coletas são realizadas em bombonas plásticas de 50 (cinquenta) litros (Foto 2), de uma a três vezes por semana (conforme demanda do local), e nas coletas, são feitas as trocas das bombonas cheias de resíduos biogênicos por outras vazias e higienizadas. Nesses casos, não há a utilização de sacos de lixo.



Foto 1. Balde para coleta domiciliar.



Foto 2. Bombonas para coletas de grandes geradores.

Fotos: Julio R. Pinhel

1.3.1 Caracterização do modelo de gerenciamento de resíduos biogênicos do “Ciclo Limpo”

Para caracterizar a atuação do “Ciclo Limpo” como um modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos foram quantificadas:

- a) A quantidade de resíduos biogênicos coletados, através das pesagens com balança manual digital de gancho, com capacidade para até 50 (cinquenta) kg e precisão de 20 (vinte) g, da marca WeiHeng. A cada coleta realizada é realizada a pesagem dos resíduos, no exato momento das coletas. A pesagem referente a cada ponto é então anotada para posterior inserção em planilha específica do Microsoft Office Excel. Estas pesagens são acompanhadas pela data da coleta e pelo respectivo ponto de coleta. Estes dados irão compor parte do relatório de acompanhamento enviado a cada participante mensalmente;
- b) A quantidade de composto produzido, através de aplicação de um fator de redução de massa obtido a partir da pesagem inicial dos materiais que compunham uma pilha de compostagem (resíduos biogênicos e serragem) e a posterior pesagem, após 120 (cento e vinte) dias, quando a pilha já tinha virado composto. Foram feitas pesagens em 5 pilhas de compostagem e este fator de redução foi obtido através da média simples entre elas;

- c) A quantidade de participantes que aderiram ao “Ciclo Limpo” ao longo do tempo de operações do empreendimento, medida a partir do número de termos de parceria assinados.

Também foram realizadas análises dos compostos produzidos, a fim de avaliar a sua qualidade agronômica. É importante salientar que os compostos foram produzidos a partir da compostagem de resíduos biogênicos domiciliares e comerciais, utilizando-se serragem de *Pinus* sp (em maravalha ou pó) como material fonte de carbono.

Para tanto, foram efetuados os exames de 5 (cinco) amostras de composto pronto para uso no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA), UNESP, Botucatu/SP. Os parâmetros analisados foram: Nitrogênio, Pentóxido de Fósforo, Óxido de Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Ferro, Manganês, Sódio, Cobre, Zinco, pH, Relação C/N, Carbono Total, Umidade, Matéria Orgânica Total.

Ainda foram realizadas análises de metais pesados no Laboratório de Metais Pesados, do Departamento de Solos e Recursos Ambientais da FCA, UNESP, Botucatu/SP em 6 (seis) amostras de compostos orgânicos, sendo uma amostra do composto produzido pelo “Ciclo Limpo” e 5 (cinco) amostras de outros compostos orgânicos comerciais ou produzidos a partir de processos de compostagem.

Estes foram chamados de J1 a J6 para fins do presente estudo, conforme segue:

J1: Composto orgânico produzido pelo “Ciclo Limpo”;

J2: Composto orgânico produzido a partir de processo de compostagem de resíduos biogênicos de feiras livres da cidade de São Paulo/SP;

J3: Composto orgânico comercial (marca A);

J4: Composto orgânico comercial (marca B);

J5: Composto orgânico comercial (marca C);

J6: Composto orgânico produzido a partir de processo de compostagem de resíduos biogênicos da cantina e refeitório de escola do município de Botucatu/SP.

Nestes casos, foram analisadas as presenças dos seguintes metais pesados: Arsênio, Bário, Cádmio, Chumbo, Cobre, Cromo, Mercúrio, Molibdênio, Níquel, Selênio e Zinco.

Por fim, foram calculadas as emissões de gases efeito estufa evitadas (calculadas em t de CO₂-eq). Para isso, utilizou-se o fator encontrado por Inácio (2010) em experimentos de campo com leiras estáticas com aeração passiva, o qual foi determinado considerando o fator de emissão padrão da metodologia (AMS.III,F) para aterros de resíduos, onde 1,0 t de restos de alimentos gera cerca de 0,85 tCO₂-eq, referente às emissões de metano, em um período de 10 anos. Esta mesma quantidade de resíduo enviada para um processo de compostagem geraria apenas 0,084 tCO₂-eq, resultando em um potencial de mitigação das emissões de metano de cerca de 90%, considerando a metodologia de cálculo citada (INÁCIO, 2010).

Portanto, a diferença entre as emissões geradas no aterro sanitário e do processo de compostagem é de 0,766 tCO₂-eq para 1,0 t de resíduos biogênicos. A partir dessas constatações, foi adotado o fator de 0,77 para se estimar as emissões evitadas. Cabe ressaltar que foram consideradas apenas as emissões evitadas pelo processo de compostagem.

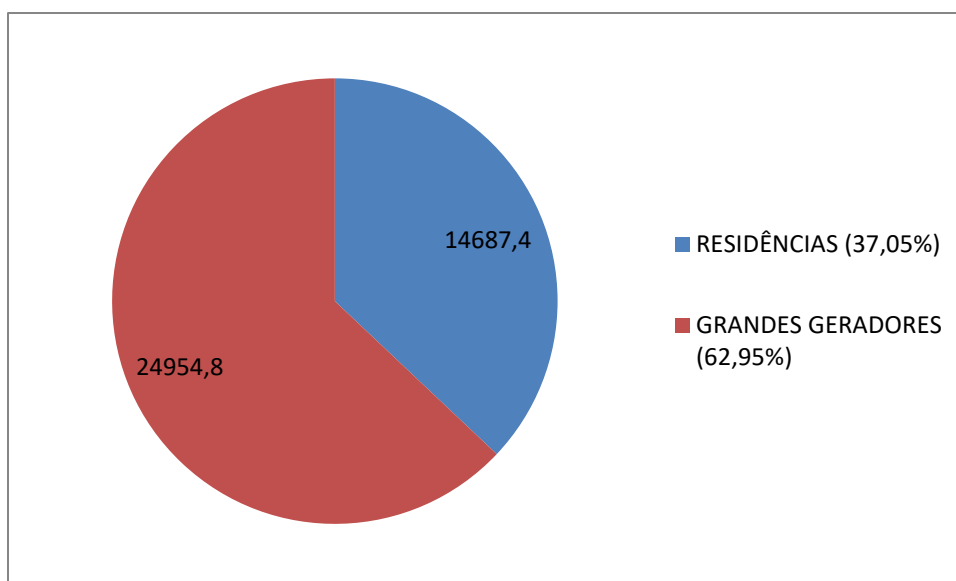
O período observado para o levantamento dos dados foi de outubro de 2016 a março de 2019, período em que também foram obtidas informações relevantes através da observação em campo da rotina do projeto, tais como a operação das composteiras.

1.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Atualmente, o “Ciclo Limpo” conta com 54 (cinquenta e quatro) pontos de coleta, sendo 3 (três) restaurantes, 2 (duas) lanchonetes, 2 (duas) escolas, 1 (um) armazém, 1 (uma) empresa de embalagens feita a partir de fécula de mandioca e 45 (quarenta e cinco) residências. Isso corresponde a pouco mais de 3 (três) toneladas de resíduos biogênicos domiciliares e comerciais coletadas mensalmente (dado atualizado de março de 2019) e 39,64 toneladas coletadas e compostadas desde o início do projeto.

A Figura 1 mostra a quantidade de resíduos biogênicos coletada tanto nas residências quanto nos grandes geradores desde o início do projeto (até março de 2019). Apesar de apenas nove pontos de coleta serem grandes geradores (restaurantes, lanchonete, escolas, armazém e empresa), ou seja, 16,67% do total, enquanto as quarenta e cinco residências representam 83,33% do total, estes foram responsáveis por 62,95% de todos os resíduos coletados até o presente momento.

Figura 1. Quantidade de resíduos biogênicos coletada em residências e em grandes geradores (em kg)



A estimativa é que das 39,64 toneladas de resíduos biogênicos coletadas, sejam produzidas até 10,33 toneladas de composto, levando-se em conta que do total de resíduos coletados, 26% (em peso) se transforma em composto após o processo de compostagem, dado que pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1. Total de entrada de materiais nas pilhas de compostagem (resíduos biogênicos + serragem), total de saída (composto pronto), e as respectivas porcentagens de composto.

Entrada: resíduos biogênicos + serragem (kg)	Saída: composto pronto (kg)	Porcentagem de composto
310,20	90,84	29,28%
402,10	102,69	25,54%
522,70	147,24	28,17%
427,70	120,29	28,12%
436,00	83,38	19,12%
Média da produção de composto		26,05%

Através da compostagem das 39,64 toneladas de resíduos biogênicos foram evitadas as emissões de aproximadamente 30,52 toneladas de gases efeito estufa no período de operação do projeto, valor calculado utilizando-se o fator de redução de 0,77 ($39,64 \times 0,77$) encontrado por Inacio (2010), conforme descrito anteriormente.

A Figura 2 mostra que, de outubro de 2016, quando o “Ciclo Limpo” iniciou suas atividades, a março de 2019, houve um aumento na adesão de pontos de coletas, destacando-se um primeiro período, entre outubro de 2016 a outubro de 2017 em que se observa um crescimento contínuo de adesões. Com um ano de atividades, o projeto contava com 20 (vinte) participantes.

O período entre outubro de 2017 e agosto de 2018 começou e terminou com 20 participantes. No entanto, neste período houve 3 (três) saídas de participantes do projeto e também 3 (três) novas adesões. Das três saídas, duas ocorreram por motivo de mudança geográfica dos participantes e uma devido a saída de um grande gerador, um sítio que encerrou suas atividades de produção de hortaliças e por este motivo cancelou o serviço das coletas e compostagem.

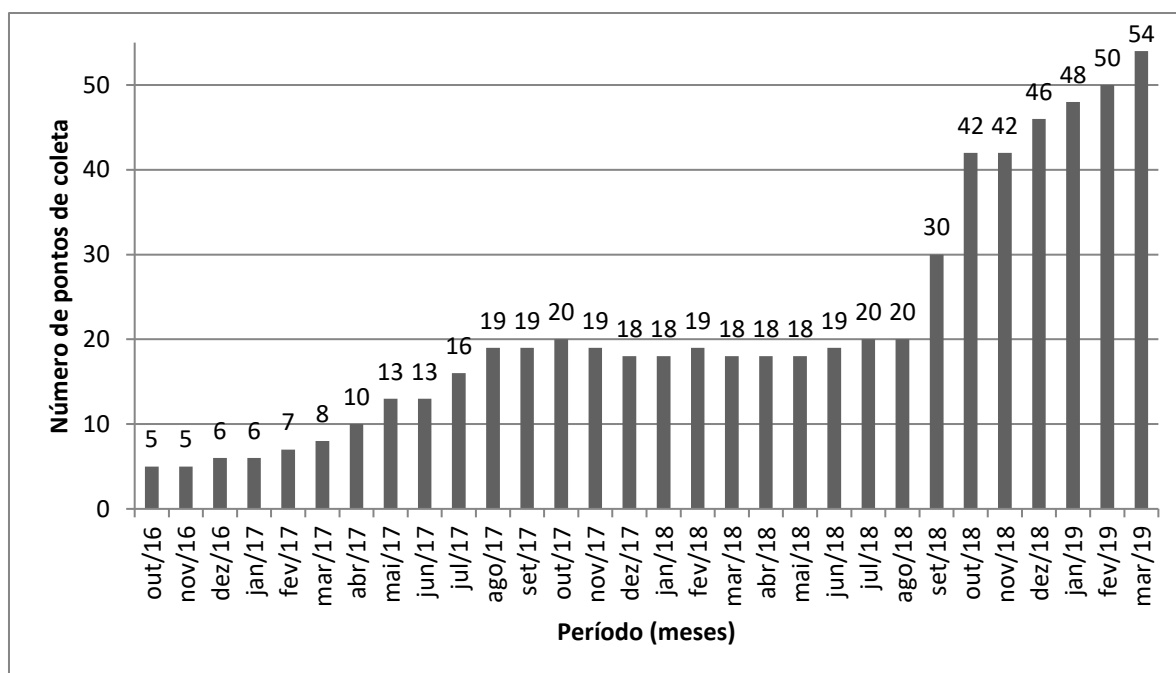
Nenhuma das saídas foi por falha na prestação de serviço, falta de qualidade ou compromisso nas coletas e no processo de compostagem. Isso demonstra que o projeto está sendo desenvolvido com responsabilidade e na busca contínua pela excelência na prestação dos serviços e relacionamento com os participantes.

Neste período de outubro de 2017 a agosto de 2018 houve somente três novas adesões, provavelmente devido às poucas ações de comunicação e marketing desenvolvidas pelo projeto na busca por novos participantes.

Contudo, os meses de setembro e outubro de 2018 marcaram o segundo período de destaque com relação ao número de novas adesões, o qual cresceu significativamente e o projeto aumentou em 110% o número de participantes apenas nestes dois meses, como pode ser observado na Figura 2. Isso se deu devido à duas ações de comunicação do “Ciclo Limpo”, que foram o lançamento do *website* e a veiculação de um vídeo do projeto. Ambos foram lançados acompanhados de uma campanha de divulgação nas redes sociais. E também devido à participação do “Ciclo Limpo” na maior feira de meio ambiente do município e região, a Feira do Verde. Foram quatro dias de exposição.

A partir de dezembro de 2019, o número de adesões não parou de crescer mais, mantendo uma taxa contínua de 3 (três) novas adesões por mês, em média. Isso demonstra que o projeto tem uma boa aceitação pela população, que entende sua importância e está disposta a participar.

Figura 2. Aumento no número de pontos de coletas no período de outubro de 2016 a março de 2019



Na Figura 3 observa-se a quantidade de resíduos biogênicos domiciliares e comerciais coletada (em kg) e a respectiva quantidade estimada de produção de composto. Em termos gerais é possível notar um aumento praticamente constante na quantidade coletada (e consequentemente na produção de composto) ao longo de quase todo o período.

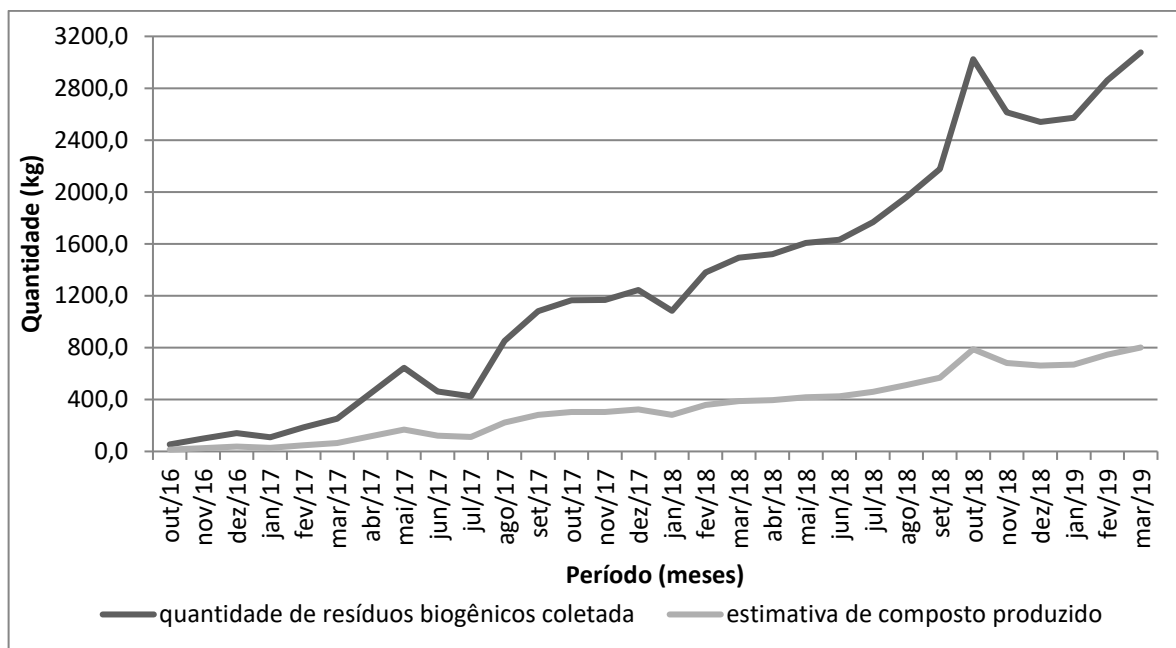
Os aumentos significativos das quantidades de resíduos coletadas observadas a partir de agosto de 2017, janeiro de 2018 e julho de 2018 se devem ao fato das adesões de grandes geradores ao projeto, no caso, restaurantes. Os restaurantes são os pontos que se caracterizam pela geração das maiores quantidades de resíduos biogênicos.

A partir de setembro de 2018, quando houve a entrada de 10 (dez) novos participantes, observa-se que pela primeira vez no período a quantidade coletada passou de duas toneladas mensais. Em outubro de 2018, com a entrada de mais 12 (doze) participantes, a quantidade coletada ultrapassou as três toneladas mensais.

Apesar desta quantidade cair nos dois meses seguintes (novembro e dezembro de 2018), a partir daí voltou a crescer mês e mês, devido à entrada de novos participantes no projeto, ultrapassando novamente a barreira das 3 (três)

toneladas coletadas no mês de março de 2019 (mês que marcou a maior quantidade coletada em todo o período).

Figura 3. Quantidade de resíduos biogênicos coletada (em kg) x quantidade estimada de produção de composto (em kg), de outubro de 2016 a março de 2019



Nesta figura ainda é possível observar seis meses em que houve queda na quantidade coletada e, conseqüentemente, na produção de composto: em janeiro, junho e julho de 2017; e também em janeiro, novembro e dezembro de 2018. Isso muito provavelmente deve-se ao fato das férias escolares, pois, além de dois dos pontos de coleta serem escolas (grandes geradores) que geram quantidades significativas de resíduos por mês, alguns participantes viajam nestes períodos e tem suas coletas suspensas.

As análises dos compostos produzidos, a fim de avaliar a sua qualidade agrônômica, apresentaram os resultados mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Análises da matéria orgânica total dos compostos produzidos a partir da compostagem de resíduos biogênicos e serragem

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	M.O.-Total	C.-Total	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N (total)	pH
** % (ao natural)									** mg/Kg (ao natural)						ao natural	
0,96	1,77	1,01	3,26	0,28	0,31	48	26	14	1563	---	29	6261	352	140	15/1	6,5
1,30	0,54	1,29	1,65	0,25	0,15	42	45	25	2703	---	20	2621	94	37	19/1	7,2
1,12	0,37	0,80	1,40	0,19	0,11	50	39	22	2111	---	16	2191	61	29	20/1	6,8
1,38	0,81	1,07	1,62	0,39	0,13	41	45	42	3003	---	8	966	114	33	18/1	6,5
0,87	0,21	0,98	1,66	0,31	0,16	46	26	35	2526	---	13	3386	113	59	17/1	6,8

** Teores totais

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos – UNESP – Botucatu/SP

De acordo com a Instrução Normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que “aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura” (BRASIL, 2009), os compostos produzidos no presente estudo são *compostos orgânicos de classe C*, aqueles que são produzidos utilizando resíduos alimentares como matéria-prima.

Estes compostos, conforme a Instrução Normativa citada (2009), são obtidos pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, e devem atender aos parâmetros estabelecidos nesta Instrução, como segue:

- Umidade (máxima): 50%;
- N total (mínimo): 0,5%;
- C total (mínimo): 15%;
- pH (mínimo): 6,5;
- Relação C/N (máxima): 20/1;
- Outros nutrientes: conforme declarado.

Assim, todos os parâmetros para os teores de nutrientes demonstraram-se adequados conforme indicados na Tabela 2. Os resultados indicaram que os compostos se encontram estabilizados e prontos para serem aplicados ao solo, em hortas, jardins e outras aplicações agronômicas.

Com relação às análises de metais pesados, os resultados são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Análises de metal pesado em compostos produzidos a partir de processos de compostagem (J1, J2 e J6) e em compostos vendidos comercialmente (J3, J4 e J5)

AMOSTRAS	As	Ba	Cd	Pb	Cu	Cr	Hg	Mo	Ni	Se	Zn
	mg/kg										
J1	< 4,5	4,4	< 0,2	< 0,3	126	5,5	< 2	0,69	3,5	48,3	33
J2	< 4,5	14,1	2,2	6,2	34	119,1	< 2	1,34	46,8	27,1	77
J3	< 4,5	11,5	4,1	2,9	85	67,9	< 2	< 0,6	33,8	137,5	64
J4	< 4,5	6,7	3,4	< 0,3	68	737,9	< 2	34,97	448,4	32,3	41
J5	< 4,5	28,4	1,4	6,2	22	69,6	< 2	< 0,6	47,4	20,8	28
J6	< 4,5	8,1	3,2	4,3	34	66,3	< 2	< 0,6	23,8	7,1	51

Fonte: Laboratório de Metais Pesados – UNESP – Botucatu/SP

Certos metais pesados são essenciais para determinados ecossistemas, sendo benéficos para o desenvolvimento de algumas plantas. No entanto, outros metais pesados como arsênio (As), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e cromo (Cr) são tóxicos, mas mesmo assim estão presentes em diversos tipos de fertilizantes e compostos orgânicos. Esses metais possuem propriedades de bioacumulação no meio ambiente, no tecido dos seres vivos e, posteriormente, se potencializam na cadeia alimentar. A bioacumulação faz com que concentrações normais se transformem em concentrações tóxicas ao se acumularem, proporcionando riscos à saúde em longo prazo - e isso pode chegar até as pessoas por meio dos alimentos.

Para amenizar a questão, há limites toleráveis de teores de concentrações que podem ser admitidas nesse tipo de produto. Os limites variam de acordo com a legislação de cada país, o que demonstra orientações não uniformes no estabelecimento dessas normas e a necessidade de estudos mais aprofundados a respeito. No Brasil, os teores são determinados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

De acordo com a Instrução Normativa SDA nº 27/2006 do MAPA, em seu anexo V que cita os “limites máximos de contaminantes admitidos em fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo” (BRASIL, 2016), os valores máximos admitidos para cada contaminante são:

Arsênio (As): 20,00 mg/kg;

Cádmio (Cd): 3,00 mg/kg;

Chumbo (Pb): 150 mg/kg;

Cromo (Cr): 2,00 mg/kg*;

Mercúrio (Hg): 1,00 mg/kg;

Níquel (Ni): 70 mg/kg;

Selênio (Se): 80 mg/kg.

**O valor de 2,00 mg/kg de Cr refere-se ao Cromo Hexavalente. No caso da presente análise, o valor de referência utilizado pelo Laboratório de Metais Pesados é do Cromo Total, cujo limite máximo é de 200,00 mg/kg.*

Dessa forma, analisando-se os resultados apresentados na Tabela 3 e os parâmetros da referida instrução normativa, pode-se inferir que:

- Com relação ao As, Pb e Hg, todos os compostos analisados estão dentro da norma;
- Com relação ao Cd, os compostos J3, J4 e J6 apresentaram valores acima do máximo permitido;
- Com relação ao Cr, o composto J4 apresentou valor acima do máximo permitido;
- Com relação ao Ni, o composto J4 apresentou valor acima do máximo permitido;
- Com relação ao Se, o composto J3 apresentou valor acima do máximo permitido.

Com isso, dos seis compostos orgânicos, apenas metade atendeu à instrução normativa, apresentando todos os valores dentro dos parâmetros (J1, J2 E J5). O composto produzido pelo “Ciclo Limpo” é o J1 e foi um dos que atendeu à norma. Os demais compostos analisados apresentaram pelo menos um contaminante com valores acima do permitido pela norma.

Analisando-se o Contrato/Aditivo nº 297/2018 da Prefeitura Municipal de Botucatu, cujo objeto é a “contratação de empresa especializada para implantação e execução do novo sistema integrado de limpeza urbana – SILU de Botucatu”, atualmente o município gasta R\$ 490.437,50 por mês na coleta manual e mecanizada de resíduos sólidos domiciliares. São coletadas 3.125 toneladas por mês, ou seja, são gastos R\$ 156,94 por tonelada, apenas com a coleta.

A operacionalização do Aterro Municipal em Botucatu é de responsabilidade da Prefeitura de Botucatu. De acordo com a informação repassada para este estudo pelo técnico responsável pelo Aterro Municipal de Botucatu, o município gasta R\$ 90,00 para o aterramento por tonelada de RSU. Ou seja, o custo total de coleta e aterramento na cidade é de R\$ 246,94 por tonelada de RSU.

Conforme citado anteriormente no presente estudo, a fração orgânica dos resíduos domiciliares de Botucatu representa 62,9% do total (PMGIRS, 2016). Ou seja, do montante gasto por mês, R\$ 308.485,19 é só para a coleta dos resíduos biogênicos. Somando os custos de aterramento, são mais R\$ 176.906,25 gastos. Ou seja, na coleta e aterramento apenas dos resíduos biogênicos domiciliares são gastos R\$ 485.391,44 por mês. Em primeira instância, este valor poderia ser economizado pelos cofres públicos no caso de toda a população botucatuense aderir ao “Ciclo Limpo”. Esse seria o cenário ideal, mas é hipotético pois devido aos custos associados à adesão, parte da população não poderia destinar seus resíduos biogênicos desta forma.

De maneira prática, são geradas 57,87 toneladas de resíduos biogênicos todos os dias em Botucatu. A primeira meta do “Ciclo Limpo” é atender a 5% desta geração, ou seja, aproximadamente 3 toneladas por dia. Ou 90 toneladas por mês. Isso geraria uma economia de R\$ 22.224,60 por mês, ou R\$ 266.695,20 por ano.

Minimamente, o município economiza R\$ 246,94 por tonelada de resíduo biogênico encaminhado para a coleta e compostagem. Até o presente momento, Botucatu economizou R\$ 9.788,70 com as 39,64 toneladas de resíduos biogênicos que foram coletadas e tratadas adequadamente pelo “Ciclo Limpo”.

Com relação ao modelo de gestão de resíduos biogênicos do “Ciclo Limpo”, para possibilitar que esta aconteça, são desenvolvidas ações em cinco vertentes: Gestão de Parcerias, Gestão Financeira, Comunicação e Marketing, Relacionamento com os Participantes e o Gerenciamento Descentralizado dos Resíduos Biogênicos.

1.4.1 Gestão de parcerias

Dentre as parcerias do projeto, se destaca aquela que possibilita a implementação e realização do processo de compostagem, que é com o RESIDUALL – Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos, na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu/SP. Tal parceria é vital, pois seria inviável financeiramente a locação ou compra de um terreno para a realização da compostagem, principalmente durante o período inicial do empreendimento. Por isso, é importante que o “Ciclo Limpo” esteja alinhado com este parceiro, entendendo suas necessidades e expectativas, para construir juntos uma relação que beneficie ambos.

Além desta parceria, existem alguns empreendimentos parceiros, no caso os grandes geradores os quais se beneficiam do marketing do projeto e também divulgam o mesmo entre os seus clientes. Para tanto, todos aqueles grandes geradores que fazem a adesão recebem um selo (adesivo) com os dizeres “este local destina seus resíduos orgânicos corretamente através da compostagem” que contém a logomarca do “Ciclo Limpo” para afixarem em seus estabelecimentos.

As logomarcas destes grandes geradores também são divulgadas na primeira página do *website* do “Ciclo Limpo” como parceiros do projeto. O objetivo é divulgar os estabelecimentos que estão destinando corretamente seus resíduos biogênicos, como forma de sensibilização da população para que incentivem estes locais. Por exemplo, uma pessoa pode optar por fazer uma refeição num restaurante que ela saiba o que faz com seus resíduos.

1.4.2 Gestão financeira

A Gestão Financeira é outro ponto de grande relevância para o projeto. Apesar do lucro não ser a principal métrica de sucesso do “Ciclo Limpo”, sem uma boa gestão financeira a sua sustentabilidade fica comprometida. Por isso, são realizadas atividades como: registro e análise do fluxo de caixa, pagamentos a fornecedores, realização de cobranças de faturas vencidas, previsões orçamentárias e captação de recursos.

1.4.3 Comunicação e marketing

As atividades relacionadas às áreas de Comunicação e Marketing possuem duas funções estratégicas: aumentar o número de participantes e dar visibilidade ao projeto. Para isso são utilizados como canais de venda e comunicação o *website* do “Ciclo Limpo”, lançado em setembro de 2018, as redes sociais *Facebook* e *WhatsApp* e a participação em eventos (incluindo a realização de palestras e oficinas).

Em outubro de 2018 foi lançado um vídeo relatando o funcionamento do “Ciclo Limpo”, sua história e como surgiu a ideia, assim como apresentando entrevistas com participantes (tanto domiciliares como grande geradores). Este vídeo teve mais de 10.000 (dez mil) visualizações até o final de março de 2019.

Ainda foram confeccionados três mil panfletos que estão sendo distribuídos de forma estratégica em locais de grande circulação de pessoas e também por onde

passam pessoas que possam estar pré-dispostas a aderir ao projeto. Além disso, foram confeccionados quatrocentos e cinquenta cartões de visita e adesivos sobre o projeto, todas as ações visando à melhoria da comunicação.

1.4.4 Relacionamento com os participantes

A quarta área chave do projeto é o Relacionamento com os Participantes, responsável por construir uma relação duradoura e de confiança com os mesmos, minimizar a taxa de cancelamentos e aumentar o seu nível de satisfação.

Uma das ações nesse sentido é manter uma comunicação constante com estes, via aplicativo de celular, e-mail ou pessoalmente, para conversar sobre o dia a dia da separação dos resíduos, tirar dúvidas, reagendar coletas, distribuir os brindes do mês, entre outras informações. Essa proximidade cria uma relação fundamental entre as partes.

Foram identificadas necessidades de melhorias em três destas áreas: Gestão de Parcerias, Gestão Financeira e Comunicação e Marketing, nas quais existem pontos a serem melhorados e aperfeiçoados para que o modelo seja ainda mais eficiente, financeira e socialmente, contribuindo inclusive para o desenvolvimento de uma nova cultura relacionada aos resíduos.

Com relação às parcerias, faz-se necessário a busca por novos parceiros que possam ajudar a alavancar o “Ciclo Limpo” enquanto negócio. Esses parceiros podem ser incubadoras, aceleradores, investidores ou empresas que se beneficiam do marketing ambiental do projeto. Por outro lado, também é fundamental firmar parcerias com o poder público, por exemplo, através da cessão (convênio ou comodato) de um espaço ou terreno público para a implantação de um pátio de compostagem.

Com relação à área financeira, neste momento é fundamental que o sistema de cobrança das mensalidades possa ser totalmente informatizado para que os participantes passem a realizar os pagamentos mensais através de cartão de crédito ou boleto bancário. Atualmente as principais formas de pagamento utilizadas são em dinheiro, cheque ou via depósito bancário, e isso dificulta muito este procedimento. Ainda nesta área, faz-se fundamental a busca por uma capacitação técnica que auxilie a empresa na precificação dos seus serviços, para que os valores cobrados

possam estar de acordo com uma possibilidade real de viabilidade econômica do negócio.

Já com relação à área de comunicação e marketing, há muito que se avançar. É fundamental a realização de campanhas contínuas de comunicação e Educação Ambiental para divulgar as ações do projeto, junto com o incremento na distribuição estratégica dos panfletos. É preciso melhorar e ampliar a comunicação via *website* e redes sociais, aprofundando sobre o funcionamento e a dinâmica destas ferramentas. Ainda foi identificada a necessidade de fazer o trabalho “porta a porta” de venda do projeto, principalmente nos grandes geradores (restaurantes, lanchonetes, condomínios, etc).

Ainda com relação à comunicação e ao marketing, é importante fortalecer o valor do serviço e do produto, no sentido de fazer com que estes sejam desejados e atraiam o interesse dos consumidores. Assim como detectar e aproveitar as oportunidades através de pesquisas de mercado, definição de público-alvo, análise de possíveis concorrentes, etc.

Também é importante desenvolver uma análise *SWOT* (abreviação das palavras em inglês *strenghts*, *weaknesses*, *opportunities* e *threats*) do “Ciclo Limpo”, que é uma ferramenta de gestão e planejamento estratégico para avaliar as forças e fraquezas (intrínsecas da empresa) e as oportunidades e ameaças (relacionadas ao ambiente externo), também conhecida como análise FOFA em português.

1.4.5 Gerenciamento descentralizado dos resíduos biogênicos

As quatro linhas de ações apresentadas anteriormente são o que possibilitam a realização da atividade fim da organização, que é o gerenciamento descentralizado dos resíduos biogênicos. A compostagem descentralizada, de acordo com Siqueira e Assad (2015), é realizada por instituições públicas ou privadas, em localização dentro do perímetro urbano ou periurbano, onde os resíduos são provenientes de poucos grupos de geradores.

Nestes casos, a unidade de compostagem pode ser localizada dentro de instituições, no seio da comunidade ou próxima ao local de origem. Estão inseridas no modelo descentralizado a compostagem individual ou domiciliar, institucional e/ou privado, comunitária, e os pátios de compostagem urbano.

O “Ciclo Limpo” é um modelo descentralizado de compostagem e pode ser inserido tanto no modelo de compostagem comunitária quanto no de pátio de

compostagem urbano. Seu gerenciamento descentralizado é dividido entre a coleta e transporte dos resíduos, e a compostagem.

1.4.5.1 Coleta e transporte dos resíduos biogênicos

a) Cadastro de novos participantes e criação das rotas

A cada novo participante que realiza a adesão, são registradas as seguintes informações: nome completo, endereço, bairro, telefones residencial e celular, e-mail, *facebook*, RG e CPF. Então, é assinado um Termo de Parceria com os direitos e deveres das partes, em duas vias de igual teor, através do qual o novo participante também recebe todas as instruções necessárias para participar do projeto, como os dias de coleta, os resíduos que podem ou não ser compostados e como funciona o sistema de recompensas (brindes), no qual o participante ganha 1 kg (um quilo) de composto orgânico ou uma muda de hortaliça ou tempero a cada mês (Fotos 3 e 4), podendo escolher entre as variedades que são oferecidas.



Foto 3. Sacos de 1 kg de composto orgânico (brinde).



Foto 4. Mudas (brinde).

Fotos: Julio R. Pinhel

No momento da assinatura do Termo, o participante recebe o seu balde e o primeiro saco de lixo. A partir de então, o participante é adicionado à base de clientes e incluído na rota de coleta, e em no máximo 7 (sete) dias corridos a primeira coleta é realizada. A ordem das coletas é definida a fim de gerar o trajeto mais curto possível e facilitar a logística de transporte. O procedimento para os grandes geradores é o mesmo, apenas varia o tamanho e a quantidade de bombonas utilizadas e a periodicidade das coletas.

b) Acondicionamento dos resíduos

Para acondicionar e transportar os resíduos biogênicos de forma segura, para os grandes geradores são utilizadas bombonas plásticas de 50 litros que geralmente são usados pela indústria alimentícia. Suas principais vantagens são o baixo custo (compra de bombonas reutilizáveis, em sucatações da cidade) e a capacidade de isolar os resíduos, fazendo com que não se proliferem odores e vetores nos locais de coleta e durante o transporte.

No caso das residências são utilizados baldes de cor branca de 20 litros com tampa e um saco de lixo de 50 litros na cor verde para acondicionamento dos resíduos até o dia da coleta.

c) Coletas

As coletas acontecem semanal ou quinzenalmente na residência de cada participante (dependendo do plano escolhido pelo participante), podendo ser realizadas através do contato direto com o mesmo, ou o participante pode deixar o saco de lixo na lixeira em frente a sua casa. Durante esse processo, é coletado apenas o saco de lixo com os resíduos biogênicos (Foto 5), e transferido para uma bombona coletora adequada para o transporte. O coletor deixa um novo saco de lixo a cada coleta (Foto 6).



Foto 5. Coleta dos resíduos biogênicos.



Foto 6. Novo saco de lixo deixado no domicílio.

Fotos: Flávio Kenji

No caso dos grandes geradores, em que são utilizadas única e exclusivamente bombonas plásticas de 50 litros nas coletas, as cheias são trocadas por vazias, higienizadas e prontas para o uso. Nestes casos, a periodicidade das

coletas e o número de bombonas a serem utilizadas depende da geração de resíduos de cada local.

Além disso, o coletor também pesa os resíduos coletados em cada ponto de coleta e registra em sua rota o peso em quilogramas dos mesmos (Foto7). Assim que o coletor finaliza a sua rota, ele leva todos os resíduos imediatamente para as composteiras.



Foto 7. Pesagem dos resíduos biogênicos domiciliares no momento da coleta.

Foto: Flávio Kenji

d) Transporte

Os meios de transporte utilizados atualmente são dois veículos, um modelo Fiat Palio Weekend Adventure 1.8 flex ano 2005 e um Fiat Uno Fire Economy 1.0 flex ano 2013. Em ambos os casos os bancos traseiros são abaixados para aumentar a capacidade de carga, suportando até 500 (quinhentos) kg por coleta, de acordo com os respectivos manuais dos automóveis.

1.4.5.2 Compostagem

O processo de compostagem é realizado em área pertencente ao RESIDUALL – Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos, da Fazenda Experimental Lageado, na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu/SP.

No método de compostagem do “Ciclo Limpo” são utilizadas composteiras (baias) de concreto de 1m³ cada, num total de 32 baias (Foto 8). Cada uma suporta entre 300 e 400 kg de resíduos biogênicos mais o material fonte de carbono a ser utilizado. Ou seja, em uma baia pode ser colocado até pouco mais de 500 kg.



Foto 8. Baias de concreto de 1m³ cada utilizadas para a compostagem

Foto: Flávio Kenji

Em média, o tempo de compostagem é de 120 dias. Esse método possui a capacidade de fazer com que os resíduos atinjam temperaturas termófilas, garantindo um processo ambientalmente adequado. E o resultado é um composto orgânico estabilizado, de boa qualidade agronômica e livre de patógenos.

a) Escolha dos insumos

A matéria fonte de carbono comumente utilizada é a serragem de *Pinus* sp (maravalha ou pó) pela sua fácil disponibilidade e por não ter custo para o projeto (trata-se de um resíduo das madeireiras locais, que doam este material para o “Ciclo Limpo”).

b) Manejo das composteiras

A cada nova composteira (baia) que é iniciada, primeiro é feita uma camada de serragem para que os resíduos biogênicos não sejam colocados em contato direto com o concreto. Na sequência é colocado o resíduo coletado no dia, o qual é totalmente coberto com uma camada espessa de serragem. No dia seguinte, é colocada nova camada do resíduo coletado, e mais uma vez este é coberto com serragem. Este processo é repetido até que a baia encha, o que leva, em média, cinco dias. Cada baia cheia então constitui uma pilha de compostagem (Fotos 9, 10, 11 e 12).



Fotos 9, 10, 11 e 12. Montagem da baia (pilha) de compostagem em camadas: serragem, resíduos biogênicos e cobertura novamente com serragem.

Fotos: Julio R. Pinhel

Os resíduos são cuidadosamente arrumados dentro de cada baia com o auxílio de um garfo ou pá, assim como a cobertura de serragem. O manejo é realizado principalmente através dos revolvimentos, que em média acontecem quinzenalmente, e através da correção da umidade molhando-se as baias com auxílio de mangueira. Após 45 dias, devido à decomposição, o material dentro da baia reduz pela metade o seu volume, ponto esse em que duas baias com a mesma “idade” podem ser unidas, a fim de otimizar o espaço.

Após este período a fase ativa (termófila), caracterizada pelas altas temperaturas (até 65°C) e pela atividade intensa dos microrganismos, chega ao seu fim e as temperaturas chegam à faixa mesófila, o que significa diminuir para 30°C, em média, iniciando a fase de maturação. Com 120 dias, no máximo, o composto maturado é retirado da baia, acondicionado em sacos de ráfia e levados ao galpão do RESIDUALL onde é feita a peneiragem e o acondicionamento do composto.

c) Peneiragem e acondicionamento do composto

Depois de pronto, o composto é peneirado em uma peneira mecânica construída especificamente para este fim. Nessa etapa, são removidas as partes maiores ou de lenta degradação que ainda não se decompuseram completamente, e estas são reinseridas no processo de compostagem. Assim, o composto é embalado e selado em sacos plásticos de 1 kg, 2 kg e de ráfia de 10 e 20 kg, e estão prontos para serem destinados para os participantes ou vendidos para fins de adubação (Foto 13). O composto vendido constitui parte da receita do “Ciclo Limpo”, o que corresponde a 15% da receita mensal.



Foto 13. Composto orgânico pronto para uso.

Foto: Julio R. Pinhel

1.5 CONCLUSÕES

No contexto atual do país, no qual lidar com os RSU é considerado um desafio diário para as municipalidades, o “Ciclo Limpo” desenvolve um modelo de gerenciamento descentralizado de grande importância para a coleta e destinação adequada dos resíduos biogênicos.

Além de reduzir o impacto ambiental através da destinação adequada dos resíduos biogênicos para a compostagem, também está produzindo um insumo agrícola único no mercado local, que é o composto orgânico proveniente da compostagem dos resíduos biogênicos gerados pela própria população. Dessa forma, incentiva a agricultura urbana oferecendo um produto de qualidade e ambientalmente correto.

O modelo de gerenciamento proposto pelo “Ciclo Limpo”, além da possibilidade de gerar emprego e renda, ainda reduz custos econômicos, ambientais e sociais da prefeitura com a coleta, triagem, transporte e destinação final no aterro sanitário.

A missão do Ciclo Limpo é ajudar a população a destinar corretamente seus resíduos biogênicos através da conscientização ambiental e da prática de novos hábitos. Com essa atitude, todos juntos, pode-se transformar a realidade do mundo atual. Tem como visão fazer parte do conjunto de profissionais que estão se tornando referência no gerenciamento municipal de resíduos biogênicos. Isso tudo vem sendo trabalhado a partir de valores como educação, conscientização, compromisso, respeito ao meio e às pessoas, redução, reutilização e reciclagem.

Por outro lado, este modelo apresenta alguns desafios, tais como o aumento do número de participantes, a busca por novos parceiros, a gestão financeira (e a sustentabilidade econômica da empresa), a comunicação e o marketing, assim como encontrar o caminho ideal para que seja replicado em outras cidades e contextos, levando em conta as particularidades de cada comunidade.

Para isso, é fundamental o desenvolvimento de políticas públicas que promovam a sustentabilidade de programas de compostagem, planos municipais de gerenciamento de RSU que abriguem sistemas alternativos de compostagem e mecanismos que incentivem, orientem, fortaleçam e protejam atividades que desviem resíduos biogênicos da disposição final, tal qual previsto na PNRS, e os direcionem para agroecossistemas.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2018.

BOTUCATU. Decreto nº 10.721, de 21 de setembro de 2016. Aprova o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos – PMGIRS e dá outras providências. **Semanário Oficial**, Botucatu, SP, ano 26, n. 1.386-A, p. 1-94, 3 out. 2016.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA Nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 173, 2009.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 81, 2010.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, p.1, edição extra, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**: versão preliminar. Brasília, DF: MMA, 2012.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA Nº 27, de 05 de junho de 2006 (Alterada pela IN DAS nº 7, de 12 de abril de 2016). **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos**: manual de orientação. Brasília, DF: MMA, 2017.

CUNNINGHAM, W.C., STROUBE, W.B. Jr. Application of an instrumental neutron activation analysis procedure to analysis of food. **The Science of the Total Environmental**, Amsterdam, v. 63, p. 29-43, 1987.

HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste**: A Global Review of Solid Waste Management. Washington, D.C.: World, Bank, 2012. (Urban Development Series - Knowledge Papers, 15).

IBGE. **Censo demográfico 2010**: estimativa populacional 2017. Brasília: IBGE, 2010.

INÁCIO, C. T. **Dinâmica de gases e emissões de metano na compostagem de resíduos orgânicos**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica & Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

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

POPULAÇÃO brasileira passa de 207,7 milhões em 2017. *In*: PORTAL BRASIL. Brasília, DF, 30 ago. 2017. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2017/08/populacao-brasileira-passa-de-207-7-milhoes-em-2017>. Acesso em: 14 abr. 2019.

SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 243-264, out./dez. 2015.

CAPÍTULO 2

COMPARAÇÃO DE DIFERENTES BIOMASSAS COMO FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS BIOGÊNICOS

Julio Ruffin Pinhel, Ana Carolina Lopes Amaral Costa, Mariana Bonacelli Montelatto,
Saulo Philipe Sebastião Guerra e Alcides Lopes Leão

RESUMO

A compostagem, técnica praticada por agricultores e jardineiros há muito tempo, é realizada das mais diversas formas. Depende da ação de microrganismos que, entre outras condições favoráveis, dependem da granulometria do material e da relação carbono / nitrogênio (C/N). Assim, a mistura de vários tipos de resíduos biogênicos é a melhor maneira de tentar balancear estes dois parâmetros. Os resíduos biogênicos domiciliares e comerciais são fontes de nitrogênio para a compostagem. Restos de podas, serragem, palhas, etc, são fontes de carbono. Neste contexto, o presente estudo visa comparar o processo de compostagem dos resíduos biogênicos utilizando-se diferentes biomassas fontes de carbono para entender qual destas pode produzir o melhor composto, se adequando melhor ao processo. Para tanto, foi utilizada serragem de *Pinus*, cavaco de eucalipto e fibra de bambu. Foram enviadas amostras destas biomassas para análise da relação C/N e outros parâmetros. Também foram realizadas análises da relação C/N e outros parâmetros de amostras dos resíduos biogênicos. O processo de compostagem foi realizado em baias (pilhas), os materiais foram pesados na montagem das pilhas, a temperatura foi controlada, as pilhas foram revolvidas periodicamente e foi feita a correção da umidade. Foram enviadas amostras dos compostos prontos para análise de macro e micronutrientes. Também foram realizadas análises de granulometria e densidade aparente. Os resultados mostraram que a fibra de bambu não se decompôs por completo após os 120 dias de compostagem, prejudicando o processo. A granulometria não interferiu no processo. A serragem e o cavaco de eucalipto apresentaram resultados semelhantes e ambos demonstraram serem biomassas adequadas para a compostagem.

Palavras-chave: compostagem; biomassa; relação C/N; granulometria.

ABSTRACT

Composting, a technique practiced by farmers and gardeners for a long time, is carried out in a variety of ways. It depends on the action of microorganisms that, among other favorable conditions, depends on the granulometry of the material and the carbon / nitrogen ratio (C/N). Thus, mixing of various types of organic waste is the best approach to balance these two parameters. Household and commercial biogenic waste are source of nitrogen for composting. Remains of pruning, sawdust, straw, etc, are sources of carbon. In this context, the present study aims to compare the composting process of biogenic waste using different biomass carbon sources to understand which of these can produce the best compost, better suiting the process. For that, sawdust of Pinus, Eucalyptus bark and bamboo fiber was used. Samples of these biomass were sent for analysis of the C/N ratio and other parameters. Analyzes of the C/N ratio and other parameters of biogenic waste samples were also performed. The composting process was performed in bays (piles), the materials were weighed in the assembly of the piles, the temperature was controlled, the piles were revolved periodically and the humidity has been corrected. Samples of the ready composts were sent for analysis of macro and micronutrients. Analyzes of granulometry and apparent density were also performed. The results showed that bamboo fiber did not decompose completely after the 120 days of the composting, damaging the process. The granulometry did not interfere with the process. Sawdust and *Eucalyptus* bark showed similar results and both showed to be suitable biomass for composting.

Keywords: composting; biomass; C/N ratio; granulometry.

2.1 INTRODUÇÃO

A compostagem é uma técnica praticada pelos agricultores e jardineiros ao longo dos séculos, sendo realizada das mais diversas formas e processos (CAMPBELL, 1999). Segundo D'Almeida e Vilhena (2000) compostagem é o processo biológico de decomposição da matéria orgânica contida em restos de origem animal ou vegetal tendo como resultado final um produto rico em nutrientes.

De acordo com a norma técnica NBR 13591 (ABNT, 1996), a compostagem é definida como o processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação.

O material oriundo da compostagem é chamado de fertilizante ou composto orgânico, um material estabilizado e que, quando aplicado ao solo, melhora suas características físicas químicas e biológicas.

Bidone (2001) afirmou que por ser um processo puramente microbiológico, a sua eficiência depende da ação e da interação de microrganismos, os quais são dependentes da ocorrência de condições favoráveis, como a temperatura, a umidade, a aeração, o pH, a granulometria do material e a relação carbono/nitrogênio (C/N).

Entretanto, conforme Valente *et al.* (2009), estabelecer condições ótimas de granulometria, porosidade, relação C/N e teor de umidade, bem como inter-relacionar estas condições é bastante difícil, uma vez que cada material a ser compostado apresenta particularidades.

Desta forma, a mistura de vários tipos de resíduos biogênicos é a maneira mais adequada de tentar balancear a relação C/N e a granulometria, que além dos nutrientes necessários para o desenvolvimento microbiano, favorecerá também a homogeneização da massa em compostagem, obtendo assim uma melhor porosidade, o que acarretará uma menor compactação devido à maior capacidade de aeração (VALENTE *et al.*, 2009).

A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbiológico, já que a atividade dos microrganismos envolvidos no processo depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (SHARMA *et al.*,

1997). Desta forma, a relação C/N deve ser determinada no material a ser compostado, para efeito de balanço de nutrientes, e também no produto final, para efeito de qualidade do composto (MORREL *et al.*, 1985).

A quantidade de N exigida por unidade de C varia com os tipos de microrganismos envolvidos no processo (PEIXOTO, 1988). Pereira Neto (2007) afirmou que o tempo necessário para que se processe a decomposição e a mineralização é, em grande parte, determinado pela concentração de N da matéria orgânica. Porém, Costa (2005) salientou que a qualidade do C, a ser digerido, também interfere na velocidade e na quantidade de carbono que será transformado em CO₂ durante a compostagem.

Diversos pesquisadores afirmam que a relação C/N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 (ZUCCONI e BERTOLDI, 1986; LOPEZ-REAL, 1994; FONG; WONG; WONG, 1999; KIEHL, 2004), uma vez que durante a decomposição os microrganismos absorvem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (GORGATI, 2001; KIEHL, 2004).

Os resíduos biogênicos domiciliares e comerciais são constituídos principalmente por cascas de frutas, verduras, legumes, e restos de alimentos cozidos ou estragados, entre outros. Estes resíduos são fontes de nitrogênio para a compostagem. Outros tipos de resíduos como restos de podas (galhos e folhas secas), serragem, palhas, entre outros, são fontes ricas em carbono (TEIXEIRA, 2004).

A granulometria, assim como a relação C/N, é uma importante característica a ser considerada, pois interfere no processo de compostagem. A decomposição da matéria orgânica é um fenômeno microbiológico cuja intensidade está relacionada à superfície específica do material a ser compostado, sendo que quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que poderá ser atacada e digerida pelos microrganismos, acelerando o processo de decomposição (KIEHL, 1985; KEENER; DAS, 1996; FERNANDES; SILVA, 1999).

A área superficial disponível é um fator importante para a atividade microbiana aeróbia, pois a maior parte da decomposição aeróbia de compostagem ocorre na superfície das partículas. A população de microrganismos aeróbios se acumula na camada de líquido em torno da superfície de partículas, utilizam o

oxigênio disponível na superfície da partícula, deixando o interior essencialmente inalterado em um estado anaeróbio. Os microrganismos vão degradando a partícula de fora para dentro, e conforme a partícula vai sendo degradada ela diminui de tamanho (RYNK, 1992).

Materiais triturados e peneirados, com granulometria fina e maior homogeneidade, garantem uma melhor distribuição da temperatura e menor perda de calor (NOGUEIRA *et al.*, 2011), melhoram a questão da aeração, visto que pequenas partículas alteram a densidade do material e conseqüentemente, aumenta a velocidade do processo. Desta forma, o autor afirma que as características físicas da mistura inicial são decisivas para o bom desenvolvimento do processo de compostagem.

Apesar dos estudos existentes sobre o assunto (VALENTE *et al.*, 2009), percebe-se a necessidade de pesquisas aprofundadas sobre a melhoria da eficiência do processo de compostagem, a fim de produzir compostos de melhor qualidade quanto ao fornecimento de nutrientes às plantas e, também como condicionadores do solo.

Barreira (2005) afirma que muitos processos de compostagem, principalmente aqueles centralizados nos quais os RSU são levados para uma usina de compostagem para serem triados, geram um composto final de baixa qualidade, apresentando características nutricionais insuficientes, presença de metais pesados e resíduos inertes. A baixa qualidade do composto produzido desestimula sua procura e, por conseqüência, sua viabilidade econômica.

Quando os RSU são separados nas fontes, como é o caso do presente estudo, e a coleta dos resíduos biogênicos é feita com este material previamente selecionado, o processo de compostagem é otimizado. A partir daí, com o controle adequado dos parâmetros (relação C/N, temperatura, umidade, aeração, pH e granulometria), o composto produzido terá qualidade agrônômica e viabilidade econômica.

2.2 OBJETIVOS

O presente estudo visa comparar o processo de compostagem dos resíduos biogênicos domiciliares e comerciais utilizando-se diferentes biomassas fontes de carbono para que se entenda qual destas pode contribuir na produção do melhor

composto orgânico, se adequando melhor ao processo, a partir dos seguintes objetivos específicos:

- ✓ Testar serragem de Pinus, cavaco de eucalipto e fibra de bambu como biomassas fontes de C na compostagem de resíduos biogênicos;
- ✓ Analisar a Relação C/N inicial dos resíduos biogênicos e destas biomassas;
- ✓ Analisar a qualidade agronômica (macro e micronutrientes) dos compostos produzidos utilizando-se cada biomassa;
- ✓ Analisar a granulometria e a densidade aparente destes compostos.

2.3 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da compostagem dos resíduos biogênicos provenientes de residências e grandes geradores do município de Botucatu, foram avaliadas 3 (três) biomassas como fonte de carbono do processo: serragem (preferencialmente cavaco ou maravalha), cavaco de eucalipto e fibra de bambu.

A serragem (Foto 1), proveniente de *Pinus sp*, foi coletada em fábricas locais (madeireiras e fábrica de caixas de abelhas). Para estas fábricas, a serragem é um resíduo da sua atividade e por isso existe grande disponibilidade deste material. A preferência é pela serragem não tratada com nenhum tipo de tinta, verniz ou outro produto químico, tornando-se mais adequada ao processo de compostagem.

O eucalipto utilizado foi da espécie *Eucalyptus urophylla* - clone AEC 0144 com idade aproximada de 7 anos, e o bambu da espécie *Bambusa tulda*, sem idade conhecida. Estes foram coletados em uma área experimental da Fazenda Lageado, localizada na Faculdade de Ciências Agrônômicas - FCA, Botucatu/SP. Primeiramente foram cortados com a ajuda de uma motosserra da marca Stihl MS 310 e cortados em pedaços menores, e posteriormente transformado em cavacos (no caso do eucalipto – Foto 2) e fibras (no caso do bambu – Foto 3) através de uma máquina trituradora de galhos e troncos da marca Vermeer BC1500.



Foto 1. Serragem



Foto 2. Cavaco de eucalipto



Foto 3. Fibra de bambu

Fotos: Julio R. Pinhel

Para as três biomassas utilizadas como fonte de carbono do processo de compostagem (serragem de *Pinus*, cavaco de eucalipto e fibra de bambu) foram enviadas uma amostra de cada para análise da relação C/N no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos na Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu/SP. Os demais parâmetros analisados foram: Teor total de Nitrogênio (N), Umidade, Matéria Orgânica Total (MOT), Carbono Total (COT) e a Relação C/N.

Também foram enviadas três amostras dos resíduos biogênicos para análise da relação C/N no mesmo laboratório citado anteriormente, onde uma amostra continha apenas restos de alimentos crus (cascas de frutas, verduras, legumes, etc), outra amostra continha apenas restos de alimentos cozidos (arroz, feijão, macarrão, etc) e a terceira amostra continha tanto restos crus quanto restos cozidos. Os demais parâmetros analisados foram: Teor total de Nitrogênio (N), Umidade, Matéria Orgânica (MO), Carbono Orgânico (CO) e a Relação C/N.

A compostagem foi realizada em área pertencente ao RESIDUALL – Laboratório de Resíduos Sólidos e Compósitos, da Fazenda Experimental Lageado, na Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Botucatu/SP.

Para o processo de compostagem foram utilizadas composteiras (bacias) de concreto de 1m³ cada, num total de 6 (seis) bacias, onde em duas foram colocados resíduos biogênicos e serragem, em outras duas foram colocados resíduos biogênicos e cavaco de eucalipto, e nas outras duas resíduos biogênicos e fibra de bambu.

A quantidade de resíduos biogênicos e de biomassa colocados em cada baia foram pesados utilizando-se com balança manual digital de gancho, com capacidade para até 50 kg e precisão de 20 g, da marca WeiHeng. Com relação à proporção dos materiais utilizados para montar as bacias de compostagem, utilizou-se uma média

de 80% de materiais fontes de nitrogênio (resíduos biogênicos) e 20% de materiais fontes de carbono (serragem, cavaco de eucalipto ou fibra de bambu).

Para a montagem de cada baia, primeiramente foi feita uma camada utilizando-se a biomassa fonte de carbono para que os resíduos biogênicos não fossem colocados em contato direto com o concreto. Na sequência foi colocado o resíduo coletado no dia, o qual foi totalmente coberto com uma camada espessa da biomassa. No dia seguinte, foi colocada nova camada do resíduo coletado, e mais uma vez coberto com a biomassa. Este processo foi repetido até que cada baia enchesse, o que levou, em média, cinco dias para cada uma.



Fotos 4, 5, 6 e 7. Montagem da baia (pilha) de compostagem em camadas: biomassa, resíduos biogênicos e cobertura novamente com biomassa.

Fotos: Julio R. Pinhel

Os resíduos foram cuidadosamente arrumados dentro de cada baia com o auxílio de um garfo ou pá, assim como a cobertura com as biomassas fontes de carbono. O manejo das baias foi realizado através dos revolvimentos, que aconteceram a cada 15 (quinze) dias, e através da correção da umidade molhando-se as baias com auxílio de mangueira.

Além do controle com relação à aeração e umidade, as temperaturas das baias de compostagem também foram medidas periodicamente, com o auxílio de um termômetro laser digital infravermelho, com capacidade para temperaturas entre - 50°C e 380°C, e precisão de +/- 1,5°C.

O tempo de compostagem foi de 120 (cento e vinte) dias. Ao término deste tempo, foram retiradas amostras de cada uma das seis baias para realização de análises dos compostos produzidos a partir de cada biomassa fonte de carbono, a fim de avaliar a sua qualidade agronômica. De cada baia foram retiradas 5 (cinco)

amostras do composto de lados e profundidades diferentes da mesma, de maneira aleatória e, assim, foram feitas duas amostras compostas para cada baía.

Para uma das amostras de cada baía foram feitas as análises de macro e micronutrientes de composto pronto para uso no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos na Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu/SP. Os parâmetros analisados foram: Nitrogênio, Pentóxido de Fósforo, Óxido de Potássio, Cálcio, Magnésio, Enxofre, Ferro, Manganês, Sódio, Cobre, Zinco, pH, Relação C/N, Carbono Total, Umidade, Matéria Orgânica Total.

Para a outra amostra de cada baía foram realizadas as análises de granulometria e densidade aparente. Para a determinação da densidade aparente foi utilizada a adaptação das normas NBR 6922 (ABNT, 1981) e EN 15103 (EN, 2005), onde se utilizou um cilindro de volume conhecido de 2 (dois) litros, o qual foi preenchido até a borda com o material, e com o auxílio de uma balança de precisão de 0,1 g obteve-se a massa, com variação admitida entre as repetições de 2%. Nesse caso, a densidade também foi obtida através da razão entre a massa e o volume, sendo utilizada a equação:

$$X = \frac{10w(100-y)}{h A}$$

Em que:

X = densidade aparente, em kg de material (serragem, cavaco de eucalipto e fibra de bambu) base seca por m³;

w = massa da amostra em g;

y = teor de umidade em %;

h = altura média dos materiais no tubo, em cm;

A = área da seção transversal do tubo, em cm².

Para a determinação da granulometria, o material picado foi submetido ao teste de separação granulométrica em um separador de partículas com seis peneiras de malhas: > 100 mm, 100-63 mm, 63-45 mm, 45-16 mm, 16-3,35 mm, 3,35-1,2 mm, < 1,2 mm (fundo) registradas na Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Os resultados foram analisados para verificar a quantidade em porcentagem do material em cada classe granulométrica.

2.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises da relação C/N da serragem de *Pinus*, do cavaco de eucalipto e da fibra de bambu, assim como os demais parâmetros analisados, podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Análises da relação C/N e outros parâmetros das biomassas fontes de carbono

AMOSTRAS	Nitrogênio Total	Umidade	Matéria Orgânica Total	Carbono Orgânico Total	Relação C/N
	----- * % (ao natural) -----			seca	
Serragem	0,31	8	87	52	152/1
Eucalipto	0,37	8	87	53	129/1
Bambu	0,21	48	47	51	124/1

*Teores totais

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos – UNESP – Botucatu/SP

Essas análises corroboram o fato de todas as biomassas utilizadas serem fontes de carbono para o processo de compostagem, devido à elevada relação C/N que todas apresentaram.

Com relação aos demais parâmetros, é possível observar que a serragem e o cavaco de eucalipto apresentaram resultados com valores iguais ou muito próximos, com exceção do N, mas que de todo jeito apresentou uma diferença pequena entre estes.

Já para a fibra de bambu, ainda de acordo com a Tabela 1, com exceção do COT que apresentou resultado bem próximo aos da serragem e cavaco de eucalipto, os demais parâmetros foram bem diferentes, destacando-se o fato deste material estar bem mais úmido que os demais. Isso se deu pois a análise deste material foi feita poucos dias depois da sua coleta em campo, ou seja, ainda estava úmido.

As análises das relações C/N (e outros parâmetros) das três amostras dos resíduos biogênicos podem ser observadas na Tabela 2.

Tabela 2. Análises da relação C/N e outros parâmetros dos resíduos biogênicos

AMOSTRAS	Nitrogênio Total	Umidade	Matéria Orgânica	Carbono Orgânico	Relação C/N	pH
	----- * % (ao natural) -----		-----	seca		ao natural
Alimentos crus	0,17	89	9	43	28/1	4,3
Alimentos cozidos	0,54	72	25	50	26/1	3,7
Crus + cozidos	0,79	72	24	49	17/1	3,9

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos – UNESP – Botucatu/SP

Para a montagem das baias de compostagem é fundamental se conhecer as relações C/N dos materiais envolvidos, no caso dos materiais fontes de N (resíduos biogênicos) e dos materiais fontes de C (biomassas). Isso para que a relação C/N no processo de compostagem esteja adequada.

Dessa forma, adotou-se a relação C/N de 17/1 para a montagem das baias de compostagem pois os resíduos biogênicos coletados para a realização do presente continham tanto restos de alimentos crus quanto cozidos. Assim, as baias foram montadas de acordo com as quantidades de resíduos biogênicos e biomassas fontes de carbono apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidade de resíduos biogênicos e de biomassas utilizadas para a montagem de cada baia de compostagem.

Baias	Resíduos biogênicos (kg)	Biomassa (kg)	Total (kg)
1. Serragem	247,20	63,00	310,20
2. Serragem	330,10	72,00	402,10
3. Eucalipto	283,70	66,00	349,70
4. Eucalipto	263,00	48,00	311,00
5. Bambu	228,65	66,00	294,65
6. Bambu	273,05	54,00	327,05

Durante os 45 dias iniciais de compostagem, os resíduos atingiram temperaturas termófilas, chegando a 55°C, garantindo um processo ambientalmente adequado. Após este período a fase ativa chegou ao seu fim e as temperaturas chegaram à faixa mesófila, entre 30 e 40°C, iniciando a fase de maturação. Após 75 dias de fase de maturação, o processo de compostagem atingiu 120 dias, tempo adequado para que os materiais já tivessem se transformado em composto.

Nesse contexto, os resultados das análises de MOT dos compostos produzidos podem ser observados na Tabela 4.

Tabela 4. Análises de matéria orgânica total (MOT) dos compostos produzidos a partir das biomassas fontes de carbono

AMOSTRAS	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	S	Umidade	M.O.-Total	C.-Total	Na	B	Cu	Fe	Mn	Zn	C/N (total)	pH
	** % (ao natural)									** mg/Kg (ao natural)							ao natural
Eucalipto	1,10	0,40	0,72	2,66	0,26	0,10	38	37	20	2103	---	16	477	75	21	18/1	7,9
Eucalipto	1,22	0,52	1,25	2,15	0,27	0,13	43	45	25	2453	---	18	800	86	25	20/1	7,9
Bambu	1,22	0,40	1,62	0,99	0,25	0,13	22	64	36	2389	---	19	398	52	20	30/1	8,3
Bambu	1,12	0,50	1,57	1,94	0,23	0,16	45	44	24	2845	---	15	627	41	22	21/1	8,7
Serragem	1,30	0,54	1,29	1,65	0,25	0,15	42	45	25	2703	---	20	2621	94	37	19/1	7,2
Serragem	1,12	0,37	0,80	1,40	0,19	0,11	50	39	22	2111	---	16	2191	61	29	20/1	6,8

**Teores totais

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos – UNESP – Botucatu/SP

De acordo com a Instrução Normativa nº 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, que “aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura” (BRASIL, 2009), os compostos produzidos no presente estudo são “compostos orgânicos de classe C”, aqueles que são produzidos utilizando resíduos alimentares como matéria-prima.

Estes compostos, conforme a Instrução Normativa citada (2009), são obtidos pela separação da parte orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e sua compostagem, resultando em produto de utilização segura na agricultura, e devem atender aos parâmetros estabelecidos nesta Instrução, como segue:

- Umidade (máxima): 50%;
- N total (mínimo): 0,5%;
- C total (mínimo): 15%;
- pH (mínimo): 6,5;
- Relação C/N (máxima): 20/1;
- Outros nutrientes: conforme declarado.

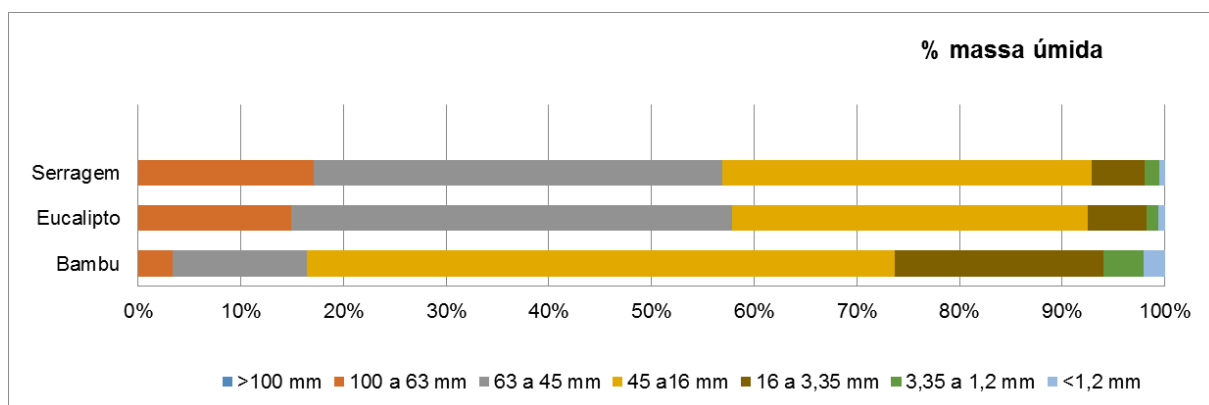
Assim, conforme apresentado na Tabela 4, quase todos os parâmetros foram atendidos para as três biomassas fontes de carbono utilizadas, com exceção da relação C/N da fibra de bambu. As análises das duas amostras do composto produzido a partir deste material mostrou que esta relação ficou acima do valor máximo permitido nos dois casos (30/1 e 21/1).

Ou seja, o processo de compostagem utilizando-se a fibra de bambu foi diferente dos processos de compostagem utilizando-se o cavaco de eucalipto e a serragem. Esta alta relação C/N apresentada no caso em que se utilizou a fibra de bambu demonstra que o processo de compostagem não foi completo, ou seja, parte da matéria orgânica não se degradou.

O tamanho da partícula também tem grande importância no processo de compostagem, pois quanto maior a granulometria mais difícil a decomposição. Conforme pode ser observado na Figura 1, a maior porcentagem granulométrica ficou retida nas peneiras de malhas medianas: 63 a 45 mm, e 45 a 16 mm. Com exceção da peneira com malha > 100 mm, na qual não ficou retido nenhum material, em todas as outras peneiras foi encontrada alguma porcentagem de material.

Isso se deve aos diferentes materiais utilizados na confecção das pilhas de compostagem, com granulometrias diversificadas. Assim, de acordo com a Figura 1, pode-se afirmar que no caso do presente estudo, a granulometria não interferiu no processo.

Figura 1. Granulometria dos compostos produzidos utilizando-se cada tipo de biomassa fonte de carbono.



Fonte: Laboratório Agroflorestral de Biomassa e Bioenergia (LABB) – UNESP – Botucatu/SP

É importante salientar que a fibra de bambu permaneceu praticamente intacta, do ponto de vista físico, ao longo do processo de compostagem. Isso pôde ser observado inclusive visualmente. Ao final dos 120 dias de compostagem, foi possível ver que as fibras estavam inteiras, sendo necessário um período maior para decomposição.

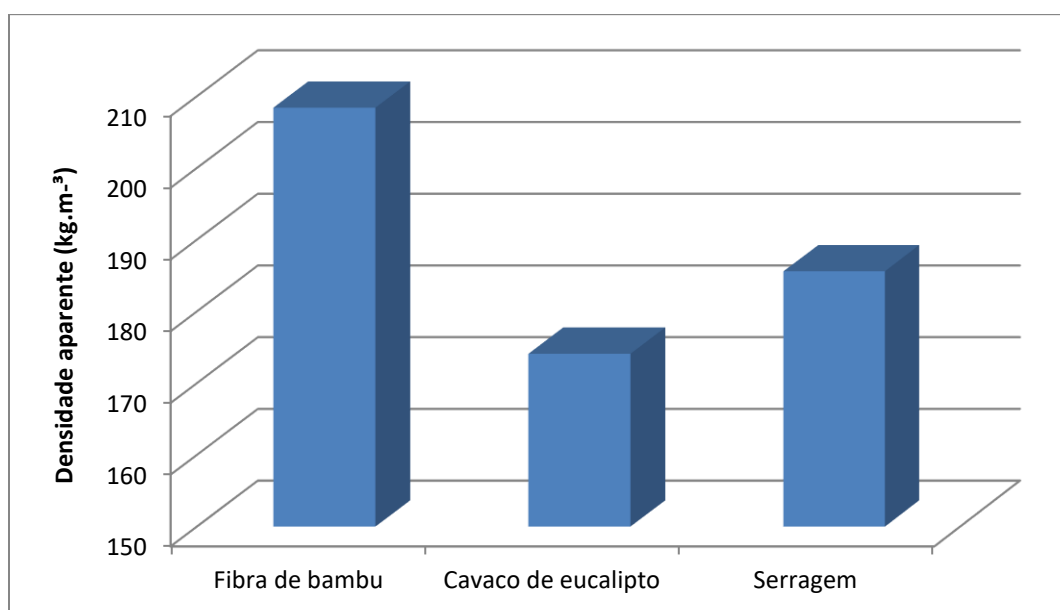
A densidade aparente, entendida como sendo a relação entre a massa (em kg) pelo volume (m³) tem grande importância no planejamento em relação a meios

de coleta e sistemas de armazenamento. Diferentemente da densidade básica, ela dá o valor de densidade levando em consideração os vazios gerados entre os grãos e a porosidade do material.

A densidade é expressa em quilogramas por metro cúbico ($1 \text{ g.ml}^{-1} = 1000 \text{ kg.m}^{-3}$). As propriedades de volume de uma substância dependem da preparação, tratamento e armazenamento da amostra, ou seja, como foi manuseado.

A Figura 2 mostra as densidades aparentes dos compostos produzidos a partir de cada tipo de biomassa fonte de carbono (fibra de bambu, cavaco de eucalipto e serragem).

Figura 2. Densidade aparente (em kg.m^{-3}) dos compostos produzidos utilizando-se cada tipo de biomassa fonte de carbono.



Nesta figura, pode-se observar que a densidade aparente da fibra de bambu é maior do que a dos outros materiais, sendo mais um elemento do porque o material não decompõe por completo no processo de compostagem.

2.5 CONCLUSÕES

A fibra de bambu não se decompõe completamente após os 120 dias de compostagem, prejudicando o processo e produzindo um composto com relação C/N acima da permitida por lei para compostos orgânicos.

A granulometria das 3 biomassas não interferiu no processo, mas a densidade aparente da fibra de bambu, maior que as demais, corroborou o fato deste material não ter decomposto por completo.

O cavaco de eucalipto e a serragem de *Pinus* apresentaram comportamentos semelhantes entre si durante o processo de compostagem, ambos produzindo compostos estabilizados e de qualidade para utilização agronômica.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6922**: Carvão vegetal – Ensaio físico – Determinação da massa específica – Densidade a granel. Rio de Janeiro: ABNT, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

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

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa SDA/MAPA Nº 25, de 23 de julho de 2009. Aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 173, 2009.

CAMPBELL, S. **Manual de compostagem para hortas e jardins**: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico. São Paulo: Nobel, 1999.

COSTA, M. S. S. M. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 2005. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

D'ALMEIDA, M. L.; VILHENA, A. **Lixo municipal**: manual de gerenciamento integrado. 2. ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **Technical Specification CEN/TS 15103**: Solid biofuels – Methods for the determination of bulk density. London: 2005.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

FONG, M.; WONG, J. W. C.; WONG, M. H. Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste. **Shanghai Environment Science**, Xangai, v. 18, p. 91-93, 1999.

GORGATI, C. Q. **Resíduos sólidos urbanos em áreas de proteção aos mananciais - município de São Lourenço da Serra - SP**: compostagem e impacto ambiental. 2001. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

KEENER, H. M.; DAS, K. Process control based on dynamic properties in composting: moisture and compaction considerations. **The Science of Composting**, Nova York, p. 116-125, 1996.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem**: maturação e qualidade do composto. 4. ed. Piracicaba: Editora Degaspari, 2004.

LOPEZ-REAL, J. Composting through the ages. *In*: CONFERENCE DOWN TO EARTH COMPOSTING, 1994, Dundee, UK.

MORREL, J. L. *et al.* Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost. *In*: GASSER, J.K. **Composting of agricultural and other wastes**. London: Elsevier, 1985. p. 56-72.

NOGUEIRA, J. O. C. *et al.* Compostagem como prática de valorização dos resíduos alimentares com foco interdisciplinar na educação ambiental. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, v. 3, n. 3, p. 316-325, 2011.

PEIXOTO, R. T. G. **Compostagem**: opção para o manejo orgânico do solo. Londrina: IAPAR, 1988.

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem**: processo de baixo custo. Viçosa: Editora UFV, 2007.

RYNK, R. **On-farm composting handbook**. Ithaca: NRAES Pub, 1992.

SHARMA, V. K. *et al.* Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting: Review. **Energy Conversion and Management**, Amsterdam, v. 38, p. 453-478, mar. 1997.

TEIXEIRA, L. B. *et al.* **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural**. Belém: Embrapa, 2004. (Circular Técnica, 33).

VALENTE, B. S. *et al.* Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 1, p. 59-85, 2009.

ZUCCONI, F.; BERTOLDI, M. Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural uses. *In*: WISE, D. L. **Global bioconversions**. Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 109-137.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A grande quantidade de usinas de triagem e compostagem desativadas indica que experiências centralizadas que recebem resíduos provenientes de coleta convencional são cada vez menos frequentes no estado de São Paulo (SIQUEIRA; ASSAD, 2015).

Nesse cenário, também é importante entender que estes modelos de gerenciamento de RSU que levem em consideração apenas sistemas centralizados de coleta e processamento, podem gerar custos inviáveis para os municípios brasileiros ao se incluir a coleta seletiva dos resíduos biogênicos.

Dessa forma, experiências descentralizadas, como é o caso do empreendimento “Ciclo Limpo” caracterizado no presente trabalho, além de priorizar o estímulo à separação eficiente na fonte e valorizar processos educacionais propagadores de novos hábitos, também apresentam estrutura geralmente formada por arranjos organizacionais abertos à otimização de processos.

Estas características refletem diretamente na qualidade do composto final e em seu potencial agronômico. Desse modo, conforme Siqueira e Assad (2015), tais atividades apresentam papel importante para auxiliar a gestão de resíduos nos municípios devido ao seu potencial de disseminação, podendo ser desenvolvidas por diferentes agentes, em ambientes variados.

Além disso, as experiências descentralizadas tem a vantagem de mobilizar e sensibilizar pessoas. Isso porque se baseiam mais em mudança de paradigmas e menos em obras de engenharia. Qualitativamente, estas experiências são mais bem sucedidas no desvio de resíduos da disposição final e suas taxas de extinção são menores que gestões centralizadas (SIQUEIRA; ASSAD, 2015). Assim, tem o potencial de gerar tecnologia social e transformações sociais, principalmente através da conscientização ambiental e da mudança de hábitos com relação aos resíduos e à valorização destes, além da possibilidade de gerar emprego e renda.

Nesse sentido, confirmando a hipótese levantada para o capítulo 1 do presente trabalho, o “Ciclo Limpo” vem realizando a destinação adequada dos resíduos biogênicos, o que além de aumentar a vida útil dos aterros sanitários, uma vez que estes passam a ser encaminhados para a compostagem, reduz os custos da gestão dos RSU para a municipalidade e ainda diminui a emissão de gases efeito estufa para a atmosfera. Como resultante produz um composto estabilizado e de

qualidade para utilização agronômica, conforme observado nos resultados deste estudo.

Também é importante destacar que através do gerenciamento descentralizado dos resíduos biogênicos e destinação adequada através da compostagem, o “Ciclo Limpo” atinge 4 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Os ODS são 17 objetivos mundiais para transformar o mundo, criado pela Organização das Nações Unidas (ONU) em conjunto com diversos países (OBJETIVOS..., 2015).

Os objetivos atingidos pelo “Ciclo Limpo” são: objetivo 2 - Acabar com a fome, alcançar a segurança alimentar e melhoria da nutrição e promover a agricultura sustentável; objetivo 11 - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis; objetivo 12 - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis; objetivo 13 - Tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos.

Cabe ressaltar que caracterizações como a realizada no capítulo 1 são importantes e devem ser realizadas com frequência, a fim de identificar possíveis necessidades de mudanças no projeto e acompanhar a sua evolução, além de dar suporte para o planejamento do negócio.

Neste caminho, algumas novas propostas de estudo são sugeridas, tais como:

- ✓ Avaliar a viabilidade econômica do modelo de gerenciamento descentralizado de resíduos biogênicos domiciliares desenvolvido pelo “Ciclo Limpo”;
- ✓ Definir qual método de compostagem melhor se aplica no gerenciamento municipal em grande escala de resíduos biogênicos;
- ✓ Definir a melhor aplicação agronômica do *composto orgânico de classe C*;
- ✓ Auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas que orientem, fortaleçam e regulem as práticas e ações de compostagem;
- ✓ Fazer e avaliar a vermicompostagem a partir do composto produzido após 45 dias de compostagem;
- ✓ Fazer a biometanização (anaeróbia) como forma alternativa à destinação dos resíduos biogênicos para aterros.

No que tange ao processo de compostagem propriamente dito, é sabido que este necessita de dois elementos principais para sua realização: carbono (C) e nitrogênio (N). O C é a fonte de energia dos microrganismos que atuam na

compostagem; o N é responsável pela reprodução celular dos mesmos. Os resíduos biogênicos domiciliares se caracterizam por serem fontes de N. Já o C é proveniente dos resíduos “castanhos”, geralmente secos, como palha, capim e grama cortados, restos de podas (galhos e folhas secas), cascas de árvores, etc.

No estudo apresentado no capítulo 2 do presente trabalho, foram testadas 3 biomassas como fontes de carbono para o processo de compostagem de resíduos biogênicos: serragem proveniente de *Pinus*, cavaco de eucalipto e fibra de bambu. A utilização da fibra de bambu, ao contrário da hipótese levantada inicialmente, não se demonstrou adequada ao processo por não se decompor por completo e por produzir um composto orgânico com relação C/N acima da permitida por lei. A serragem e o cavaco de eucalipto apresentaram comportamentos semelhantes entre si, adequados ao processo de compostagem e produção de composto de qualidade.

É importante que algumas outras condições também sejam avaliadas na definição de qual material será utilizado como fonte de carbono num processo de compostagem, tais como a disponibilidade, as condições para o transporte e o armazenamento, e os possíveis custos associados.

Para o gerenciamento dos resíduos biogênicos apresentado no presente trabalho, a serragem demonstrou ser mais interessante para o processo de compostagem, pois se trata de um resíduo abundante das madeireiras locais e outros tipos de atividades, que atualmente não tem custo para o “Ciclo Limpo”, além de ser um material leve e fácil de transportar.

REFERÊNCIAS

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**. São Paulo: ABRELPE, 2018.

ABREU-JUNIOR, C. H.; PIRES, A. M. M.; COSCIONE, A. R. Utilização agrícola de composto de resíduo sólido urbano. *In*: SILVA, F. C.; PIRES, A. M.; RODRIGUES, M. S.; BARREIRA, L. (org.). **Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agroflorestal**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 123-140.

ALI, M. The Context. *In*: ALI, M. (org.). **Sustainable composting: case studies and guidelines for developing countries**. Loughborough: Water, Engineering and Development Centre of Loughborough University, 2004. p. 5-11.

BARREIRA, L. P. **Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção**. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

BARREIRA, L. P. *et al.* Qualidade do composto de resíduo sólido urbano. *In*: SILVA, F. C.; PIRES, A. M.; RODRIGUES, M. S.; BARREIRA, L. (org.). **Gestão pública de resíduo sólido urbano: compostagem e interface agroflorestal**. Botucatu: FEPAF, 2009. p. 93-108.

BRASIL. Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº. 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 81, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Painel Nacional de Indicadores Ambientais**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2014.

CARVALHO, J. G. **Compostagem de resíduos agroindustriais**. Lavras: Editora UFLA, 2006.

CETESB. **Inventário de emissões antrópicas de gases de efeito estufa diretos e indiretos do estado de São Paulo**: comunicação estadual. São Paulo: CETESB, 2011.

CHIABI, L. **Ciclo orgânico**: um empreendimento social, de compostagem comunitária e gestão de resíduos. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

CEMPRE. **Ciclosoft 2018**. São Paulo: CEMPRE, 2018. Disponível em: <http://cempre.org.br/ciclosoft/id/9>. Acesso em: 13 abr. 2019.

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

DIAS, I. F.; RUAS, R. B.; MULLER, N. I. A descentralização da gestão dos resíduos sólidos através da coprodução: Uma visão do co-comissionamento a partir de casos em Florianópolis. In: ENCONTRO DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA E GOVERNANÇA, VII, 2016, São Paulo, SP.

DRECHSEL, P.; KUNSE, D. Introduction. In: DRECHSEL, P.; KUNSE, D. (org.). **Waste composting for urban and peri-urban agriculture**: closing the rural-urban nutrient cycle in Sub-Saharan Africa. Wallingford: CABI Publishing for International Water Management Institute, 2001.

EIGENHEER, E. M.; FERREIRA, J. A.; ADLER, R. R. **Reciclagem**: mito e realidade. Rio de Janeiro: In-Fólio, 2005.

FEHR, M. A successful pilot project of decentralized household waste management in Brazil. **The Environmentalist**, Lausanne, v. 26, p. 21-29, 2006.

FEHR, M. O alvo final é o lixo zero. **Caminhos da Geografia**, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 54-62, 2010.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 657-661, 2009.

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

LOUREIRO, D. C. *et al.* Compostagem e vermicompostagem de resíduos domiciliares com esterco bovino para a produção de insumo orgânico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 7, p. 1043-1048, jul. 2007.

MEIO ambiente: usina de compostagem de Vila Leopoldina encerrará atividades em setembro. In: PORTAL DO GOVERNO. São Paulo, SP, 20 mai. 2004. Disponível em: <http://www.saopaulo.sp.gov.br/eventos/meio-ambiente-usina-de-compostagem-de-vila-leopoldina-encerrara-atividades-em-setembro/>. Acesso em: 06 jul. 2019

OBJETIVOS de desenvolvimento sustentável. In: NAÇÕES UNIDAS BRASIL. Rio de Janeiro, RJ, 13 out. 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/pos2015/agenda2030/>. Acesso em: 06 jul. 2019

PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**. Chapadinha, v. 9, n. 1, p. 1-18, 2017.

SÃO PAULO (Cidade). **Plano de gestão integrada de resíduos sólidos do município de São Paulo**. São Paulo: Secretaria Municipal de Serviços, 2012.

SÃO PAULO (Estado). Lei 12.300, de 16 de março de 2006. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e define princípios e diretrizes. **Diário Oficial**, São Paulo, SP, 17 mar. 2006. p. 1.

SARMENTO, A. P. *et al.* **Elaboração de modelo de planilha eletrônica para quantificações de resíduos em compostagem**. Goiânia: Universidade Federal de Goiás, 2007.

SIQUEIRA, T. M. O.; ASSAD, M. L. R. C. L. Compostagem de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo (Brasil). **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 18, n. 4, p. 243-264, out./dez. 2015.

SOUZA, C. Prefeitura amplia coleta seletiva de materiais recicláveis. Botucatu: Prefeitura de Botucatu, 2018. Disponível em http://botucatu.sp.gov.br/home.asp?include=mostra_noticias&id_video=&id_radio=&id_noticia=20829&id_evento=&id_categ=8&id=&ano=&busca=&nova_busca=-1&galeria=&seu_nome=&seu_email=&sua_mensagem=&seu_endereco=&seu_bairro=&sua_cidade=&seu_cep=&seu_estado=&seu_fone=&rolagem=0&pagina=. Acesso em: 25 mar. 2019.

TEIXEIRA, L. B. *et al.* **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural**. Belém: Embrapa, 2004. (Circular Técnica, 33),