



Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Engenharia Ambiental e Sanitária: Interfaces do Conhecimento

Atena
Editora

Ano 2019

Helenton Carlos da Silva
(Organizador)

Engenharia Ambiental e Sanitária: Interfaces do Conhecimento

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Diagramação: Natália Sandrini
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Profª Drª Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Faria – Universidade Estácio de Sá
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima
Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie di Maria Ausiliatrice
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Universidade Federal do Maranhão
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
Profª Drª Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí
Profª Drª Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E57	<p>Engenharia ambiental e sanitária [recurso eletrônico] : interfaces do conhecimento / Organizador Helenton Carlos da Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Engenharia Ambiental e Sanitária. Interfaces do Conhecimento; v. 1)</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-693-5 DOI 10.22533/at.ed.935190910</p> <p>1. Engenharia ambiental. 2. Engenharia sanitária I. Silva, Helenton Carlos da. II. Série.</p> <p style="text-align: right;">CDD 628.362</p>
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná - Brasil
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A obra “*Engenharia Ambiental e Sanitária Interfaces do Conhecimento*” aborda uma série de livros de publicação da Atena Editora, em seu I volume, apresenta, em seus 26 capítulos, discussões de diversas abordagens acerca da importância da engenharia ambiental e sanitária, tendo como base suas diversas interfaces do conhecimento.

Entre os muitos usuários da água, há um setor que apresenta a maior interação e interface com o de recursos hídricos, o setor de saneamento.

A questão das interfaces entre saneamento e recursos hídricos coloca-se no saneamento como usuário de água e como instrumento de controle de poluição, em consequência, de preservação dos recursos hídricos.

Estas interfaces, como linhas integradas prioritárias de pesquisa, relacionam-se ao desenvolvimento e a inovação, seja de caráter científico e tecnológico, entre as áreas de recursos hídricos, saneamento, meio ambiente e saúde pública.

Dentro deste contexto podemos destacar que o saneamento básico é envolto de muita complexidade, na área da engenharia ambiental e sanitária, pois muitas vezes é visto a partir dos seus fins, e não exclusivamente dos meios necessários para atingir os objetivos almejados.

Neste contexto, abrem-se diversas opções que necessitam de abordagens disciplinares, abrangendo um importante conjunto de áreas de conhecimento, desde as ciências humanas até as ciências da saúde, obviamente transitando pelas tecnologias e pelas ciências sociais aplicadas. Se o objeto saneamento básico encontra-se na interseção entre o ambiente, o ser humano e as técnicas podem ser facilmente traçados distintos percursos multidisciplinares, potencialmente enriquecedores para a sua compreensão.

Neste sentido, este livro é dedicado aos trabalhos relacionados a estas diversas interfaces do conhecimento da engenharia ambiental e sanitária. A importância dos estudos dessa vertente é notada no cerne da produção do conhecimento, tendo em vista o volume de artigos publicados. Nota-se também uma preocupação dos profissionais de áreas afins em contribuir para o desenvolvimento e disseminação do conhecimento.

Os organizadores da Atena Editora agradecem especialmente os autores dos diversos capítulos apresentados, parabenizam a dedicação e esforço de cada um, os quais viabilizaram a construção dessa obra no viés da temática apresentada.

Por fim, desejamos que esta obra, fruto do esforço de muitos, seja seminal para todos que vierem a utilizá-la.

Helenton Carlos da Silva

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
A CONSCIENTIZAÇÃO EM EDUCAÇÃO AMBIENTAL, COM OS ATORES ENVOLVIDOS NA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Luis Fernando Moreira Rudson Adriano Rossato da Luz Eberson Cordeiro de Almeida	
DOI 10.22533/at.ed.9351909101	
CAPÍTULO 2	15
ESCRITÓRIO DE PROJETOS DE INOVAÇÃO	
Silvio Rocha da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.9351909102	
CAPÍTULO 3	25
A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL NA SABESP	
Diogo Ávila de Castro Wagner Preda de Queiroz Rérison Otoni Araujo José Luis Januário	
DOI 10.22533/at.ed.9351909103	
CAPÍTULO 4	43
XII-015 - APLICAÇÃO DE MÉTODOS ESTATÍSTICOS PARA DETERMINAR CONFIABILIDADE DE REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE ELÉTRICA	
Floriano do Ó do Nascimento Júnior	
DOI 10.22533/at.ed.9351909104	
CAPÍTULO 5	51
DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL PARA A RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS: ESTRATÉGIAS E INSTRUMENTOS	
Tainá Ângela Vedovello Bimbati Emília Wanda Rutkowski	
DOI 10.22533/at.ed.9351909105	
CAPÍTULO 6	64
DIAGNÓSTICO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE SAÚDE A PARTIR DE UMA FERRAMENTA DE AUTOANÁLISE	
Luiza Portz Rosí Cristina Espíndola da Silveira Ênio Leandro Machado Lourdes Teresinha Kist	
DOI 10.22533/at.ed.9351909106	

CAPÍTULO 7 75

DIAGNÓSTICO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM UM JARDIM BOTÂNICO

Eduardo Antonio Maia Lins
Natália de Cássia Silva Melo
Luiz Oliveira da Costa Filho
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Sérgio Carvalho de Paiva
Fábio José de Araújo Pedrosa
Cecília Maria Mota Silva Lins
Andréa Cristina Baltar Barros
Maria Clara Pestana Calsa
Adriane Mendes Vieira Mota
Roberta Richard Pinto
Daniele de Castro Pessoa de Melo

DOI 10.22533/at.ed.9351909107

CAPÍTULO 8 86

DINÂMICA DO SÓDIO EM ARGISSOLO IRRIGADO COM PERCOLADO DE ATERRO SANITÁRIO E ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Daniela da Costa Leite Coelho
Ana Beatriz Alves de Araújo
Rafael Oliveira Batista
Paulo César Moura da Silva
Nildo da Silva Dias
Ketson Bruno da Silva
Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa
Francisco de Oliveira Mesquita
Alex Pinheiro Feitosa

DOI 10.22533/at.ed.9351909108

CAPÍTULO 9 97

EVOLUÇÃO DE ADESÃO DA COLETA SELETIVA NOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DO PARANÁ DE 2002 A 2017

Leticia Framesche
Thiago Silva Souza
Ivonete de Souza Gabriel
Ana Paula Tanabe
Máriam Trierveiler Pereira

DOI 10.22533/at.ed.9351909109

CAPÍTULO 10 108

EXPOSIÇÃO COMBINADA A MÚLTIPLOS CONTAMINANTES AMBIENTAIS: CONCEITOS E ANÁLISE EXPLORATÓRIA

Ana Lúcia Silva

DOI 10.22533/at.ed.93519091010

CAPÍTULO 11 128

FAXINEIRA DE SOLOS

Luiza Mayumi Hirai

DOI 10.22533/at.ed.93519091011

CAPÍTULO 12	132
GEOPROCESSAMENTO APLICADO NA ANÁLISE DE SUSCETIBILIDADE E VULNERABILIDADE EM BOÇOROCA URBANA-RURAL	
Fabrícia Vieira Paulo Sérgio de Rezende Nascimento	
DOI 10.22533/at.ed.93519091012	
CAPÍTULO 13	143
ESTUDO COMPARATIVO ENTRE AS CONCENTRAÇÕES DE HORMÔNIOS REPORTADOS EM MATRIZES AMBIENTAIS AQUOSAS NO BRASIL E NO EXTERIOR	
Thamara Costa Resende João Monteiro Neto Taiza dos Santos Azevedo Sue Ellen Costa Bottrel Renata de Oliveira Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.93519091013	
CAPÍTULO 14	167
IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS PROBLEMAS REFERENTES AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA EM PRÉDIOS PÚBLICOS DO SETOR DE EDUCAÇÃO DA ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL NO VALE DO RIBEIRA - SP	
Luciano Zanella Wolney Castilho Alves	
DOI 10.22533/at.ed.93519091014	
CAPÍTULO 15	180
INOVAÇÃO DE PROCESSO – UM ESTUDO DE CASO SOBRE A EFICIÊNCIA COMERCIAL	
Vanderléia Loff Lavall Cesar Augusto Ramos	
DOI 10.22533/at.ed.93519091015	
CAPÍTULO 16	190
METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DO PLANO DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS EM INSTITUIÇÕES	
Clauciana Schmidt Bueno de Moraes Larissa Marchetti Dolphine Adriana Yumi Maeda Danielle Mayara Pereira Lobo Bruna Ferrari Felipe Ananda Islas da Silva Stephani Cristine de Souza Lima Willian Leandro Henrique Pinto Flávia Moretto Paccola	
DOI 10.22533/at.ed.93519091016	
CAPÍTULO 17	203
MONTAGEM E MANUTENÇÃO DE TUBULAÇÕES EM PEAD COM GRANDES DIÂMETROS	
Renato Augusto Costa dos Santos José Leandro Alves de Oliveira Felipe Augusto Eiras de Resende	
DOI 10.22533/at.ed.93519091017	

CAPÍTULO 18	216
PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE PROCESSOS DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA A IMPLANTAÇÃO EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO A MÉDIO PORTE	
Cláudia Echevengua Teixeira	
Débora do Carmo Linhares	
Patrícia Léo	
Thomaz de Gouveia	
Letícia dos Santos Macedo	
Bruna Patrícia de Oliveira	
Gilberto Martins	
DOI 10.22533/at.ed.93519091018	
CAPÍTULO 19	228
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS AGRÍCOLAS E INDUSTRIAIS PARA A PRODUÇÃO DE BIOFERTILIZANTE	
Ivan Cesar Tremarin	
Dionei Minuzzi Dalevati	
Ênio Leandro Machado	
Odorico Konrad	
Camila Hasan	
DOI 10.22533/at.ed.93519091019	
CAPÍTULO 20	241
REMOÇÃO DE AMÔNIA POR ADSORÇÃO COM ARGILA BENTONITA	
Juliana Dotto	
Aline Roberta de Pauli	
Isabella Cristina Dall' Oglio	
Fernando Rodolfo Espinoza-Quiñones	
Helton José Alves	
DOI 10.22533/at.ed.93519091020	
CAPÍTULO 21	251
RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL: ORIENTAÇÕES, DIRETRIZES E CRITÉRIOS	
Neyton Hideki Tadeu Araki	
Maria Fernanda Sala Minucci	
DOI 10.22533/at.ed.93519091021	
CAPÍTULO 22	263
A URBANIZAÇÃO E O DESENCADEAMENTO DE PROCESSOS EROSIVOS EM ÁREA DE PRESERVAÇÃO AMBIENTAL NA CIDADE DE MARINGÁ-PR	
Lourival Domingos Zamuner	
Cláudia Telles Benatti	
Bruno Henrique Toná Juliani	
Cristhiane Michiko Passos Okawa	
DOI 10.22533/at.ed.93519091022	

CAPÍTULO 23 272

ANÁLISE DE IMPACTO AMBIENTAL EM UM COMPLEXO EÓLICO

Eduardo Antonio Maia Lins
Maria Juliana Miranda Correia da Cruz
Luiz Oliveira da Costa Filho
Luiz Vital Fernandes Cruz da Cunha
Sérgio de Carvalho Paiva
Fábio José de Araújo Pedrosa
Cecília Maria Mota Silva Lins
Andréa Cristina Baltar Barros
Maria Clara Pestana Calsa
Adriane Mendes Vieira Mota
Roberta Richard Pinto
Daniele de Castro Pessoa de Melo

DOI 10.22533/at.ed.93519091023

CAPÍTULO 24 285

EFEITOS DE DILUIÇÕES DE ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO NO DESENVOLVIMENTO DO GIRASSOL CULTIVADO EM CASA DE VEGETAÇÃO

Audilene Dantas da Silva
Rafael Oliveira Batista
Fabrícia Gratyelli Bezerra Costa Fernandes
Leonardo Cordeiro da Silva
Igor Estevão Sousa Medeiros
Jéssica Sousa Dantas
Juli Emille Pereira de Melo
Emmilia Priscila Pinto do Nascimento
Raionara Dantas Fonseca
Antonio Diego da Silva Teixeira
Ana Beatriz Alves de Araújo
Aline Daniele Lucena de Melo Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.93519091024

CAPÍTULO 25 297

RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL: A DISPOSIÇÃO ILEGAL E SEUS IMPACTOS NA RESILIÊNCIA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO

Kátia Regina Alves Nunes
Cláudio Fernando Mahler
Orlando Sodré Gomes

DOI 10.22533/at.ed.93519091025

CAPÍTULO 26 303

EFEITO DA ADIÇÃO DE ÁGUA AO LODO DE ESGOTO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA EM BIODIGESTOR

Ariane da Silva Bergossi
Juliana Lobo Paes
Priscilla Tojado dos Santos
Romulo Cardoso Valadão
Maxmillian Alves de Oliveira Merlo
Guilherme Araujo Rocha
João Paulo Barreto Cunha

DOI 10.22533/at.ed.93519091026

SOBRE O ORGANIZADOR.....	315
ÍNDICE REMISSIVO	316

PROSPECÇÃO TECNOLÓGICA DE PROCESSOS DE BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS PARA A IMPLANTAÇÃO EM MUNICÍPIOS DE PEQUENO A MÉDIO PORTE

Cláudia Echevengúá Teixeira

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas
São Paulo - SP

Débora do Carmo Linhares

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)
Laboratório de Biotecnologia Industrial
São Paulo - SP

Patrícia Léo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)
Laboratório de Biotecnologia Industrial
São Paulo - SP

Thomaz de Gouveia

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)
Laboratório de Biotecnologia Industrial
São Paulo - SP

Letícia dos Santos Macedo

Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT)
Laboratório de Resíduos e Áreas Contaminadas
São Paulo - SP

Bruna Patrícia de Oliveira

Universidade Federal do ABC (UFABC)
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS)
Santo André - SP

Gilberto Martins

Universidade Federal do ABC (UFABC).
Centro de Engenharia, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas (CECS)
Santo André – SP

RESUMO: No Brasil, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) representa aproximadamente 51 % dos resíduos sólidos urbanos (RSU) totais. Quando disposta de maneira inadequada, a degradação da FORSU causa impacto ao meio ambiente pela geração de odores, lixiviados, produção de gases estufa, entre outros. Os processos biológicos envolvendo a digestão anaeróbia representam uma alternativa de processamento para estabilização da FORSU com recuperação de energia, prática que vem crescendo no mundo. Neste trabalho, foi realizada a prospecção tecnológica de processos de biodigestão anaeróbia com recuperação de energia a partir de resíduos sólidos urbanos utilizando diversas fontes de dados, incluindo bibliografia em periódicos científicos e técnicos, patentes, dissertações, teses, websites de empresas, bem como contatos com fornecedores, especialistas, visitas técnicas e participação em eventos técnicos. Foram identificadas oito tecnologias principais para tratamento de FORSU e recuperação de biogás apresentando

possibilidade de aproveitamento como combustível automotivo ou para geração de calor e energia elétrica. Dentre estas tecnologias, aquelas que aplicam o modelo de biodigestão seca por meio de túneis de metanização foram as melhor avaliadas por meio de pontuação aplicada, conforme metodologia utilizada para este fim, levando-se em consideração o nível de maturidade tecnológica, o grau de complexidade e o grau de aplicabilidade no cenário de municípios brasileiros de pequeno e médio porte. A validação deste modelo conta com a implantação de túneis de metanização em escala de demonstração no município de Bertiooga, SP, como estudo de caso, visando obter parâmetros reais de operação, eficiência, custo e viabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestão anaeróbia, resíduos sólidos urbanos, recuperação de energia, túneis de metanização, biogás.

TECHNOLOGICAL PROSPECTION OF ANAEROBIC BIODIGESTION PROCESSES OF MUNICIPAL SOLID WASTE FOR IMPLEMENTATION IN SMALL TO MEDIUM SIZE MUNICIPALITIES

ABSTRACT: The organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) represents approximately 51% of the municipal solid waste (MSW) in Brazil. Inadequate disposal of this fraction causes environmental impacts related to leachate and odors production, greenhouse gas emissions among others. Biological processes involving anaerobic digestion represent an alternative for stabilizing the OFMSW with energy recovery which has been increasing in the world. A technological prospection of the anaerobic digestion technologies with energy recovery has been made based on scientific and technical literature, patents, thesis, companies websites, as well as interviews with specialist and providers, besides technical visits and participation in exhibitions, fairs and conferences. Eight technologies for the OFMSW digestion and biogas production for use as automotive fuel, heat or electricity generation have been identified. Among these technologies, those that are based on methanization tunnels scored best according to the methodology used which considered the technological readiness level, complexity level and degree of applicability in the context of the small and medium size Brazilian municipalities. Validation of this model is in course with the implementation of a demonstration methanization tunnel plant in the municipality of Bertiooga, SP, as a case study to obtain operation, efficiency, cost and viability parameters.

KEYWORDS: Anaerobic digestion, municipal solid waste, energy recovery, methanization tunnels, biogas.

1 | INTRODUÇÃO

No Brasil, a fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU), constituída de restos animais e vegetais, representa aproximadamente 51 % dos resíduos sólidos urbanos (RSU) totais (IBGE, 2010; IPEA, 2012). A FORSU é responsável por grande parte dos aspectos ambientais associados aos resíduos, como a geração de

odores, lixiviados, liberação de biogás para a atmosfera e os impactos ambientais decorrentes. Dentre as alternativas de processamento da FORSU, os processos via digestão anaeróbia com a recuperação de energia pelo uso do metano têm alcançado maior abrangência de mercado, impulsionados pelas políticas relacionadas à destinação final de resíduos.

A biodigestão anaeróbia é caracterizada pelos processos de conversão da matéria orgânica, na ausência de oxigênio, por ação de microrganismos. Esta conversão é um processo bioquímico que ocorre em quatro estágios principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, sendo que em cada estágio estão envolvidas diferentes populações microbianas que se desenvolvem em condições fisiológicas específicas.

Os principais objetivos do tratamento biológico são:

- Melhor aproveitamento dos materiais antes da disposição final;
- a estabilização da matéria orgânica em ambiente controlado, visando minimizar a disposição final de matéria orgânica em aterros;
- recuperação energética do biogás produzido na fase anaeróbia do processo;
- aproveitamento do material estabilizado para usos diversos, tais como cobertura de encostas e condicionador de solos;
- alinhamento com as principais diretrizes políticas do país para a gestão de resíduos;
- diversificação das técnicas de tratamento, desenvolvimento e consolidação de tecnologias.

Os biodigestores anaeróbios, nos quais os processos são controlados, podem ser classificados de acordo com a concentração de sólidos totais que operam. Reatores de via úmida, com teor de sólidos até 15 % e via seca, com teor de sólidos acima de 15 % (PROBIOGÁS, 2015). A prospecção tecnológica, objeto deste estudo, considerou as tecnologias por via seca.

No cenário brasileiro, estudos já apontam para o potencial de viabilidade do emprego da biodigestão anaeróbia como uma das etapas do tratamento de resíduos sólidos orgânicos, com foco para a possibilidade de recuperação de energia (EMAE, 2009; FADE, 2014; EPE, 2014). Dentre estes trabalhos, alguns chegaram a esboçar estudos de pré-viabilidade econômica, de forma mais ou menos ampla, baseados em dados de literatura (FEAM/DEFLOR, 2009; VIA PÚBLICA, 2012).

Nesta prospecção não foram encontradas plantas em operação com escala compatível com a realização deste tipo de tratamento da FORSU no Brasil. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010) apresenta como uma de suas diretrizes o incentivo ao reaproveitamento dos resíduos sólidos, incluídos a recuperação e o aproveitamento energético, por meio de tratamentos biológicos relacionados à compostagem e biodigestão anaeróbia com recuperação de energia (SÃO PAULO, 2014).

Este trabalho apresenta a prospecção tecnológica de processos de biodigestão

anaeróbia para municípios de pequeno e médio portes a partir da FORSU que culminou com a escolha de uma rota tecnológica para a instalação de uma unidade piloto no município paulista de Bertiooga, no âmbito de um projeto de pesquisa e desenvolvimento, conduzido pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, com recursos da Secretaria de Desenvolvimento Econômico do Estado (TEIXEIRA et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2018).

2 | PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

A prospecção de alternativas tecnológicas de biodigestão anaeróbia de FORSU envolveu o levantamento de dados a partir de fontes bibliográficas em periódicos, patentes, dissertações, teses, websites de empresas, bem como contatos com fornecedores, especialistas e outras fontes secundárias, visitas técnicas e participação em feiras.

Também foi realizada uma busca de mercado para o levantamento de equipamentos, por meio de websites de empresas nacionais e internacionais, bem como consultas a fabricantes e operadores de plantas (escala industrial e laboratorial), bem como a entidades de classe brasileiras e internacionais: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), Associação Brasileira de Limpeza Pública (ABLP), Compromisso Empresarial Para Reciclagem (CEMPRE), Waste-to-Energy Research and Technology Council (WTERN) e International Solid Waste Association (ISWA). Municípios com projetos de instalação de biodigestores e incineradores, órgãos de controle ambientais (Brasil, 2010; CETESB, 2014), institutos de pesquisas e órgãos de fomento (Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES e Banco Mundial) foram também consultados.

Para a realização de uma consulta abrangente e direta com fornecedores de tecnologia, no mês de novembro de 2015 foi publicado um chamamento público (BRASIL, 2014) pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, visando convidar empresas a agendarem uma visita ao IPT para apresentarem suas tecnologias, no âmbito do projeto RSU-Energia (TEIXEIRA et al. 2016; TEIXEIRA et al. 2018).

As principais tecnologias disponíveis comercialmente foram organizadas tentando-se identificar o número de plantas instaladas pelo mundo, as capacidades instaladas, tipo de resíduo, recuperação de energia, fabricantes, patentes, custos de operação e implantação, entre outros.

Os dados levantados foram ponderados e pontuados levando-se em consideração o nível de maturidade da tecnologia e o grau de complexidade e de aplicabilidade no cenário de municípios brasileiros de pequeno e médio porte. Em relação à avaliação do grau de maturidade da tecnologia, considerou-se uma

escala numérica de 1 a 9, abrangendo pesquisa e desenvolvimento, inovação e comercialização, na qual quanto maior o valor, maior a maturidade. A avaliação de complexidade, em baixa, média ou alta, foi ponderada conforme o critério de que quanto mais fácil uma tecnologia em termos de instalação, operação, manutenção e nível de segurança, maior a pontuação atribuída. Já para a definição de aplicabilidade ser baixa, média ou alta, ponderaram-se variáveis como as características dos resíduos, a extensão do uso, a acessibilidade de aquisição da tecnologia considerando fornecedores e fabricantes nacionais, o nível de qualificação da mão de obra, a flexibilidade, os custos e os possíveis mercados para os produtos gerados (MACEDO et al, 2017).

Os dados obtidos na prospecção e no critério de avaliação desenvolvido foram organizados pelo nome comercial das tecnologias identificadas e pelo número de plantas instaladas. Além disso, a avaliação destas tecnologias pelos critérios estabelecidos permitiu identificar aquela que foi considerada adequada para a planta piloto do projeto.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 estão apresentadas as oito principais tecnologias identificadas para tratamento de FORSU e recuperação de biogás, em que são destacados: os fornecedores, o tipo de resíduo e conteúdo de sólidos com que trabalha, início aproximado do desenvolvimento e os principais métodos utilizados na prospecção tecnológica. As oito tecnologias citadas apresentam possibilidade de aproveitamento energético da FORSU a partir da produção e recuperação de metano e posterior queima do mesmo para geração de eletricidade ou calor, ou mesmo a utilização como combustível automotivo. Além da geração de energia, se a qualidade do FORSU for adequada (FORSU separado na fonte), o material resultante também pode ser utilizado como adubo orgânico na agricultura.

Considerando os contatos e as buscas em literatura e mercado, as principais tecnologias de digestão anaeróbia via seca são a Dranco, Valorga, Laran e Kompogas. Estas tecnologias vêm sendo utilizadas na Europa desde a década de 1990 para o processo de metanização aplicada ao tratamento da FORSU (REICHERT, 2005). Uma das vantagens é a possibilidade de tratamento de grandes quantidades de FORSU em processo contínuo, em plantas com capacidades frequentemente superiores a 30.000 t/ano, sendo uma opção interessante para a estabilização da matéria orgânica e produção de biogás de forma controlada. Em média, a produtividade em biogás destas tecnologias varia entre 80 Nm³/t e 120 Nm³/t, que após tratamento pode ser encaminhado a estações de cogeração de energia e calor, os quais podem ser aproveitados na própria planta ou comercializados (PROBIOGÁS, 2015).

Nestes sistemas, a adição de água ainda é essencial, o que acarreta na necessidade de um processo de desaguamento para posterior estabilização do

material digerido. O volume de água produzido é alto, necessitando de maquinaria robusta e consumo de energia para deságue (separação do material digerido), o que pode representar cerca de 30 % do custo de energia elétrica da planta (FRICKE & PEREIRA, 2014). Esta fração líquida ainda tem alta concentração de orgânicos e deve ser tratada antes da destinação final.

Tecnologia (detentores) / (processo)	Plantas	Desenvolvimento das primeiras plantas	Prospecção tecnológica
DRANCO	31 unidades	Década de 90	Página oficial da empresa OWS ¹ , vídeos ² e referências de plantas ³ , literatura, contato com o fornecedor.
Valorga	31 unidades	Década de 90	Página oficial da empresa ⁴ e do grupo de limpeza pública associada Urbaser ⁵ , vídeos e referências de plantas, literatura.
Laran- Linde	21 unidades	Final da década de 90	Literatura
Kompogas	75 unidades	Década de 90	Página oficial da empresa AxpoKompogas ⁶ e da representante Kuttner ⁷ , vídeos e referências de plantas, literatura, contato com representante no Brasil (Kuttner).
BIOferm	15 unidades	Anos 2000	Páginas oficiais da empresa ⁸ , vídeos e notícias, literatura, contato por e-mail.
Kompoferm	7 unidades	2007	Página oficial da marca ⁹ , do grupo Eggersmann ¹⁰ e de divulgação ¹¹ geral, vídeos e notícias, literatura.
Bekon	21 unidades	2009	Página oficial da empresa ¹² , vídeos e referências de plantas, literatura, contato por e-mail, patentes (US 2015/0068259 A1; US 2011/0236947 A1, US 2010/0311141 A1), contato com o fornecedor.
Methar® TMO	1 unidade em instalação	Em andamento	Página oficial da empresa ¹³ , contato com o fornecedor.

Tabela 1 – Principais fornecedores identificados na prospecção tecnológica com instalações próprias para tratamento biológico da FORSU por meio de biodigestão anaeróbia seca

Notas: 1) http://www.ows.be/household_waste/dranco/; 2) <https://www.youtube.com/watch?v=F8qiMu9Q-eo&feature=youtu.be>; 3) <http://www.ows.be/biogas-plants/references/>; 4) <http://www.valorgainternational.fr/fr/>; 5) <http://www.urbaser.es/>; 6) <http://www.axpo.com/axpo/kompogas/de/home.html>; 7) <http://www.kuttner.com.br/Default245c.html?ID=28>; 8) <http://www.biofermenergy.com/anaerobic-digestion-technology/dry-fermentation/>; <http://www.biofermenergy.com/anaerobic-digestion-2/faq/>; <http://www.biofermenergy.com/biowatch/>; 9) <http://www.kompoferm.com/en/kompoferm.html>; 10) http://www.f-e.de/new-product-development_Kompoferm_Plus.html?PHPSESSID=8804adfb702e71d2108126b6b65f94be; 11) <http://zerowasteenergy.com/our-solutions/dry-anaerobic-digestion/>; 12) <http://www.bekon.eu/>; 13) <http://methanum.com/?methanum.com.br>

Outro inconveniente dos processos em via úmida e seca em reator é a

sensibilidade à alta porcentagem de impróprios carregados junto com a fração orgânica recuperada de RSU não separado na fonte. Estes impróprios, como plásticos, metais, vidros, entre outros, frequentemente obstruem tubulações e reatores, exigindo a parada do sistema para remoção destes materiais, além de poder levar ao aumento de pressão no reator, com conseqüente aumento do risco de acidentes (GOMES et al. 2012).

A partir de 2007, foram desenvolvidos na Europa os sistemas de digestão anaeróbia via seca, conhecidos como túneis de metanização, ou sistemas de garagem. O processo biológico é o mesmo, porém, o teor de sólidos é suficientemente maior (até 50 %), ao ponto que os resíduos possam ser empilhados e transportados com pás carregadeiras ou equipamentos semelhantes. A principal vantagem deste sistema é a reduzida porcentagem de água extraída do processo, em comparação com os de via seca. Além disso, por este processo não exigir agitação mecânica, o sistema aceita uma elevada porcentagem de impróprios característicos da FORSU de países em desenvolvimento, os quais ainda não praticam uma segregação efetiva dos resíduos. Como os reatores são descontínuos, é possível associar os processos de digestão aeróbia e anaeróbia. Em média a redução de massa varia de 12 % a 25 %, na fase anaeróbia, e de 30 % a 60 %, após a estabilização em aerobiose, o que já envolve a retirada de água livre do composto. Atualmente, existem três sistemas principais para tratamento de FORSU via seca, sendo eles: Bioferm, Kompoferm - Eggersmann (Kompofermplus e SmartFerm) e Bekon.

Em geral, a planta instalada acompanha uma unidade de pré-tratamento do RSU, envolvendo pelo menos as etapas de retirada das embalagens, separação de materiais contaminantes grosseiros, como plásticos e metais, e redução do tamanho dos fragmentos. Da mesma forma, deve estar prevista ao menos uma unidade de armazenamento para o biogás produzido, e idealmente uma unidade de tratamento de gases e queimadores de segurança.

O mercado principal das tecnologias de biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos continua sendo o Europeu, embora seu uso comercial esteja continuamente se difundindo para outras regiões. O crescimento constante da implantação é resultado da necessidade de tratamento dos resíduos orgânicos antes da disposição em aterros, incentivado também pela possibilidade de reaproveitamento energético, principalmente com geração de eletricidade e calor.

Considerando a escassez de dados a partir de resíduos locais sobre operação e rendimentos do processo no Brasil, o “projeto RSU Energia” previu o desenvolvimento de uma planta de demonstração do processo de biodigestão anaeróbia, implantada como estudo de caso no Município de Bertioga, SP. Além de possibilitar diversas avaliações de processo, como o impacto da segregação e coleta seletiva, a aquisição de dados próprios permite a realização de um estudo mais abrangente e realista sobre a viabilidade técnica e econômica da tecnologia, considerando as condicionantes locais, num contexto de integração de rotas de tratamento.

A Tabela 2 apresenta o resultado da avaliação das tecnologias de biodigestão considerando os critérios de grau de maturidade tecnológica (TRL), quanto à complexidade e à aplicabilidade para implantação em um dado cenário (MACEDO et al, 2017). Destaca-se que esta avaliação foi realizada dentro do âmbito do projeto de pesquisa. Após avaliação e pontuação dos sistemas de tratamento da FORSU elencados neste documento (Tabela 2), dentre as opções de via seca, a melhor classificação foi apresentada pelo sistema Kompogas, pois, além da robustez, é o único identificado com representante no Brasil. No entanto, por se tratar de uma tecnologia importada, o custo de montagem e manutenção deste sistema pode representar dificuldades adicionais para contratação pela maioria dos municípios brasileiros. Deve-se ainda ressaltar que, por se tratar de um processo de biodigestão contínua, este possui sistemas complexos de alimentação da FORSU e extração do material digerido, sendo sujeito a falhas e alto valor de manutenção.

Quanto aos túneis de metanização europeus, estes parecem ser sistemas promissores para o tratamento de FORSU em pequenos municípios (em geral até 50.000 t/ano). Por ser uma abordagem mais recente para o tratamento de FORSU e devido à existência de muitas plantas ainda em escala de demonstração, a maturidade desta tecnologia foi aqui considerada em nível inferior àquelas em via seca em reator. Sendo um sistema modular, a ampliação de escala conforme a demanda local é facilitada. Em termos de complexidade, os túneis de metanização mostraram-se como sistemas mais simples que os sistemas de via seca em reator, tanto para a construção como para a operação. Considerando a operação em via seca em túneis de metanização, as três tecnologias europeias pontuaram igualmente, utilizando as informações e critérios disponíveis nas consultas realizadas.

No Brasil, a empresa Methanum está desenvolvendo a tecnologia Methar® TMO (Túneis de Metanização Otimizados) para valoração de resíduos, com baixa necessidade de segregação e pré-tratamento do RSU. A tecnologia Methar TMO obteve pontuação final menor do que as europeias, devido ao grau de maturidade da tecnologia, em início de implantação no Brasil. Contudo, por ser uma empresa nacional, em termos de aplicabilidade recebeu uma pontuação maior, pelo fato de poder fornecer a tecnologia a preços sem taxas de importação com peças e mão de obra já no mercado nacional.

Considerando as informações aqui descritas, o modelo adotado pelo projeto no IPT para a construção de uma planta de demonstração seguiu os delineamentos da via seca em túneis de metanização, tendo como condição de contorno principal obter a menor massa residual do processo, implicando em menor volume para fins de destinação.

Tecnologias	Nível de Maturidade Global	Grau de Complexidade Tecnológica	Grau de Aplicabilidade	Soma geral
DRANCO	9	4	1,6875	14,6875
Valorga	9	4	1,6875	14,6875
Laran	9	5	1,6875	15,6875
Kompogas	9	5	3,9375	17,9375
Bioferm	8	6	3,9375	17,9375
Kompoferm	8	6	3,9375	17,9375
Bekon	8	6	3,9375	17,9375
Methar TMO	5	6	5,0625	16,0625

Tabela 2– Pontuação das principais tecnologias de biodigestão anaeróbia prospectadas para tratamento de FORSU, no contexto do modelo de tomada de decisão.

Fonte: Macedo et al (2017)

Tendo como referência informações disponíveis em literatura e materiais de divulgação técnica, além de contato com fornecedores e da experiência do grupo, foi elaborado um memorial descritivo com especificações mínimas para a construção de uma planta piloto para o tratamento da FORSU. O documento que descreve a unidade de demonstração foi encaminhado para prospecção de fornecedores. Neste processo foram consultadas vinte e duas empresas com atividades relacionadas ao tema de tratamento de resíduos de forma geral, entre nacionais e internacionais.

As quatro fornecedoras de tecnologia de biodigestão anaeróbia via seca, já citadas, foram consultadas. Outras trabalham com biodigestão anaeróbia por via seca ou úmida de resíduos, em especial agropecuários. Há também algumas ligadas a tratamento ou reaproveitamento de resíduos em geral, tratamento de águas residuais e ainda empresas de engenharia que trabalham com projetos sob encomenda. Dentre todas estas, apenas duas apresentaram condições de atendimento para fornecimento de sistema por via seca.

A dificuldade de se encontrarem fornecedores aptos para construir uma planta de demonstração revela a complexidade do sistema e a pouca maturidade da tecnologia no Brasil e confirma a necessidade de avaliar o processo como um todo de forma imparcial.

Considerando os critérios avaliados como resultado da prospecção de fornecedores e a tomada de decisão com vistas à implantação futura em municípios de pequeno porte, a empresa Methanum Energia e Resíduos, proprietária da tecnologia Methar TMO, foi contratada para construir e instalar a planta piloto inicialmente idealizada pelo IPT no Município de Bertioga. A planta encontra-se inserida em uma área de tratamento integrado amostral que atende aproximadamente 2.000 pessoas e é composta por unidades de triagem mecanizada, tratamento térmico e biológico. A capacidade de processamento da fração orgânica é de 2 t/dia e sua estrutura é composta por quatro containers de 20 m³ de capacidade útil, onde é

feito o carregamento da FORSU, uma unidade produtora de inóculo (UPI), para onde é encaminhado o lixiviado proveniente dos túneis e contém a maior parcela do consórcio microbiano responsável pelo processo. Há também um sistema de armazenamento de biogás e cogeração de energia térmica e elétrica. A unidade foi batizada em parceria pelo IPT e Methanum Energia e Resíduos como CMethar – Sistema containerizado para metanização da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos (metanização municipal), sendo a primeira planta de metanização em containers do Brasil (Figura 1). A planta entrou em fase de comissionamento e ajustes operacionais.



Figura 1 – Planta piloto de biodigestão - túneis de metanização CMethar

4 | CONCLUSÕES

Embora na Europa a tecnologia de biodigestão anaeróbia para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos esteja mais consolidada, no Brasil esta forma de tratamento ainda está em fase de desenvolvimento. Porém, frente às novas regulamentações sobre o tratamento e disposição de resíduos, a biodigestão anaeróbia se apresenta como uma das alternativas a serem pensadas para o tratamento e redução da fração orgânica antes da disposição final do RSU.

Considerando que no Brasil, até o momento, não foram identificadas plantas de digestão anaeróbia em operação para tratamento de FORSU, em escala comercial, o grande desafio é avaliar e desenvolver esta tecnologia de tratamento adaptada à realidade brasileira, bem como identificar modelos de negócio que viabilizem economicamente estas plantas para o tratamento da FORSU em municípios de pequeno e médio porte. Iniciativas como a da planta instalada no município de Bertioga podem auxiliar no avanço da curva de aprendizagem da tecnologia no Brasil, trazendo informações de cunho operacional e de manutenção aliados à eficiência do processo, sobretudo à eficiência dos processos de separação dos resíduos.

REFERÊNCIAS

- AXPO. **Axpo Kompogas**. Disponível em: <http://www.axpo.com/axpo/kompogas/de/home.html>. Acesso em 2017.
- BEKON. **Innovative Biogas**. Disponível em: <http://www.bekon.eu/en/>. Acesso em 2017.
- BIOFERM. **BIOFerm Dry Fermentation Digester**. Disponível em: <http://www.biofermenergy.com/anaerobic-digestion-technology/dry-fermentation/>. Acesso em 2017.
- 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 02 ago. 2010.
- EMAE. **Elaboração de estudo de modelagem de negócio para implantação de empreendimento de geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos no estado de São Paulo**. Contrato ASE/LPP/2001/01/2009.
- ENGERSMANN. **KOMPOFERM Plus**. Disponível em: http://www.f-e.de/new-product-development_Kompoferm_Plus.html?PHPSESSID=8804adfb702e71d2108126b6b65f94be. Acesso em 2017.
- EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, Nota Técnica DEA 18/14 – **Inventário Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos**. EPE. Rio de Janeiro, 50 p. 2014.
- FADE. **Análise das Diversas Tecnologias de Tratamento e Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. BNDES, jun. 2014.
- FEAM/DEFLO. **Projeto Conceitual de um Modelo de Reator Anaeróbio para a Biometanização da Fração Orgânica dos Resíduos Sólidos Urbanos e de Resíduos Industriais no Estado de Minas Gerais**. 86 p. Belo Horizonte, 2009.
- FRICKE, K; PEREIRA, C. **Biodigestão: uma ferramenta tecnológica eficiente para a recuperação energética e mássica dos resíduos sólidos**. 2014. Disponível em <http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/qualidade2014-21-maio-manha-09h-christiane-pereira.pdf>.
- GOMES, F.C.S.P.; AQUINO, S. F.; COLTURATO, L.F.D.B. **Biometanização seca de resíduos sólidos urbanos: estado da arte e análise crítica das principais tecnologias**. Eng. Sanit. Ambient. v.17, n.3, 2012, p. 295-304.
- IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD). 2010.
- IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos. Relatório de Pesquisa**. 2012.
- IPT. **RSU energia: um programa IPT de apoio às prefeituras nas decisões relativas a resíduos sólidos urbanos**. São Paulo: IPT/CT-Geo, 2016. 211 p. (Relatório Técnico 146017-205).
- KOMPOFERM. **KOMPOFERM Modular Plants**. Disponível em: <http://www.kompoferm.com/en/kompoferm.html>. Acesso em 2017.
- KUTTNER. **Tratamento biológico de resíduos**. Disponível em: <http://www.kuttner.com.br/Default245c.html?ID=28>. Acesso em 2017.
- MACEDO, L. S. ; TEIXEIRA, C. E. ; MASSOLA, C. P. ; MENDONÇA, M. A. ; LINHARES, D. C. Procedimento de apoio a tomada de decisão na seleção de rotas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no âmbito de um projeto de pesquisa e desenvolvimento. In: **CONGRESSO**

BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 29.,, 2017, São Paulo. Anais.... Rio de Janeiro: Abes, 2017. p. 1-12.

METHANUM. **METHANUM Resíduo e Energia**. Disponível em: <http://methanum.com/?methanum.com.br>. Acesso em 2017.

OWS. **Biogas Plants – DRANCO**. Disponível em: http://www.ows.be/household_waste/dranco/. Acesso em 2017.

PROBIOGÁS. **RSU – O Estado da Arte da Tecnologia da Metanização Seca**. Autores: Luis Felipe de Dornfeld Braga Colturato, Felipe Correia de Souza Pereira Gomes, Tathiana Almeida Seraval, Thiago Dornfeld Braga Colturato. Publicado por Projeto Brasil – Alemanha de Fomento ao Aproveitamento Energético de Biogás no Brasil – PROBIOGÁS, 2015.

REICHERT, G.A. 2005. Aplicação da digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos: uma revisão. **In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2005, Campo Grande, Brasil. Artigos Técnicos, ABES.

SÃO PAULO (2014). **Plano de Resíduos Sólidos do Estado de São Paulo. Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo e Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB)**. São Paulo, 2014.

TEIXEIRA, C. E.; YOSHIKAWA, N. K. ; MACEDO, L. S. . **RSU - Um programa do Governo do Estado para apoiar tecnicamente os municípios nas decisões relativas aos resíduos sólidos urbanos**. Municípios de São Paulo, São Paulo, p. 20 - 22, 01 abr. 2016.

TEIXEIRA, C. E.; MACEDO, L. S. ; MÁNEO, F. P. ; GUIMARAES, C. C. ; LEITE, D. C. ; ARDUIN, R. H. . **Research and development project to improve municipal solid waste management system: Bertioga's Case, São Paulo, Brazil**. (publicado na coluna A Glance at the World). WASTE MANAGEMENT, v. 72, p. 1-2, 2018.

URBASER. **Urbaser – Áreas de Actividad**. Disponível em: <http://www.urbaser.es/>. Acesso em 04 fev. 2016.

VALORGA INTERNATIONAL. **Valorga International**. Disponível em: <http://www.valorgainternational.fr/fr/>. Acesso em 2017.

VIA PÚBLICA. **Estudo de Alternativas de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos**. Incinerador mass burn e Biodigestor anaeróbio. 2012. Disponível em: < <http://polis.org.br/publicacoes/estudo-de-alternativas-de-tratamento-de-residuos-solidos-urbanos-incinerador-mass-burn-e-biodigestor-anaerobio/> >. Acesso: em 11/15.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Análise 1, 6, 7, 8, 12, 14, 21, 22, 23, 35, 36, 44, 50, 57, 59, 66, 67, 68, 72, 76, 90, 91, 95, 104, 105, 107, 108, 109, 113, 117, 119, 120, 121, 124, 125, 126, 132, 135, 137, 139, 147, 154, 162, 169, 170, 171, 172, 173, 178, 181, 188, 189, 197, 198, 226, 231, 232, 238, 244, 245, 247, 248, 260, 263, 272, 274, 284, 290, 291, 293, 296, 302, 306, 307, 309

Análise de risco 108, 109, 117, 120

B

Berço ao berço 51, 58, 61

C

Concentrações ambientais 143

Construção Civil 1, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 130, 297, 302, 315

Contaminação ambiental 108, 120, 121

Cultura da inovação 15, 16, 17

D

Desreguladores endócrinos 108, 109, 119, 120, 125, 143, 144, 153, 155, 156, 157, 160

Distribuição de Weibull 43

E

Ecologia industrial 51, 54, 60, 61, 62

Educação ambiental 1, 2, 4, 5, 8, 9, 12, 13, 14, 83, 84, 201

Engenharia de confiabilidade 43, 45

Erosão 132, 133, 134, 136, 137, 140, 141, 142, 254, 263, 264, 268, 271

Escritório de projetos 15, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 24

F

Fatores antrópicos 132

Fitoextração 128, 130

Funil de inovação 15, 20

G

Gerenciamento 4, 14, 15, 18, 20, 21, 22, 29, 51, 58, 64, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 77, 82, 84, 85, 97, 98, 99, 106, 127, 182, 183, 187, 188, 190, 191, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 199, 200, 201, 202, 265, 270, 297, 298, 302

Gerenciamento de projetos 15, 18, 20, 21

Gerenciamento de resíduos sólidos 51, 58, 82, 85, 193, 201, 298

Gestão 1, 2, 3, 4, 5, 10, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 25, 26, 27, 42, 43, 45, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 62, 69, 74, 76, 77, 80, 82, 84, 85, 97, 98, 99, 100, 101, 103, 104, 106, 107, 141, 143, 167, 168, 184, 191, 192, 193, 194, 195, 201, 202, 218, 296, 297, 298, 300, 301, 302, 314, 315

Gestão ambiental 1, 2, 3, 4, 10, 12, 14, 53, 54, 55, 57, 85, 97, 141, 194, 195, 201, 202, 296, 302, 315

Gestão da manutenção 43

H

Historiador 25, 26, 28, 29, 30, 42

Hormônios 114, 115, 116, 119, 125, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 164

I

Impacto ambiental 1, 3, 59, 229, 235, 272, 273, 281, 283, 284, 286

Impactos 2, 3, 10, 12, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 64, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 74, 77, 97, 98, 99, 106, 190, 191, 192, 194, 201, 218, 266, 267, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 279, 280, 281, 282, 283, 284, 297, 298

Inovação 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 168, 169, 180, 181, 186, 188, 189, 220, 315

L

Lixiviado 87, 95, 225, 242

Lixo 9, 62, 75, 76, 112, 113, 123, 278, 300, 301

M

Metais pesados 123, 128, 129, 130, 131, 231, 240

Microcontaminantes 143, 149

O

Osisoft 25, 26, 42

P

PIMS 25, 26, 27, 29, 30, 31

PI System 25, 26, 27, 28, 29, 30, 42

Plantas hiper- acumuladoras 128, 130, 131

Processo comercial 180

Q

QGIS 132, 133, 135, 137

R

Reciclagem 3, 4, 8, 9, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 76, 77, 80, 83, 84, 85, 193, 199, 219, 229, 298, 299, 300, 301, 302

Resíduos de serviços de saúde 64, 65, 66, 73, 113

Resíduo sólido urbano 87, 92, 93, 95, 96

Resíduos sólidos urbanos 2, 79, 80, 82, 83, 84, 85, 87, 97, 98, 106, 107, 192, 194, 202, 216, 217, 225, 226, 227, 297, 313

Responsabilidade estendida do produtor 51, 56, 59

S

SABESP 25, 29, 31, 42, 46, 108

Saneamento básico 29, 97, 98, 99, 101, 105, 106, 107, 108, 158, 215, 226, 251, 304

Sanepar 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 189

Saúde pública 66, 82, 106, 108, 120, 121, 122, 124, 125, 191, 251

Segregação 64, 65, 67, 70, 71, 72, 73, 195, 196, 197, 200, 222, 223

Sensoriamento remoto 132, 135

SNIS 97, 100, 101, 102, 104, 105, 107, 150, 304, 314

Sodificação 87, 93, 94, 95

Solo 51, 54, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 108, 112, 113, 121, 123, 124, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 152, 235, 236, 238, 240, 241, 256, 257, 258, 259, 261, 267, 268, 277, 279, 296

T

Transformação digital 25

U

Uso agrícola 87, 306

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-693-5



9 788572 476935