

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 24/06/2017.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU

PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

BÁRBARA SILVA PEREIRA

**SISTEMAS EXPERIMENTAIS DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS: ESTUDOS DE CASO**

BAURU/SP
2016

BÁRBARA SILVA PEREIRA

SISTEMAS EXPERIMENTAIS DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS
ORGÂNICOS: ESTUDOS DE CASO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, da Faculdade de Engenharia da UNESP, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Produção.

Área de Concentração: Gestão de Operações e Sistemas.

Orientadora: Profa. Dra. Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Co-orientadora: Profa. Dra. Ilza Machado Kaiser

BAURU/SP
2016

Pereira, Bárbara Silva.

Sistemas experimentais de compostagem de resíduos orgânicos : estudos de caso / Bárbara Silva Pereira, 2016

115 f.

Orientador: Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2016

1. Resíduos sólidos. 2. Compostagem industrial. 3. Compostagem doméstica. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE BÁRBARA SILVA PEREIRA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DA FACULDADE DE ENGENHARIA.

Aos 24 dias do mês de junho do ano de 2016, às 10:00 horas, no(a) Anfiteatro da Diretoria Técnica de Informática/FE, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ROSANE APARECIDA G BATTISTELLE - Orientador(a) do(a) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, Prof. Dr. ALOISIO COSTA SAMPAIO do(a) Departamento de Ciências Biológicas / Faculdade de Ciências, Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI do(a) Departamento de Engenharia Mecânica / Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de BÁRBARA SILVA PEREIRA, intitulada **ESTUDO COMPARATIVO DO PROCESSO DE CO-COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS POR MEIO DE SISTEMAS EXPERIMENTAIS DE COMPOSTAGEM INDUSTRIAL E DOMÉSTICA**. Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. ROSANE APARECIDA G BATTISTELLE


Prof. Dr. ALOISIO COSTA SAMPAIO


Prof. Dr. IVALDO DE DOMENICO VALARELLI

PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO TÍTULO

A BANCA EXAMINADORA PROPÕE A ALTERAÇÃO DO TÍTULO DO TRABALHO DA ALUNA:
BÁRBARA SILVA PEREIRA

DE: "ESTUDO COMPARATIVO DO PROCESSO DE CO-COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS POR MEIO DE
SISTEMAS EXPERIMENTAIS DE COMPOSTAGEM INDUSTRIAL E DOMÉSTICA"

PARA:

*Sistemas Experimentais de Compostagem de
resíduos Orgânicos: Estudo de Caso.*

Bauru, 24 de junho 2016.

Rosane Ap. Gomes Battistelle
Prof.^a. Dr.^a. Rosane Aparecida Gomes Battistelle

Orientadora

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, a Deus pelo dom da vida, e por estar comigo em todos os momentos, sendo sempre a minha base e sustento ao longo desse novo caminho.

Quero agradecer à Prof^a Dr^a Rosane Aparecida Gomes Battistelle, por estar sempre presente em minha vida, pelo incentivo e dedicação, e por me dar a oportunidade de desenvolver este mestrado.

À minha co-orientadora, Prof^a Dr^a Ilza Machado Kaiser, pelo enorme auxílio nesta pesquisa.

Ao meu parceiro de trabalho Ms. Edvaldo José Scoton.

Agradeço também, aos funcionários do Laboratório de Saneamento do Departamento de Água e Esgotos de Bauru em parceria com a FEB/UNESP, e principalmente, ao Dr. Glauco Perpétuo, pelas análises laboratoriais realizadas, além de toda a atenção e grande colaboração nesta pesquisa.

Aos Laboratórios de Saneamento e de Química Ambiental da USP São Carlos, e aos técnicos Júlio Cesar Trofino e Maria Diva Landgraf, pela colaboração nas análises laboratoriais.

Ao Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli, responsável pelo Laboratório de Processamento da Madeira, do Departamento de Engenharia Mecânica, e aos técnicos Marcus Bueno (Torrinha) e Luiz Eduardo, pelo auxílio e dedicação, essenciais para esta pesquisa.

Muito obrigada a todos os professores e funcionários do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção e do Departamento de Engenharia Civil.

À minha família, em especial à minha mãe, que foi parte ativa neste trabalho, auxiliando em todas as horas com amor e paciência.

RESUMO

Cada vez mais a busca de soluções ambientalmente corretas para a destinação dos resíduos sólidos tem se tornado urgente, impulsionada pelo rápido crescimento populacional e pelo desenvolvimento econômico. A compostagem é uma ferramenta tradicional e sustentável de grande importância para o tratamento da parte orgânica dos resíduos sólidos, realizando o processamento dos resíduos orgânicos originados da agroindústria, da agricultura, do comércio e dos domicílios, como os restos de alimentos. Este trabalho aborda o tratamento de resíduos de alimentos provenientes de restaurantes, por meio de uma pesquisa aplicada experimental com três modelos de processamento (dois industriais e um doméstico). Um processo de co-compostagem, com adição de outros resíduos estruturantes, foi desenvolvido e comparado com os principais modelos de compostagem. Este estudo objetiva avaliar as técnicas para otimizar os processos de compostagem, por meio da avaliação de parâmetros de degradação biológica dos resíduos sólidos (pH, umidade, temperatura, teor de oxigênio, relação carbono/nitrogênio e qualidade do composto produzido), contribuindo para a escolha do melhor método para a destinação adequada dos resíduos orgânicos. Em relação aos resultados obtidos e às análises químicas, pode-se mencionar que o sistema de reator biológico foi o método que estabilizou mais rapidamente os resíduos. Quanto à qualidade do composto, nenhum dos sistemas de compostagem obteve um composto de boa qualidade para o seu uso na agricultura. Algumas falhas foram observadas nos métodos, interferindo no desenvolvimento do processo. No entanto, apresentaram valores de teor de umidade, pH e DBO dentro da faixa ideal para compostagem, o que demonstra que houve evolução dos processos.

Palavras-chave: Resíduos sólidos; Compostagem industrial; Compostagem doméstica; Resíduos de alimentos.

ABSTRACT

The need to search for environmentally friendly solutions for solid waste disposal has become urgent, driven by rapid population growth and economic development. Composting is a traditional and sustainable tool of great importance for the treatment of the organic fraction of solid waste; processing organic waste originated from agricultural industry, agriculture, commerce and households, such as food scraps. This work deals with the treatment of food waste from restaurants, through an applied experimental research with three composting processing models (two industrial and one domestic). A co-composting with the addition of other structural waste, was developed and compared to the studied composting models. This study aims to obtain ways to accelerate and optimize the composting process, through the evaluation of biological degradation of solid waste parameters (pH, humidity, temperature, oxygen content, carbon / nitrogen ratio and quality of compost produced), contributing to the choice of the best method for proper disposal of organic waste. Regarding the results obtained and the chemical analysis, it can be mentioned that the bioreactor system is the method that quickly stabilized waste. As the quality of the compost, composting none of the systems obtained a good quality compost for use in agriculture. Some failures were observed in the methods, interfering with the development of the process. However, they exhibited moisture content, pH and DBO within the ideal range for composting, which demonstrates that there was development of processes.

Keywords: Solid waste; Industrial composting; Domestic composting; Food waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição física dos resíduos sólidos urbanos no Brasil.....	24
Figura 2. Estimativa da quantidade de resíduos sólidos gerados no Brasil.	26
Figura 3. Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos.	28
Figura 4. Representação das entradas e saídas do processo de compostagem.....	34
Figura 5. Variação do pH ao longo do processo de compostagem..	42
Figura 6. Sistemas de leiras revolvidas, por máquina (esq.) e manual (direita)..	48
Figura 7. Sistemas de leiras estáticas aeradas.	49
Figura 8. Compostagem através de sistemas fechados ou reatores biológicos.....	51
Figura 9. Esquema da instalação piloto de laboratório para compostagem	52
Figura 10. Estrutura geral do processo de análise de compostagem	52
Figura 11. Tambor rotativo no interior da caixa termorreguladora	53
Figura 12. Tambor rotativo e equipamentos acoplados	54
Figura 13. Analisador de gases modelo S710.....	55
Figura 14. Display do analisador de gases modelo S710	55
Figura 15. Aquisição de dados pelo computador	55
Figura 16. Tela principal do software.	56
Figura 17. Sequência de dados do analisador de gases	56
Figura 18. Exemplos de composteiras domésticas.	58
Figura 19. Resíduos de alimentos.....	62
Figura 20. Farelo de bagaço de cana-de-açúcar.....	62
Figura 21. Borra de pó de café.....	62
Figura 22. Resíduos de poda de grama triturados.....	62
Figura 23. Serragem.....	63
Figura 24. Área de jardim de escola de ensino fundamental.....	64
Figura 25. Leira 1 (esquerda) e leira 2 (direita).....	64
Figura 26. Composteiras domésticas de caixas de três andares.....	65
Figura 27. Minhocas Californianas ou Vermelhas (Eisenia foetida).....	66
Figura 28. Triturador dos resíduos de poda de grama.....	68
Figura 29. Termômetro Digital Tipo Espeto.....	69
Figura 30. Filtragem das amostras.....	71
Figura 31. Amostras filtradas.....	71

Figura 32. Aparelho medidor de pH.....	71
Figura 33. Frascos utilizados durante as análises de pH e DBO.	72
Figura 34. Aparelho medidor de DBO (Estufa com Fotoperíodo e Termoperíodo).....	73
Figura 35. Revolvimento manual das leiras com auxílio de rastelo.....	73
Figura 36. Compostos produzidos em cada um dos sistemas.....	78
Figura 37. Resultado físico dos sistemas de leiras.....	79
Figura38. Gráfico da evolução das temperaturas nas leiras de compostagem.....	81
Figura 39. Resultado físico da caixa 2 da composteira 1 (verde).....	85
Figura 40. Resultado físico da caixa 2 da composteira 2 (azul)	86
Figura 41. Gráfico da evolução das temperaturas nas composteiras.....	88
Figura 42. Gráfico da evolução das temperaturas nas composteiras.....	89
Figura 43. Composto no início e ao final do processo.....	93
Figura 44. Tempo gasto para consumo de O ₂	94
Figura 45. Consumo de oxigênio expresso em massa (g)	96
Figura 46. Produção de gás carbônico expresso em massa (g)	97
Figura 47. Gráfico das temperaturas dos sistemas de compostagem.....	101
Figura 48. Gráfico dos valores de umidade dos sistemas de compostagem.....	103
Figura 49. Gráfico dos valores de DBO dos sistemas de compostagem.....	104
Figura 50. Distribuição da DBO durante o processo de compostagem.....	105
Figura 51. Gráfico dos valores de pH dos sistemas de compostagem.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Fontes dos resíduos sólidos.....	23
Tabela 2. Estimativa da composição dos resíduos sólidos urbanos no Brasil..	25
Tabela 3. Estimativa da quantidade de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos.	25
Tabela 4. Quantidade diária de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos	27
Tabela 5. Resíduos orgânicos do restaurante da Unesp, expressos em (kg)	32
Tabela 6. Composição de alguns materiais empregados no preparo do composto..	39
Tabela 7. Diferenças entre composto estabilizado e composto não estabilizado	45
Tabela 8. Classificações dos processos de compostagem.....	45
Tabela 9. Composição dos resíduos utilizados no processo de compostagem.....	75
Tabela 10. Composição dos resíduos utilizados na compostagem.....	75
Tabela 11. Composição dos produtos finais do processo	77
Tabela 12. Composição dos produtos finais do processo de compostagem.....	77
Tabela 13. Evolução das temperaturas ao longo do processo de compostagem.....	81
Tabela 14. Evolução das temperaturas ao longo do processo	82
Tabela 15. Valores de teor de umidade da massa de resíduos	83
Tabela 16. Valores de DBO ao longo do processo de compostagem.....	83
Tabela 17. Valores de pH ao longo do processo de compostagem.....	84
Tabela 18. Evolução das temperaturas ao longo do processo	87
Tabela 19. Evolução das temperaturas ao longo do processo	89
Tabela 20. Valores de teor de umidade da massa de resíduos.....	91
Tabela 21. Valores de DBO ao longo do processo de compostagem.....	91
Tabela 22. Valores de pH ao longo do processo de compostagem.....	92
Tabela 23. Tempo gasto para consumo do oxigênio.....	93
Tabela 24. Massa e volume de oxigênio consumido e gás carbônico produzido.....	95
Tabela 25. Valores referentes a produção de CO ₂ e consumo de O ₂	98
Tabela 26. Umidade.....	99
Tabela 27. Temperatura dos sistemas em função do tempo	101
Tabela 28. Umidade das amostras em função do tempo de compostagem.....	102
Tabela 29. Valores de DBO dos sistemas.....	104
Tabela 30. Valores de pH dos sistemas de compostagem.....	105

LISTA DE NOMENCLATURA

AVC	Avaliação do Ciclo de Vida
Ca	Cálcio
C/N	Relação Carbono e Nitrogênio
Cu	Cobre
DAE	Departamento de Água e Esgoto de Bauru
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
Fe	Ferro
IRD	Índice de Respiração Dinâmica
IRE	Índice de Respiração Estática
LISA	Laboratório di Ingegneria Sanitaria-Ambientale
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
M.O.T	Matéria Orgânica
Na	Sódio
NPK	Nitrogênio, Fósforo e Potássio
ONG	Organização Não Governamental
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PVC	Policloreto de Vinila
QR	Quociente Respiratório
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
TCO ₂	Taxa de Consumo de Oxigênio
UNESP	Universidade Estadual Paulista
Zn	Zinco

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Problema da pesquisa.....	14
1.2 Objetivo.....	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos.....	15
1.3 Justificativa.....	16
1.4 Estrutura do trabalho.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	19
2.1 Resíduos sólidos.....	19
2.1.1 Definição e classificação.....	20
2.1.2 Composição e destinação final dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)....	24
2.2 Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).....	30
2.3 Resíduos de alimentos.....	31
2.4 Compostagem.....	33
2.4.1 Parâmetros físico-químicos que interferem no processo.....	35
2.4.1.1 Aeração.....	35
2.4.1.2 Temperatura.....	36
2.4.1.3 Umidade.....	37
2.4.1.4 Relação C/N.....	38
2.4.1.5 Granulometria do material.....	41
2.4.2 Características do composto orgânico.....	43
2.4.3 Diferentes processos de compostagem.....	45
2.4.3.1 Sistemas de leiras.....	47
2.4.3.2 Sistemas de reatores biológicos.....	49
2.4.3.3 Sistemas de compostagem doméstica.....	57
2.4.4 Aplicações do método respirométrico.....	59
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	61
3.1 Resíduos utilizados.....	61
3.2 Método em leira.....	63
3.3 Método em composteira doméstica.....	64

3.4 Coleta de dados.....	66
3.5 Forma de análise dos dados.....	74
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	75
4.1 Compostos.....	76
4.2 Sistemas de leiras.....	78
4.3 Sistemas de composteiras domésticas.....	84
4.4 Sistema de reator.....	92
4.5 Comparação dos sistemas.....	99
4.5.1 Tempo de processo.....	99
4.5.2 Temperatura.....	100
4.5.3 Umidade.....	102
4.5.4 DBO.....	103
4.5.5 pH.....	105
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	107
6 CONCLUSÃO.....	109
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	110

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios que o mundo encontra atualmente na busca por um ambiente sustentável é a destinação correta dos resíduos sólidos gerados pelas atividades humanas. O direcionamento dos resíduos tem sido feito, em geral, em aterros sanitários e /ou “lixões”, resultando em um material com alto poder poluidor, atrativo de animais e doenças, e emissor de gases poluentes (INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA, 2012; MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012).

A falta de espaço físico para a disposição final adequada dos resíduos fez com que a reciclagem deixasse de ser apenas um conceito para tornar-se uma prática, tornando-se uma opção para o reaproveitamento de resíduos. Eriksson *et al.* (2005) comentam que a diminuição da deposição em aterros em favor do aumento da reciclagem de materiais (vidro, papel, plástico, metais e resíduos orgânicos) geram um menor impacto ambiental e menor demanda de energia.

O problema da falta de locais adequados para o descarte dos resíduos humanos e técnicas cada vez mais caras para o seu tratamento, tem levado muitos municípios a colocar em prática uma política para seu gerenciamento integrado, tendo como medidas, a redução na fonte, a reutilização, a reciclagem, a compostagem e a disposição em aterros, de forma unificada (SILVA *et al.*, 2009).

Entretanto, o emprego do processo de compostagem no Brasil ainda é bastante restrito, quando comparado ao método do aterro sanitário. Devido principalmente ao fato de exigir maior investimento inicial, oferecer maior dificuldade operacional e custo unitário de tratamento superior ao referido método. Somam-se ainda a esses fatos, as experiências negativas ocorridas com usinas de compostagem implementadas no passado, por falta de conhecimento técnico mais aprofundado (AKUTSU *et al.*, 2009). No entanto, devido à vantagem ambiental associada ao método, pesquisas relacionadas a esse tema tem se intensificado nos últimos anos (SILVA *et al.*, 2009).

A utilização do processo de compostagem mostra-se de extrema importância em uma sociedade que busca uma sustentabilidade social, econômica e principalmente ambiental. O composto resultante apresenta benefícios, como, a redução do uso de fertilizantes químicos; a diminuição significativa da quantidade de resíduos a depositar em aterros; o fornecimento de um material rico em nutrientes

que melhora o crescimento de plantas e jardins; a redução do potencial poluidor da agricultura intensiva, entre outros (BERNAL *et al.*, 2009; KIEHL, 2004; MARTÍNEZ-BLANCO *et al.*, 2010).

Os resíduos orgânicos, que são a matéria prima para a compostagem, no Brasil, correspondem a um percentual acima da metade de todo o montante de resíduos coletados no país. Em escala global, aproximadamente 26 milhões de toneladas de alimentos são jogados no lixo anualmente, conforme citações de Nakashima *et al.* (2009), quantidade essa que justifica o desenvolvimento de pesquisas para melhor empregar os resíduos úmidos.

6 CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Quanto ao tempo para a estabilização do composto, o sistema de reator biológico em laboratório foi o método mais rápido, com treze dias de processo de compostagem, seguido pela composteira doméstica (104 dias) e pela leira (110 dias);
- Os processos de compostagem ocorreram em região mesófila (25°C a 43°C), não alcançando a fase seguinte do processo (fase termófila);
- Apresentaram valores de teor de umidade, pH e DBO dentro da faixa ideal para compostagem;
- Apresentaram baixa concentração dos nutrientes N e P, demonstrando a pouca qualidade do composto, assim como o valor de mercado para aplicação no solo;
- Houve falhas no desenvolvimento dos processos de compostagem, em relação às características do material a ser compostado, a manutenção dos sistemas, a disponibilidade de nutrientes, a configuração geométrica da pilha (construção das leiras), e a aeração nas composteiras.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADANI, F.; CONFALONIERE, R.; TAMBONE, F. Dynamic Respiration Index as a Descriptor of the Biological Stability of Organic Wastes. **Journal of Environmental Quality**, v.33, p.1866-1876, 2004.
- ADHIKARI, B. K.; BARRINGTON, S.; MARTINEZ, J. Predicted growth of world urban food waste and methane production. **Waste Management & Research**, v. 24, n. 5, p. 421–433, 2006.
- AGNEW, J. M.; LEONARD, J. J. A modified air pycnometer for compost air volume and density determination. **Can. Biosyst. Eng.**, v. 45, p. 27–35, 2003.
- AKUTSU, J.; MARTINS J.E.M.P.; CASTILHO G.S.; RENÓFIO A.; ISA M.M. **Avaliação e Controle Operacional de Processo de Compostagem de Resíduos Sólidos através de Método Respirométrico**. In: XV SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, 2009, Bauru. Anais...Bauru: SIMPEP, 2009.
- AN, C. Performance of in-vessel composting of food waste in the presence of coal ash and uric acid. **J. Hazard. Mater.**, p. 38–45, 2012.
- ANDERSEN, J. K.; BOLDRIN, A.; CHRISTENSEN, T.H.; SCHEUTZ, C. Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. **Waste Management**, v. 32, p. 31-40, 2012.
- ANDREOTTOLA, G.; OLIVEIRA, E.L.; FOLADOR, P.; DALLAGOIV, L.; PETERLINIV, R.; CADONNAGIANNI, M. Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos. **Engenharia Sanitária Ambiental**, v.10, n.1, p. 14-23, 2005.
- ANGELL, L. C.; KLASSEN, R. D. Integrating environmental issues into the mainstream: an agenda for research in operations management. **Journal of Operations Management**, v. 17, p. 575-598, 1999.
- ALBUQUERQUE, H. C.; MARQUES, C.C.; ARAÚJO, P.G.C.; GONÇALVES, W.P.; MAIA, R.; BARBOSA, E.A. **Caracterização de resíduos sólidos orgânicos produzidos no restaurante universitário de uma instituição pública**. In: XXVII ENEGEP- Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 2007, Foz do Iguaçu. Anais...ABEPRO-Associação Brasileira de Engenharia de Produção, ENEGEP, 2007.
- AMLINGER, F.; PEYR, S.; CUHLS, C. Greenhouse gas emissions from composting and mechanical biological treatment. **Waste Management and Research**, v. 26, p. 47–60, 2008.
- AQUINO, A. M.; OLIVEIRA, A. M. G.; LOUREIRO, D. C. Integrando compostagem e vermicompostagem na reciclagem de resíduos orgânicos domésticos. *Circular Técnica*, Embrapa, n, 12, 2005.
- 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 Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- BARRENA-GÓMEZ, R.; VÁZQUEZ LIMA, F.; SÁNCHEZ FERRER, A. The use of respiration indices in the composting process: a review. **Waste Management and Research**, v. 24, p. 37–47, 2006.
- BARRENA, R.; XAVIER, F.; XAVIER, G.; SÁNCHEZ, A. Home composting versus industrial composting: Influence of composting system on compost quality with focus on compost stability. **Waste Management**, article in press, 2014.

- BERNAL, M. P.; ALBUQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Manure composting and chemical criteria for compost maturity assessment: a review. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5444-5453, 2009.
- BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting : a review. **Waste Management and Research**, v. 1, p. 157-176, 1983.
- BLENGINI, G. A. Using LCA to evaluate impacts and resources conservation potential of composting: a case study of the Asti District in Italy. **Resources Conservation and Recycling**, v. 52, n. 12, p. 1373-81, 2008.
- BRASIL. **Lei nº 12. 305 de 02 de agosto de 2010: Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências.** Brasília, Brasil, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm>.
- BRASIL. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos.** Versão preliminar. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/versao_preliminar_pnrs_wm_253.pdf>.
- CAMARGO, L.B. As dimensões e os desafios do desenvolvimento sustentável: concepções, entraves e implicações à sociedade humana. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- CHANAKYA, H. N.; RAMACHANDRA, T. V.; GURUPRASAD, M.; DEVI, D. Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential areas. **Enviromental Monitoring and Assessment**, v. 135, p. 129-139, 2007.
- CÓLON, J.; MARTINEZ-BLANCO, J.; XAVIER, G.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A.; RIERADEVALL, J.; XAVIER, F. Environmental assessment of home composting. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, p. 893-904, 2010.
- DAS, K.; KEENER, H.M. Moisture effect on compaction and permeability in composts. **J. Environ. Eng.**, v.123, p. 275-281, 1997.
- DIAZ, L.F.; SAVAGE, G.M. Factors that Affect the Process. In: Diaz, L.F., de Bertoldi, M., Bidlingmaier, W. (Eds.), *Compost Science Technology*. Elsevier, Amsterdam, p. 49-64, 2007.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos.** Fortaleza: EMBRAPA, 2004.
- EPSTEIN, E. The science of composting. Boca Raton, FL: CRC Press, 1997.
- ERIKSSON, O.; REICH, C.; FROSTEL, M.; ASSEFA, G. Municipal solid waste management from a systems perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, p. 241- 252, 2005.
- ESTAÇÃO METEOROLÓGICA AUTOMÁTICA IPMET, Bauru – SP. Disponível em: <<http://www.ipmet.unesp.br/>>.
- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. da. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos.** Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB), 1999.
- FU, H.; HO, Y.; SUI, Y.; LI, Z. A bibliometric analysis of solid waste research during the period 1993-2008. **Waste Management**, v. 30, n. 12, p.2410-2417, 2010.
- GAJALAKSHMI, S.; ABBASI, S. A. Solid waste management by composting: state of art. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 38, n. 5, p.311-400, 2008.
- GEA, T.; BARRENA, R.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A. Monitoring the Biological Activity of the Composting Process: Oxygen Uptake Rate(OUR), Respirometric Index (RI), and Respiratory Quotient (RQ). **Biotechnol. Bioeng**, v.88, p. 520-527, 2004.

- GETAHUN, T., NIGUSIE, A., ENTELE, T., VAN GERVEN, T., VAN DER BRUGGEN, B. Effect of turning frequencies on composting biodegradable municipal solid waste quality. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 65, p. 79-84, 2012.
- GUARDIA, A.; PETIOT C.; ROGEAU D.; DRUILHE C. Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. **Waste Management**, v.28, p. 575-587, 2008.
- GUARDIA de, A. et al. Characterization and modelling of the heat transfers in a pilot-scale reactor during composting under forced aeration. **Waste Management**, v. 32, p. 1091-1105, 2012.
- HERBETS, R. A.; COELHO, C. R. A.; MILETTI, L. C.; MENDONÇA, M. M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. Departamento de Bioquímica, UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, 2005.
- HAUG, R.T. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA. 1993.
- IANNOTTI, D.A., GREBUS, M.E., TOTH, B.L., MADDEN, L.V., HOITINK, H.A.J. Oxygen respirometry to assess stability and maturity of composted municipal solid waste. **J. Environ. Qual.**, v. 23, p.1177–1183, 1994.
- INACIO, C. T. **Compostagem de restos de alimentos com aparas de grama e esterco de animais**: monitoramento do processo. Circular Técnica 46. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos**. Brasília: IPEA, 2012. p.77.
- IQBAL, M.K.; SHAFIQ, T.; AHMED, K. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 1913–1919, 2010.
- JASMIN, S.; SMITH, S. The practicability of home composting for the management of biodegradable domestic solid waste. Centre for Environmental Control and Waste Management, Department of Civil and Environmental Engineering , London, 2003.
- KALAMDHAD, A.; PASHA M.; KAZMI A. Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter. **Resources Conservation and Recycling** , 54 829-834. 2008.
- KEENER, H.M.; DICK, W.A.; HOITINK, H.A.J. Composting and beneficial utilization of composted by-product materials. In: Dick, W.A. (Ed.), Land Application of Agricultural, Industrial, and Municipal By-Products. Soil Science Society of America, Inc., Madison, p. 315–341, 2000.
- KHWAIRAKPAM, M., BHARGAVA, R. Bioconversion of filter mud using vermicomposting employing two exotic and one local earthworm species. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 5846 – 5852, 2009.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes orgânicos. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985.
- KIEHL, E. J. Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto, 4ªed., DeGaspari: Piracicaba, 2004.
- KLEMES, J.J.; VARBANOV, P.S.; HUISINGH, D. Recent cleaner production advances in process monitoring and optimization. **Journal of Cleaner Production**, v. 34, p. 1-8, 2012.
- KOPČIĆ, N.; VUKOVIĆ DOMANOVAC, M.; KUČIĆ, D.; BRISKI, F. Evaluation of laboratory-scale in-vessel co-composting of tobacco and apple waste. **Waste Management**, v. 34, p. 323-328, 2014.
- KUMAR, M.; OU, Y; LIN, J. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. **Waste Management**, v. 30, p. 602–609, 2010.

- KUTER, G. A. **Biosolids composting**. Water Environmental Federation, Alexandria, VA, 1995.
- LASARIDI K.E.; STENTIFORD E.I. A simple respirometric technique for assessing compost stability. **Water Res.**, v. 32, p. 3717– 3723, 1998.
- LAZCANO, C.; GOMÉZ-BRANDON, M.; DOMINGUÉZ, J. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. **Chemosphere**, v. 72, p. 1013 -1019, 2008.
- LLEÓ, T.; ALBACETE, E.; BARRENA, R.; XAVIER, F.; ARTOLA, A.; SÁNCHEZ, A. Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management. **Journal of Cleaner Production**, v. 47, p. 70-76, 2013.
- LÓPEZ, M. et al. Intelligent composting assisted by a wireless sensing network. **Waste Management**, v. 34, p. 738-746, 2014.
- MANIOS, T. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. **Environ. Int.**, v. 29, p.1079–1089, 2004.
- MARAGNO, E. S.; TROMBIN, D. F.; VIANA, E. O uso da serragem no processo de minicompostagem. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, n. 4, 2007.
- MARTÍNEZ-BLANCO, J.; CÓLON, J.; XAVIER, G.; XAVIER, F.; SÁNCHEZ, A.; ARTOLA, A.; RIERADEVALL, J. The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. **Waste Management**, v. 30, p. 983-994, 2010.
- MARTINS, J. E.M. P.; AKUTSU, J.; KAJINO, H.S.; MANFRINATO, J.W.S.; CASTILHO, F.G.S **Desenvolvimento de um Sistema Computacional Para Automação e Gerenciamento de Processos de Compostagem de Resíduos Sólidos**. In: XVI SIMPEP – Simpósio de Engenharia de Produção, 2009, Bauru. Anais... Bauru: SIMPEP, 2009.
- MARTINS, N. F. Modelo de composteiras orgânicas na gestão ambiental domiciliar. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental – RBGA**, v. 6, n. 1, p. 29-36, 2012.
- MASSOUD, M. ; EL-FADEL, M.; ABDEL MALAK, A. Assessment of public vs private MSW management: a case study. **Journal of Environmental Management**, v. 69, n. 1, p. 15–24, 2003.
- MASSUKADO, L. M. et al. Diagnóstico da Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil : uma análise pós PNSB 2008 - ênfase na destinação final e nos resíduos orgânicos. **Revista DAE**, n. 192, p. 22–33, 2013.
- MILLER, F.C. Composting as a process based on the control of ecologically selective factors. In: Metting, F.B., Jr. (Ed.), *Soil Microbial Ecology, Applications in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, Inc., New York, p. 515–544, 1992.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Lei nº 6.894 de 16 de dezembro de 1980, regulamentada pelo Decreto nº 4.954, de 14 de janeiro de 2004.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**, 2012.
- MORADA DA FLORESTA. Disponível em: < <http://www.moradadafloresta.org.br/>>. 2014.
- NAKASHIMA, A. T. A. et al. **Análise do índice de resto-ingestão e sobra alimentar em uma unidade de alimentação e nutrição**. In: III CONCCEPAR, 2009, Campo Mourão. Anais... Campo Mourão: CONCCEPAR, 2009.
- NEKLYUDOV, A.D.; FEDOTOV, G.N.; IVANKIN, A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. **Appl. Biochem. Microbiol.** v. 44, p. 6–18, 2008.

- NOVAES, J. P.; MASSUKADO, L. M.; LIMA, R. F. F.; ARAUJO, E. G.; COUTO, J. C. Avaliação do processo de compostagem dos resíduos sólidos orgânicos produzidos no Instituto Federal de Brasília – Campus Planaltina. In: VIII Congresso Brasileiro de Agroecologia, 2013, Porto Alegre/RS.
- OLIVEIRA, A. M. G.; AQUINO, A.M.; CASTRO NETO, M.T. Compostagem Caseira de Lixo Orgânico Doméstico. **Circular Técnica Embrapa**, n. 76, 2005.
- PARKINSON, R.; GIBBS, P.; BURCHETT, S.; MISSELBROOK, T. Effect of turning regime and seasonal weather conditions on nitrogen and phosphorus losses during aerobic composting of cattle manure. **Bioresource Technology**, v. 91, p.171–178, 2004.
- PEDROSA, T. D.; FARIAS, C.A.S.; PEREIRA, R. A.; FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físicos-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 44-48, 2013.
- PEREIRA NETO, J. T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Belo Horizonte: UNICEF, 1996.
- PICHTEL, J. Waste management practices: municipal, hazardous, and industrial. Boca Raton: Taylor & Francis, p.649, 2005.
- PONSA S.; PAGANS E.; SANCHEZ A. Composting of dewatered wastewater sludge with various ratios of pruning waste used as a bulking agent and monitored by respirometer. **Biosystems Engineering**, v.102 (4), p. 433-443, 2009.
- PORTER, M.E.; VAN DER LINDE, C. Green and competitive: ending the stalemate. **Harvard Business Review**, v. 73, n. 5, p. 120–137, 1995.
- RASHAD, F.M., SALEH, W.D., MOSELHY, M.A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, v. 101, p.5952–5960, 2010.
- RAVI KUMAR, P; AMBIKA JAYARAM, E; SOMASHEKAR, R. K. Assessment of the performance of different compost models to manage urban household organic solid wastes. **Clean Techn Environ Policy**, v. 11, p. 473-484, 2009.
- RODRÍGUEZ, L.; CERRILLO, M.I.; GARCÍA-ALBIACH, V.; VILLASEÑOR, J. Domestic sewage sludge composting in a rotary drum reactor: Optimizing the thermophilic stage. **Journal of Environmental Management**, v. 112, p.284-291, 2012.
- RUGGIERI, L.; GEA, T.; MOMPEÓ, M.; SAYARA, T.; SÁNCHEZ, A. Performance of different systems for the composting of the source-selected organic fraction of municipal solid waste. **Biosyst Eng**, v. 101, p.78–86, 2008.
- SANTOS, J. L. D. dos. Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis. 2007. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada)- Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2007.
- SCAGLIA, B.; ERRIQUENS, F.G.; GIGLIOTTI, G.; TACCARI M.; CIANI M.; GENEVINI, P.L.; ADANI, F. Precision determination for the specific oxygen uptake rate (SOUR) method used for biological stability evaluation of compost and biostabilized products. Università degli Studi di Milano , Università di Perugia , Università Politecnica delle Marche, Italia, 2005.
- SCOTON, E. J. **Análise dos resíduos orgânicos gerados no restaurante presente no campus da Unesp de Bauru e sua viabilidade de utilização nos processos de compostagem.** In: II WORKSHOP DO PGR EM “GESTÃO DE

- RESÍDUOS NA UNIVERSIDADE”, 2, 2012, São José do Rio Preto, SP. Resumos...São José do Rio Preto: Unesp, 2012.
- SCOTON, E. J.; BATTISTELLE, R.A.G.; BEZERRA, B. S.; AKUTSU, J. A sewage sludge co-composting process using respirometric monitoring method in hermetic rotary reactor. **Journal of Cleaner Production**. Article in press, p. 1-7, 2015.
- SHRIVASTAVA, P. Environmental technologies and competitive advantage. **Strategic Management Journal**, v.16, n. 3, p. 183–200, 1995.
- SHEN, Y. et al. Online monitoring of volatile organic compound production and emission during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 123, p. 463-470, 2012.
- SILVA, A. G.; LEITE, V.D.; SILVA, M.M.P.; PRASAD, S.; FEITOSA, W.B.S. Compostagem aeróbia conjugada de lodo de tanque séptico e resíduos sólidos vegetais. **Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 4, p. 371-379, 2009.
- SINGH, R.P.; SINGH, P.; ARAUJO, A.S.F.; IBRAHIM, M.H.; SULAIMAN, M. Management of urban solid waste: vermicomposting as a sustainable option. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 719-729, 2011.
- SMITH, P. G.; SCOTT, J. S. **Dictionary of water and waste management**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 486.
- SOOBHANY, N.; MOHEE, R.; GARG, V. K. Experimental process monitoring and potential of *Eudrilus eugeniae* in the vermicomposting of organic solid waste in Mauritius. **Ecological Engineering**, v. 84, p. 149-158, 2015.
- SUNDBERG, C., et al. Characterisation of source-separated household waste intended for composting. **Bioresource Technology**, v.102, p. 2859–2867, 2011.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; KREITH, F. **Handbook of solid waste management**. 2. ed. New York: McGraw Hill, 2002. p. 833
- VLYSSIDES, A.G.; BARAMPOUTI, E.M.P.; MAI, S.T. Physical characteristics of olive stone wooden residues: possible bulking material for composting process. **Biodegradation**, v.19, p.209–214, 2008.
- WANG, H.; WANG, C. Municipal solid waste management in Beijing: characteristics and challenges. **Waste Management and Research**, v. 31, n. 1, p. 67–72, 2013.
- YANG, L. et al. Global trends of solid waste research from 1997 to 2011 by using bibliometric analysis. **Scientometrics**, v. 96, n. 1, p. 133-146, 2012.
- YU, H., HUANG, G.H. Effects of sodium acetate as a pH control amendment on the composting of food waste. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 2005–2011, 2009.
- ZHOU, H.; SELVAM, A.; WONG, J. W.C. Evaluation of humic substances during co-composting of food waste, sawdust and Chinese medicinal herbal residues. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 229-234, 2014.
- ZUCCONI, F.; MONACO, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. In: Gasser, J.K.R. (Ed.), *Composting of Agricultural and Other Wastes*. Elsevier Applied Science Publishers, Barking, p. 73-85, 1985.