



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

FRANCISCO DIEGO ARAÚJO OLIVEIRA

**PROPOSTA DE COLETA SELETIVA DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES VISANDO SUA UTILIZAÇÃO PARA A
GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA**

FORTALEZA

2015

FRANCISCO DIEGO ARAÚJO OLIVEIRA

PROPOSTA DE COLETA SELETIVA DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS
RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES VISANDO SUA UTILIZAÇÃO PARA A
GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

FORTALEZA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca de Pós-Graduação em Engenharia - BPGE

O47p

Oliveira, Francisco Diego Araújo.

Proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares visando sua utilização para a geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia / Francisco Diego Araújo Oliveira. – 2015.

151 f. : il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2015.

Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

1. Saneamento. 2. Resíduos sólidos. 3. Resíduos orgânicos - Reaproveitamento. 4. Digestão anaeróbia. I. Título.

FRANCISCO DIEGO ARAÚJO OLIVEIRA

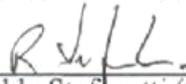
PROPOSTA DE COLETA SELETIVA DA FRAÇÃO ORGÂNICA DOS RESÍDUOS
SÓLIDOS DOMICILIARES VISANDO SUA UTILIZAÇÃO PARA A GERAÇÃO DE BIOGÁS
A PARTIR DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

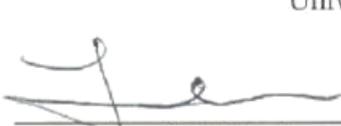
Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.

Aprovada em: 26/02/2015.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva (Membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)



Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço (Membro externo)
Universidade Federal de Tocantins (UFT)

Dedico este trabalho aos meus pais, à minha família e a todos os meus amigos, que estiveram sempre ao meu lado e me apoiaram no desenvolvimento e na realização de todos projetos de vida até aqui almejados.

AGRADECIMENTOS

À Deus, incontestavelmente, por ter me proporcionado a vida e por ser o maior motivador na busca dos meus sonhos.

À minha família, minha mãe Lucileide, meu pai Benedito, e minha irmã Dryellen, por me fazer acreditar que sou capaz e que sempre estarão de prontidão para me ajudar.

Às minhas avós, meus tios (as) e meus primos (as), pela força e amor que sempre me deram.

Ao meu orientador, Prof. Ronaldo Stefanutti, por ter me confiado à realização deste projeto e por toda contribuição científica e de humanidade ensinada durante este período.

Aos professores da Banca Examinadora, Prof. Dr. Fernando José Araújo da Silva e Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço, pelas importantes contribuições para elaboração desta dissertação.

À todos os meus amigos, pelo carinho e pelas palavras de apoio e motivação, destaco aqui, em especial, Herivanda, Karoline, Isabelly, Tayane, Irismar, grande mestre Professor Bemvindo Gomes, Ellen e Peterson.

Aos meus companheiros e amigos da pós-graduação por sua amizade, troca de conhecimento e ajuda mútua durante as várias atividades desenvolvidas no decorrer do curso e na concretização desta dissertação, destaco de forma especial Naiane, Keyve, Débora, Miguel, Patrícia, Priscila, Bruno e Ari.

Aos meus amigos e bolsistas de projeto que me ajudaram incessantemente em todas as etapas de execução desta pesquisa. É com grande carinho que agradeço o apoio dado por Gracy, Patrícia, Natan e Jéssyca. E aos alunos que compõem o PET do curso de Engenharia ambiental/UFC pelo apoio desprendido em alguns momentos imprescindíveis.

Ao LABOSAN/UFC, na pessoa de seu coordenador, Professor Dr. André Bezerra, por ter cedido o espaço laboratorial e toda sua infraestrutura para tornar possível a realização das análises.

À toda a equipe de analistas do LABOSAN/UFC, pela atenção dada e pelo compartilhamento e discussão de informações relevantes no experimento.

Aos professores do curso de Pós-Graduação de Engenharia Civil com área de concentração em Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental/UFC, pelos ensinamentos e conhecimentos adquiridos na minha formação de mestre.

À FUNCAP, pela concessão da bolsa de estudo. À FINEP, pelo financiamento da pesquisa.

À todos que de alguma forma contribuíram para tornar possível a realização desta dissertação.

RESUMO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos preconiza que na disposição final adequada somente os rejeitos devem ser lançados, não sendo o caso dos resíduos orgânicos, que constituem mais da metade dos resíduos sólidos urbanos gerados no país. Diante desse contexto, esta pesquisa teve como principal objetivo desenvolver uma proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares (FORSD) no bairro Pici, Fortaleza-CE, visando sua utilização para a geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia. Esta pesquisa ocorreu em 05 (cinco) etapas, sendo elas: o desenvolvimento do programa de educação ambiental (EA); a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares (RSD); a implantação do programa de coleta seletiva da FORSD; a caracterização física e química da FORSD; e, os ensaios de biodegradabilidade anaeróbia. Inicialmente, aplicou-se questionário socioambiental, abordando-se um total de 175 residências, com um público que possuiu, em sua maioria, características socioeconômicas favoráveis ao desenvolvimento deste projeto. O RSD amostrado apresentou uma geração *per capita* média elevada (0,93 Kg/hab.dia), baixo peso específico aparente (156 Kg/m³, em média) e percentual de matéria orgânica elevada (média de 55,9%). Quanto à participação no programa de coleta seletiva, registrou-se uma participação em potencial de 61% das residências e com 33% doando efetivamente a FORSD limpa. A FORSD apresentou características ligeiramente ácidas, constituída de 74% de umidade e 26% de ST, sendo basicamente composta por matéria orgânica putrescível (STV = 92,15% dos ST, em média) e rica em nutrientes (média de PT = 0,68% e de NTK = 1,43%). Nos ensaios de biodegradabilidade, para análise da influência das condições operacionais, foram encontrados melhores resultados de AME, produção e composição de biogás e remoção de DQO nos frascos incubados a uma rotação de 150 rpm e com adição de 1g/L de alcalinizante. O tipo de pré-tratamento que proporcionou maior biodegradabilidade da FORSD foi o térmico submetido a 30 minutos no processo de autoclavagem, em que foram registrados as maiores remoções de STV (41% removido), DQO (56% removida) e valor de AME (1,0777 gDQO-CH₄/gSTV.d). Ressalta-se também que nos ensaios de biodegradabilidade cerca de 60% ou mais da composição do biogás era gás metano. Observou-se que as ações de EA proporcionaram uma participação representativa da população na segregação da FORSD.

Palavras-chave: resíduos sólidos domiciliares; educação ambiental; fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares; bairro Pici; biodigestão anaeróbia.

ABSTRACT

The National Solid Waste Policy recommends that, in adequate final disposal, only unserviceable waste should be released, which it is not the case of organic waste that accounts more than half of the municipal solid waste generation in the country. In this context, this research aimed to develop a proposal for a selective collection of the organic fraction of household solid waste (OFHSW) in Pici neighborhood, Fortaleza-CE, aiming its use for the generation of biogas from the anaerobic digestion. This research occurred in 05 (five) steps, namely: the development of the environmental education (EE) program; physical characterization of household solid waste (HSW); the implementation of a selective collection program of OFHSW; the physical and chemical characterization of OFHSW; and the anaerobic biodegradability tests. Initially, a socio-environmental questionnaire was applied to a total of 175 residences, in which most of its residents presented favorable socioeconomic characteristics for the development of this project. The HSW sampled showed a high average of per capita generation (0.93 Kg/hab.dia), low apparent specific weight (average of 156 Kg/m³) and high percentage of organic matter (average of 55.9%). In regard to the participation in the selective collection program, there was a potential participation of 61% of the residences, from which 33% effectively donated a clean OFHSW. The OFHSW showed slightly acidic characteristics, consisting of 74% moisture and 26% of TS, being basically composed of putrescible organic matter (VS = 92.15% TS on average) and rich in nutrients (average of TP= 0.68% and TKN = 1.43%). In biodegradability tests to analyze the effect of operating conditions, better results were found of SMA, biogas production and composition and COD removal in the flasks incubated at a speed of 150 rpm and with addition of 1 g/L of alkalizing. The pretreatment type that provided a higher biodegradability of OFHSW was the thermal one, in which the matter was exposed to a 30 minutes process of autoclaving, where were identified the largest removals of VS (41% removed), COD (56% removed) and value of SMA (1.0777 gCOD-CH₄/gVS.d). It is also emphasized that in all the biodegradability tests, about 60% or more of the biogas composition was methane. It was observed that EE actions were able to provide a representative participation of the population in the OFHSW segregation.

Keywords: household solid waste; environmental education; organic fraction of household solid waste; Pici neighborhood; anaerobic digestion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares depositados no Aterro Sanitário de Caucaia/CE, 2009.....	31
Figura 2 - Hierarquia de prioridades definidas pela PNRS na Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.	39
Figura 3 - Modelo de fluxo de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos.....	42
Figura 4 - Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva (%).	47
Figura 5 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (com redução de sulfato).....	54
Figura 6 - Localização do bairro Pici, Fortaleza-CE.	62
Figura 7 - Distribuição espacial das residências contempladas nesta pesquisa.....	65
Figura 8 - Veículo e coletores utilizados na coleta dos RSD.	67
Figura 9 - Fluxograma da metodologia empregada no quarteamento.	69
Figura 10 - Etapas da metodologia de análise da composição gravimétrica dos resíduos coletados no Bairro PICI/Fortaleza-CE.....	70
Figura 11 - Fluxo metodológico para determinação do peso específico aparente (Kg/m^3).....	71
Figura 12 - Catação de resíduos não biodegradáveis.	72
Figura 13 – Imagens dos procedimentos do quarteamento dos RSOrg.....	73
Figura 14 - Liquidificador industrial utilizado na trituração.	73
Figura 15 - FORSD após trituração.....	73
Figura 16 – Composição do meio de reação e frasco de 250 mL utilizado nos testes de biodegradabilidade.....	76
Figura 17 - (a) Indicador universal microprocessado e (b) transmissor universal de pressão utilizados na medição do biogás gerado nos frascos de reação.....	78
Figura 18 - Frascos incubados a 35°C , sob agitação de 150 rpm.	80
Figura 19 - Porcentagem da quantidade de habitantes por residência.....	84
Figura 20 - Porcentagem do nível de escolaridade dos entrevistados.	85
Figura 21 - Porcentagem da renda familiar das residências abordadas no programa.....	86
Figura 22 - Disposição inadequada dos RSU (queima e descarte em logradouros) evidenciada nos meses de outubro e novembro de 2013 no bairro Pici (áreas situadas dentro da área de abrangência da pesquisa).....	89

Figura 23 – Porcentagem das ações praticadas para auxiliar na preservação do meio ambiente. .	90
Figura 24 - Porcentagem da quantidade de residências que fazem ou não separação dos resíduos na origem.	90
Figura 25 - Porcentagem do destino dados aos resíduos segregados.	90
Figura 26 - Composição gravimétrica média dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE, no período de abr-jun/2013.	94
Figura 27 - Disposição inadequada de resíduos sólidos perigosos.	96
Figura 28 - Linha de tendência da evolução das residências que participaram, doaram e desistiram do programa de coleta seletiva da FORSD.	99
Figura 29 - Massa coletada estimada da FORSD (Kg) por campanha.	101
Figura 30 - Gráfico de Tukey para STV.	105
Figura 31 - Gráfico de Tukey para COT.	105
Figura 32 - Gráfico de Tukey para pH.	108
Figura 33 - Gráfico de Tukey para TU.	108
Figura 34 - Gráfico de Tukey para ST.	108
Figura 35 - Gráfico de Tukey para STF.	108
Figura 36 - Gráfico de Tukey para PT.	108
Figura 37 - Gráfico de Tukey para NTK.	108
Figura 38 - Gráfico de Tukey para relação DQO.	109
Figura 39 - Gráfico de Tukey para relação C/N.	109
Figura 40 - Análise de Componente Principal dos atributos físico-químicos: diagrama de ordenação das amostras (<i>scores</i>) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (<i>loadings</i>) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.	110
Figura 41 - Atividade metanogênica específica dos ensaios sem agitação e com agitação.	115
Figura 42 - Atividade metanogênica específica dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.	117
Figura 43 - Gráfico do teste de Tukey para remoção de DQO (%) dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.	120
Figura 44 - Gráfico do teste de Tukey para o volume acumulado de CH ₄ dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.	120

Figura 45 - Atividade metanogênica específica dos ensaios com diferentes pré-tratamentos e tempos de exposição.....	125
Figura 46- Gráfico do teste de Tukey para o volume acumulado de CH ₄ (%).	128
Figura 47 - Gráfico do teste de Tukey para remoção de DQO.....	128

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Conceito e importância das características dos resíduos sólidos.	29
Quadro 2 - Logradouros do bairro Pici abrangidos nesta pesquisa.	64
Quadro 3 - Metodologia analítica da caracterização física e química da FORSD.	74
Quadro 4 – Definição das condições ambientais/operacionais ótimas e dos tipos de pré-tratamentos empregados.	77
Quadro 5 - Condições de análise do biogás no GC-TCD.	78
Quadro 6 - Metodologia analítica empregada na caracterização física e química do lodo e do meio de reação.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Histórico do crescimento e migração da população no Brasil.	25
Tabela 2 - Massa diária e número de unidades de processamento por municípios dos RSU coletados.	27
Tabela 3 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.	31
Tabela 4 - Municípios com iniciativas de coleta seletiva.	48
Tabela 5 - Equivalência entre o biogás e alguns combustíveis.	52
Tabela 6 - Dados gerais da coleta de RSD no bairro Pici.	68
Tabela 7 - Caracterização física e química do lodo UASB de cervejaria e os resultados de AME dos lodos pesquisados por Lima (2015).	76
Tabela 8 - Resultados das condições socioeconômicas da população do bairro Pici amostrada nesta pesquisa.	83
Tabela 9 - Critério de classificação social da população de acordo com o IBGE para o ano de 2013.	86
Tabela 10- Resultados das condições socioeconômicas da população do bairro Pici amostrada nesta pesquisa.	87
Tabela 11 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos do bairro Pici, Fortaleza-CE (levantamento realizado em 2008).	88
Tabela 12 - Produção per capita dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE (2013).	92
Tabela 13 - Peso específico aparente dos RSD do bairro Pici, Fortaleza-CE.	93
Tabela 14 - Resultados da composição gravimétrica dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE, no período de abr-jun/2013.	94
Tabela 15 - Acompanhamento das residências que participaram, doaram e desistiram do programa de coleta diferenciada da FORSD.	97
Tabela 16 - Caracterização física e química da fração orgânica dos RSD do bairro Pici.	102
Tabela 17 - Resultado da análise de variância (Anova) dos parâmetros físicos e químicos da FORSD.	104
Tabela 18 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de STV e COT entre os períodos de amostragens.	105

Tabela 19 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N entre os períodos de amostragens.	106
Tabela 19 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N entre os períodos de amostragens (Conclusão).....	106
Tabela 20 - Caracterização física e química do meio de reação para o teste de biodegradabilidade para se conhecer as condições ótimas operacionais.	112
Tabela 21 - Influência da agitação na remoção de DQO.....	113
Tabela 22 - valores de pH, AT. e AGV encontrados em início e fim do ensaio de biodegradabilidade para avaliar a influência da agitação.....	114
Tabela 23 – Resultados da composição do biogás e da produção acumulada de metano (mL) para analisar a influência da agitação nos ensaios de biodegradabilidade da FORSD.	115
Tabela 24 - Influência da dosagem de alcalinidade aplicada na remoção de DQO do ensaio de biodegradabilidade.....	116
Tabela 25 – valores de pH, AT. e AGV encontrados em início e fim do ensaio de biodegradabilidade para avaliar a influência das distintas dosagens de alcalinidade aplicadas..	117
Tabela 26 – Resultados da composição do biogás dos ensaios de biodegradabilidade para avaliar a influência das diferentes dosagens de alcalinidade aplicadas.....	118
Tabela 27 - Valores do teste de normalidade de Shapiro-Wilk dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.	118
Tabela 28 – Análise estatística de variância (Anova) dos resultados dos ensaios de biodegradabilidade com diferentes condições de alcalinidade.....	119
Tabela 29 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.	119
Tabela 30 - Caracterização física e química de cada meio de reação utilizado no teste de biodegradabilidade para se conhecer a influência do pré-tratamento e do tempo de exposição na biodegradabilidade da FORSD.....	121
Tabela 31 – STV e DQO do meio de reação no início e final de operação dos ensaios de pré-tratamentos.	122
Tabela 32 - pH, ALcT. e AGV de início e fim de ensaio de pré-tratamento.....	123

Tabela 33 – Resultados da composição do biogás obtidos nos ensaios de biodegradabilidade para analisar a influência do pré-tratamento físico e dos diferentes tempos de exposição empregados à FORSD.	126
Tabela 34 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para os ensaios de pré-tratamento.	126
Tabela 35 - Análise estatística de variância (ANOVA) dos resultados dos ensaios de biodegradabilidade com diferentes pré-tratamentos e tempo de exposição da FORSD.	127
Tabela 36 - Resultados de Tukey para comparação das médias dos ensaios de pré-tratamento.	127

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACFOR	Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Básico
AGV	Ácidos graxos voláteis
A/M	Relação Alimento/Microrganismo
Al	Alumínio
AME	Atividade metanogênica específica
Asmoc	Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia
Anova	Análise de variância
AT	Alcalinidade total
Bo	Borracha
C/N	Relação Carbono/Nitrogênio
CH ₄	Gás Metano
CNMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Humano
CO ₂	Gás carbônico
Co	Couro
DQO	Demanda química de oxigênio
Emlurb	Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização
FORSO	Fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares
FORSU	Fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos
Hác	Ácido acético
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de desenvolvimento humano
Ma	Madeira
Me	Metal
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria orgânica
n	Número de respostas
NaHCO ₃	Bicarbonato de sódio
NTK	Nitrogênio total <i>Kjeldahl</i>
ONU	Organização das Nações Unidas

PCA	<i>Principal component analysis</i> ou Análise de componentes principais
PEV	Posto de entrega voluntária
PET	Politereftalato de etileno
pH	Potencial hidrogeniônico
PNSB	Política Nacional de Saneamento Básico
PNMA	Política Nacional do Meio Ambiente
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PM	Plástico maleável
PMF	Prefeitura Municipal de Fortaleza
PP	Papel/Papelão
PR	Plástico rígido
Pt	Panos/Trapos
PT	Fósforo total
RIn	Resíduos inservíveis
RSD	Resíduos sólidos domiciliares
RSOrg	Resíduos sólidos orgânicos
RSU	Resíduos sólidos urbanos
SER	Secretaria Executiva Regional
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
TU	Teor de umidade
UFC	Universidade Federal do Ceará
Vi	Vidro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 OBJETIVOS.....	21
2.1 Geral.....	21
2.2 Específicos.....	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
3.1 A ação antrópica e a problemática dos resíduos sólidos.....	22
3.2 Resíduos sólidos: conceito e geração.....	25
3.3 Características dos resíduos sólidos.....	28
3.4 Desafios da gestão integrada dos resíduos sólidos no Brasil.....	32
3.4.2 Marco institucional.....	33
3.4.2 Marco regulatório.....	35
3.4.3 Gestão e gerenciamento integrado dos RSU.....	41
3.5 Importância da educação ambiental.....	43
3.6 Aspectos gerais da coleta seletiva de resíduos sólidos no Brasil.....	45
3.7 Tecnologias de tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos.....	50
3.7.1 Compostagem.....	50
3.7.2 Biodigestão anaeróbia.....	51
3.7.2.1 Requisitos ambientais da digestão anaeróbia.....	53
3.7.2.1.1 Temperatura.....	55
3.7.2.1.2 pH/alcalinidade/ácidos graxos voláteis.....	56
3.7.2.1.3 Nutrientes.....	57
3.7.2.1.4 Elementos tóxicos.....	58
3.8 Biodegradabilidade anaeróbia de resíduos.....	58
4 METODOLOGIA.....	61
4.1 Área de estudo.....	61
4.2 Desenvolvimento do programa de educação ambiental.....	62
4.3 Caracterização física dos RSD do Pici.....	66
4.3.1 Amostragem e coleta.....	66
4.3.2 Metodologia da caracterização física.....	68
4.4 Implantação do programa de coleta seletiva da FORSD.....	71

4.5 Caracterização física e química da FORSD	72
4.6 Teste de biodegradabilidade anaeróbia.....	75
4.7 Tratamento estatístico dos dados	81
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	83
5.1 Análise das características socioambientais da população do bairro Pici	83
5.2 Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares.....	92
5.3 Programa de coleta segregada da FORSD.....	97
5.4 Caracterização física e química da FORSD	102
5.5 Teste de biodegradabilidade anaeróbia.....	111
5.5.1 Condições ótimas.....	112
5.5.1.1 Sem agitação x Agitação	113
5.5.1.2 Alcalinidade.....	116
5.5.2 Pré-tratamento	121
6 CONCLUSÃO.....	129
7 RECOMENDAÇÕES.....	131
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	132
APÊNDICE	149
APÊNDICE A – Parte I: versão final do questionário socioambiental aplicado com a população do bairro Pici – Fortaleza-CE.	149
APÊNDICE	150
APÊNDICE B – Parte II: versão final do questionário socioambiental aplicado com a população do bairro Pici – Fortaleza-CE.....	150
ANEXO	151
ANEXO A – IDH dos bairros de Fortaleza – 2010.....	151

1 INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional e econômico, atrelado ao avanço dos processos de urbanização e tecnológicos, provocou, nos últimos anos, alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo da sociedade, instigando assim ao hábito do consumo insustentável, inclusive, com a comercialização de novos produtos compostos por elementos sintéticos e perigosos (GOUVEIA, 2012).

A consequência desse fenômeno se reflete diretamente no aumento da geração e complexidade dos resíduos sólidos urbanos (RSU), o que pode causar sérios problemas sanitários, sobretudo, aos países em desenvolvimento (DIAS *et al.*, 2012).

Nesse contexto, a gestão e o gerenciamento integrado dos RSU se destacam como os principais desafios ambientais da sociedade moderna frente à produção excessiva nas grandes cidades, que muitas vezes dispõem de serviços e de uma infraestrutura de manejo de resíduos inadequados (AZEVEDO, 2004; DEUS; LUCA; CLARKE, 2004). Vale lembrar que a preocupação mundial com a gestão dos resíduos sólidos ganhou ênfase após a publicação da Agenda 21, considerada o marco institucional na criação de ferramentas voltadas ao manejo dos resíduos sólidos.

A problemática dos resíduos sólidos se dá principalmente pela necessidade da destinação adequada que assegure a minimização dos riscos ambientais e sanitários, realidade está não pertencente ao nível tecnológico, financeiro e operacional de muitos municípios brasileiros (FAGUNDES, 2009). Ressalta-se que a disposição final ambientalmente inadequada dos resíduos sólidos acarreta sérios impactos negativos à saúde pública e ao meio ambiente (MARQUES, 2011; SILVA; LIPORONE, 2011; PEREIRA *et al.*, 2013).

Em termos de produção, no Brasil são coletadas diariamente 259.000 toneladas de RSU (IBGE, 2010a). Apesar de se ter um índice de cobertura de 90,4% dos serviços de coleta de RSU (ABRELPE, 2013), a disposição final no Brasil não ocorre eficientemente. De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, elaborada pelo IBGE, das 6.670 unidades de processamento, cerca de 61% dispõem seus resíduos de forma imprópria em lixões e/ou aterros controlados, totalizando 86.405 ton/dia aterradas de forma insegura ambientalmente.

Vale lembrar que grande parte dos materiais aterrados não são reaproveitados, como no caso dos resíduos orgânicos e recicláveis, apontando assim a má gestão e o gerenciamento, já

que a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei de Nº 12.305/2010, preconiza que os sistemas de manejo de resíduos sólidos devem assegurar a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Uma primeira medida a se pensar dentro dessa hierarquia de prioridades da PNRS é a sensibilização da população, tornando-se fundamental, o desenvolvimento de atividades de educação ambiental (EA) com viés para a gestão dos resíduos sólidos, sendo trabalhada, principalmente, a conscientização para a implantação dos sistemas de segregação, coleta e reciclagem dos RSU (ZANETTI; SÁ, 2002; CRISOSTIMO, 2011).

Para o correto destino dos RSU, torna-se imprescindível a estruturação de um sistema de coleta seletiva para recolher materiais que possuem valor econômico quando submetidos ao reaproveitamento ou reciclagem. No Brasil, muitas são as iniciativas da coleta seletiva, porém esses números são favoráveis aos materiais recicláveis. Embora a prestação do serviço de coleta seletiva das cidades ainda seja insuficiente, havendo alguns programas funcionando efetivamente, mas na sua maioria, estes se traduzem em iniciativas com baixa abrangência e pontuais, não funcionando satisfatoriamente.

É preciso também disponibilizar, além da coleta seletiva de recicláveis secos, a coleta segregada de resíduos orgânicos. Uma vez que estes representam quase ou mais da metade dos RSU gerados e sua coleta em esfera nacional ainda é bastante incipiente (POLAZ; TEIXEIRA, 2009).

Ressalta-se ainda que os catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, que se constitui do principal responsável pela reciclagem dos resíduos sólidos, estejam integrados nas ações para a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, conforme previsto na PNRS.

Buscando minimizar os impactos ambientais pela destinação inadequada da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos (FORSU) no meio ambiente e obter benefícios com o seu tratamento, alguns estudos vêm sendo aplicados com vistas à reciclagem com valorização da fração orgânica através da conversão em compostos orgânicos para fins agrícolas ou pela produção de biogás com recuperação energética e/ou aproveitamento como gás natural a partir da sua queima e/ou movimentação de turbinas (VANDEVIVERE, DE BAERE; VERSTRAETE, 2002; CARNEIRO; SOUTO; POVINELLI, 2005).

Atualmente, a biodigestão anaeróbia assinala como uma solução promissora no tratamento da FORSU, tendo como principal vantagem a produção de biogás, principalmente, do gás metano que possui um elevado poder calorífico. Apesar das vantagens ambientais, sociais, econômicas e tecnológicas significativas da biodigestão anaeróbia dos RSU, as experiências no Brasil ainda são poucas (LEITE *et al.*, 2009).

Diante deste cenário, este trabalho tem como principal objetivo desenvolver uma proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares (FORSD) junto à comunidade do bairro Pici, Fortaleza-CE, para a obtenção de um resíduo limpo, com ênfase no reaproveitamento dos resíduos orgânicos via biodigestão anaeróbia para produção de biogás.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Desenvolver uma proposta de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares junto à comunidade do bairro Pici, Fortaleza - CE, com ênfase no reaproveitamento dos resíduos orgânicos para produção de biogás via biodigestão anaeróbia.

2.2 Específicos

- Avaliar as características socioambientais da população do bairro Pici amostrada nesta pesquisa;
- Realizar a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares das residências amostradas por intermédio da determinação da geração *per capita*, peso específico aparente e composição gravimétrica;
- Implantar um sistema de coleta seletiva dos resíduos sólidos domiciliares orgânicos e acompanhar a evolução desse programa através do monitoramento da participação dos residentes e de sua contribuição com a segregação na origem e doação dos resíduos já limpos para este projeto;
- Realizar a caracterização física e química FORSD com a finalidade de se avaliar o potencial de conversão da matéria orgânica em biogás por meio dos ensaios de biodegradabilidade;
- Analisar a influência da variação das condições operacionais ótimas, em função da agitação e da dosagem de alcalinidade, por meio de ensaios de biodegradabilidade com o objetivo de se potencializar a produção de biogás;
- Analisar a influência dos tipos de pré-tratamento aplicados (térmico e ultrassônico) nos resíduos orgânicos por meio de ensaios de biodegradabilidade para potencializar a produção de biogás.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A ação antrópica e a problemática dos resíduos sólidos

A expansão da população mundial nas últimas décadas ocorreu de forma rápida e contínua. Em 1950, era estimado que houvesse 2,6 bilhões de pessoas na Terra, já em 2010 o número de habitantes quase triplicou, atingindo uma marca de aproximadamente 7 bilhões (ONU, 2014a).

Esse excessivo crescimento populacional, seguido da intensidade da industrialização, demanda o aumento na produção de bens e materiais, que por sua vez, são responsáveis pela exploração descomunal de recursos naturais e pela geração de grandes quantidades de resíduos sólidos (LIMA, 2004).

Segundo Gouveia (2012) a sociedade contemporânea tem evidenciado um acelerado crescimento populacional e econômico, que associado ao avanço dos processos de urbanização e, também, ao surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias, promoveram alterações no estilo de vida e nos modos de produção e consumo, estimulando assim o consumismo desenfreado.

Vale salientar que esta sociedade, que enfatiza o consumo, não tem uma formação recente. Para Godecke, Naime e Figueiredo (2012) “as origens da sociedade focada no consumo, em contraposição as tradicionais, remontam a movimentos comerciais ocorridos na Europa a partir do século XV que estimularam a revolução industrial”.

Porém, a partir do final do século XX por meio de um novo processo caracterizado pela integração econômica, social e cultural, fenômeno este chamado de globalização, foi que as transformações nos diversos setores da sociedade aconteceram de maneira mais intensa e acelerada, sendo evidenciados inúmeros impactos positivos e negativos a população mundial (SOUSA, 2011).

Os efeitos positivos da globalização incluem a comercialização internacional de bens, produtos e serviços; a integração e a oportunidade de crescimento econômico, político e cultural das nações; a universalização dos meios de comunicação; o desenvolvimento científico e tecnológico, entre outros (BUSS, 2007; SOUSA, 2011).

Em contrapartida, as desvantagens desse sistema se traduzem em sérios problemas econômicos, sociais, ambientais e sanitários (BUSS, 2007), em especial, o desequilíbrio social e econômico; o avanço do crime organizado; o aumento das desigualdades dos níveis de saúde; a exploração irracional e o esgotamento dos recursos naturais; a poluição do ar, do solo e da água; entre outros (BERLINGUER, 1999; BUSS, 2007; SOUSA, 2011). Ainda segundo estes autores, as regiões mais afetadas negativamente são os países em desenvolvimento, já que estes se encontram dependentes das regras econômicas e das determinações políticas impostas pelos países desenvolvidos.

Constata-se ainda que o maior contingente populacional está localizado nos países emergentes, sobretudo, nas áreas urbanas. Nessas regiões o crescimento demográfico se deu de forma desordenada, onde as cidades se expandiram baseado em modelos de planejamento urbano falhos. A consequência deste fenômeno se reflete diretamente no desenvolvimento tardio e precário dos demais serviços de infraestrutura básica como saúde, moradia, educação, transporte e, principalmente, saneamento (MOTA, 2010).

Dos problemas ambientais existentes, a geração excessiva dos resíduos sólidos urbanos tem despertado bastante preocupação na atualidade (BRUSA; LUCA; CLARKE, 2004). Para Andrade e Ferreira (2011), a globalização contribui diretamente para o agravamento dessa situação, de modo que este processo está intimamente relacionado à gestão dos resíduos sólidos, isso devido ao forte incentivo para que as pessoas pratiquem o consumo insustentável baseado no modelo de padrão de consumo e estilo de vida divulgado intencionalmente através da mídia, buscando dessa forma alienar o consumidor de que a felicidade plena pode ser alcançada através dessa mudança de hábito.

Outros aspectos relevantes que influenciam na geração dos resíduos são: a obsolescência programada, a baixa durabilidade e qualidade dos produtos fabricados, que, cada vez mais, possuem uma vida útil reduzida e assim instigam o consumidor a adquirir em um curto espaço de tempo uma nova geração ou um novo produto (JACOBI; BESEN, 2011).

Além do aumento em quantidade dos resíduos sólidos urbanos, os produtos inseridos no mercado, hoje em dia, detêm em sua composição novos materiais sintéticos, de baixa biodegradabilidade e perigosos à saúde humana e ao meio ambiente, logo, ocasionando sérios problemas ambientais e sanitários, principalmente, nos países em desenvolvimento (DIAS *et al.*, 2012).

O manejo inadequado dos resíduos sólidos gera impactos indesejáveis à saúde pública e ao meio ambiente (SÃO PAULO, 2010). Quando dispostos inadequadamente podem acarretar a proliferação de doenças, isso por servir de alimento e abrigo para vetores como roedores, insetos, vermes, cães; a contaminação do solo, da água e do ar; o assoreamento dos corpos d'água; enchentes; poluição visual; e, emissão de fortes odores, gerados pela degradação da matéria orgânica, entre outros (MUCELIN; BELLINI, 2010).

Pode-se fazer referência ainda que questões como a falta de conscientização da população, a inexistência de programas de coleta seletiva e de reaproveitamento de materiais recicláveis e o descaso da gestão pública, dificultam o desenvolvimento de um modelo apropriado de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (ANDRADE; FERREIRA, 2011).

Diante do cenário exposto, percebe-se que o Brasil é um exemplo típico da problemática em questão (BRASIL, 2011). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, conforme apontado na Tabela 1, no final do século XIX a população brasileira era estimada em cerca de 14 milhões de habitantes. Já em 1950 foi alcançado um patamar de aproximadamente 52 milhões, com a maior parte da população residindo nas áreas rurais (63,84%). A partir de 1970, a taxa de ocupação das áreas urbanas foi superior a das zonas rurais, atingido 56% do contingente populacional. E em 2010, o IBGE registrou que há 190.755.799 residentes neste país, com a maioria da população ocupando as zonas urbanas (representada por 84,36% do total de habitantes).

Tabela 1 - Histórico do crescimento e migração da população no Brasil.

POPULAÇÃO DO BRASIL						
Períodos	Total	Taxa de crescimento	Urbana	%	Rural	%
1872	9.930.478	-	-	-	-	-
1890	14.333.915	1,44	-	-	-	-
1900	17.438.434	1,22	-	-	-	-
1920	30.635.605	1,76	-	-	-	-
1940	41.236.315	1,35	-	-	-	-
1950	51.944.397	1,26	18.782.891	36,16	33.161.506	63,84
1960	70.992.343	1,37	32.004.817	45,08	38.987.526	54,92
1970	94.508.583	1,33	52.904.744	55,98	41.603.839	44,02
1980	121.150.573	1,28	82.013.375	67,70	39.137.198	32,30
1991	146.917.459	1,21	110.875.826	75,47	36.041.633	24,53
1996	157.070.163	1,07	123.076.831	78,36	33.993.332	21,64
2000	169.799.170	1,08	-	-	-	-
2007	183.987.291	1,08	137.953.959	81,25	31.845.211	18,75
2010	190.755.799	1,04	160.925.804	84,36	29.829.995	15,64

Fonte: IBGE, Directoria Geral de Estatística, [187?]/1930, Recenseamento do Brasil 1872/1920; IBGE, Censo demográfico 1940/2010. Até 1991, dados extraídos de: Estatísticas do Século XX. Rio de Janeiro: IBGE, 2007 no Anuário Estatístico do Brasil 1994. Rio de Janeiro: IBGE, vol. 54, 1994 (Modificado).

Notas: 1 - Para 1872 até 1950: População presente; 2 - Para 1960 até 1980: População recenseada; 3 - Para 1991 até 2010: População residente; 4 - Para 1950 até 1960: Os dados referentes ao nível Brasil incluem a população da região da Serra dos Aimorés, área de litígio entre Minas Gerais e Espírito Santo.

3.2 Resíduos sólidos: conceito e geração

Primeiramente, é importante mencionar a diferença conceitual entre rejeito e resíduos sólidos. O termo rejeito pode ser traduzido como os restos de materiais ou substâncias descartados após utilização humana que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e de reaproveitamento por algum mecanismo tecnológico existente, “não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2011).

Contudo, o termo resíduos sólidos é definido pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei 12.305/2010, como:

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

Portanto, entende-se por resíduos sólidos: os subprodutos provenientes das atividades humanas que possuem qualquer processo tecnológico de aproveitamento viável economicamente,

permitindo assim sua utilização como insumos na cadeia produtiva de origem, na fabricação de novos produtos ou, até mesmo, na produção de energia (PHILIPPI JR., 2005).

Os resíduos sólidos podem ser classificados de acordo com sua periculosidade e origem. Em relação à periculosidade se classificam em resíduos perigosos e não perigosos. E quanto à origem, têm-se os resíduos sólidos urbanos, comerciais, industriais, serviços de saúde, construção civil, agrossilvopastoris, mineração, entre outros (BRASIL, 2010).

Para Lima (2004), os resíduos sólidos podem ser classificados ainda quanto à natureza e ao estado, distribuindo-se em sólido, líquido, gasoso e pastoso.

Diante disso, destacam-se os RSU que exercem uma contribuição significativa na geração de resíduos sólidos no país, sendo constituídos de materiais resultantes das atividades domésticas em residências urbanas; de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços; e de serviços de limpeza urbana (tais como varrição; limpeza de feiras, praias, logradouros públicos; capina; raspagem, etc.) (CEARÁ, 2001; BRASIL, 2010). Ressalta-se que o resíduo sólido domiciliar (RSD) é, geralmente, composto por restos de alimentos, embalagens, trapos, papel/papelão, vidros, entre outros (LIMA, 2004).

De acordo com o Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, elaborado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe), foram produzidos em 2013 um pouco mais de 76 milhões de toneladas de RSU, com uma produção *per capita* equivalente a 1,041 Kg/hab.dia. Desse contingente, 90,41% são coletados, e, aproximadamente, 7,3 milhões de toneladas deixaram de ser coletados.

É importante também enfatizar que muitos municípios brasileiros não dispõem de recursos financeiros, técnicos e de infraestrutura necessária para assegurar o destino apropriado dos resíduos sólidos urbanos. E mesmo as cidades que utilizam soluções sanitárias seguras, estas consistem, basicamente, na disposição final dos resíduos em aterros sanitários (SMA, 1998 *apud* PHILIPPI JR., 2005).

Tal condição pode ser corroborada através da Tabela 2, onde se observa em todos os cenários pesquisados que a maioria dos municípios brasileiros destina os resíduos recolhidos em unidades por disposição no solo. Registrando-se, através do IBGE, da ABRELPE ou do SNIS, que devem existir ainda 5604, 5570 ou 2234 unidades, respectivamente, que distribuem os RSU em lixões, aterros controlados e/ou sanitários. Atenta-se que os dados do IBGE são relativos à Pesquisa de Saneamento Básico em 2008, podendo assim haver alterações no quantitativo dessas

unidades para os anos de 2012 e 2013; e as informações obtidas pelo Sistema Nacional de Saneamento Básico em 2012 foram apenas de 3043 municípios, e, nesse caso, é perceptível a ausência de dados, visto que o número de municípios participantes contemplou 54,7% do total de cidades brasileiras.

Apesar da maior quantidade (em massa) dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos serem dispostos em aterros sanitários (com percentual acima de 50%), constata-se que há no mínimo 53% (SNIS, 2012) das unidades de processamento que se caracterizam como formas inadequadas de disposição, já que descartam seus resíduos em lixões (970 unidades) e aterros controlados (582 unidades). Vale lembrar que esse índice atinge o patamar de 61% (somando 4.064 lixões e aterros controlados) quando se utiliza como referência a pesquisa do IBGE. Deve-se considerar que a diferença entre os resultados encontrados por essas instituições se dá em caráter dos diferentes procedimentos metodológicos adotados na amostragem e na pesquisa analítica do levantamento de dados.

Tabela 2 - Massa diária e número de unidades de processamento por municípios dos RSU coletados.

Unidades de destino final por disposição no solo	Resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos											
	RSU coletados e/ou recebidos						Quantidade de unidades*					
	IBGE (2008)		ABRELPE (2013)		SNIS** (2012)		IBGE (2008)		ABRELPE (2013)		SNIS** (2012)	
	T/dia	%	T/dia	%	T/dia	%	Unid	%	Unid	%	Unid	%
Vazadouro a céu aberto (lixão)	45710	18	32.946	17	14.391	9	2810	42	1.569	28	970	33
Aterro controlado	40695	16	46.041	24	22.239	14	1254	19	1.775	32	582	20
Aterro sanitário	167636	65	110.232	58	82.416	52	1540	23	2.226	40	682	23
Total***	259.547	-	189.219	-	158.724	-	6.670	-	5.570	-	2.978	-

Fonte: IBGE, 2010a; ABRELPE, 2013; SNIS, 2012 (Modificado).

* O município pode apresentar mais de um tipo de unidade de disposição dos resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos e mais de uma unidade de disposição do mesmo tipo, caso haja destinação também para outro município;

** Classificação segundo informação dos municípios que participaram do Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Para estimativa da geração de RSU coletados foi apurado informações de 2944 municípios, correspondente a uma população de 131,4 milhões de habitantes urbanos, contingente que significa 80,3% de toda a população urbana do País;

*** Referente à massa total em T/dia e ao total de unidades de processamento dos RSU coletados (incluindo não só as formas por disposição no solo).

A despesa média anual *per capita* no manejo dos RSU, aplicada por cada município, resulta conforme o SNIS (2012) ou a Abrelpe (2013) em um valor situado entre R\$99,46 ou R\$ 114,84, respectivamente.

3.3 Características dos resíduos sólidos

A caracterização dos resíduos sólidos é uma ferramenta de extrema importância na gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos, pois através do conhecimento desses parâmetros é possível dimensionar a capacidade e os tipos de equipamentos e unidades que irão integrar o sistema de limpeza pública municipal. Proporcionando a partir dessa análise a escolha do sistema mais eficiente na coleta, tratamento e disposição final destes (BARROS, 2012).

As características dos resíduos sólidos sofrem variação em função dos aspectos sociais, econômicos, culturais, geográficos e climáticos, ou seja, estão intimamente relacionadas às singularidades setoriais de cada região (MOTA, 2010).

Os resíduos podem ser caracterizados sob os seguintes aspectos (IBAM, 2001):

- a) Físicos: pela análise das variáveis como geração *per capita*, composição gravimétrica, peso específico aparente, teor de umidade e compressibilidade. Para Cruz (2005), estas características possibilitam identificar a quantidade de materiais resultantes da transformação e utilização de bens de consumo, sendo comumente analisadas por intermédio da composição gravimétrica, do peso específico aparente e da geração *per capita*;
- b) químicos: por meio do poder calorífico, do potencial hidrogeniônico (pH), da composição química e da relação carbono/nitrogênio (C/N); e
- c) biológicos: pela identificação e quantificação dos microrganismos, sobretudo, os organismos patogênicos.

No Quadro 1 são apresentados a definição e a importância dos parâmetros físicos, químicos e biológicos de caracterização.

Quadro 1 - Conceito e importância das características dos resíduos sólidos.

Característica	Variável	Definição	Importância
Física	Geração <i>per capita</i>	É a razão entre a quantidade de resíduos produzidos diariamente e o total de habitantes de uma determinada localidade; expresso usualmente em Kg/hab.dia	Utilizada no dimensionamento da quantidade de resíduos a serem coletados, dos veículos e das unidades de disposição final
	Composição gravimétrica	Traduz os componentes individuais que constituem a massa de resíduos e a sua distribuição relativa nesse grupo, recorrendo geralmente a valores percentuais (em massa/massa) de cada material	Permite identificar o potencial de reaproveitamento e de comercialização dos resíduos recicláveis e da matéria orgânica. Possibilitando a criação e o desenvolvimento de unidades de processamento como usinas de reciclagem e de compostagem
	Peso específico aparente	Peso dos resíduos em função do volume ocupado em condições normais, sem sofrer qualquer processo de redução (compactação)	Necessário para se dimensionar a frota e os recipientes de coleta
	Teor de umidade	É a massa de água existente na massa de resíduo	Influencia na velocidade da decomposição da matéria orgânica, no poder calorífico, no peso específico aparente do lixo e na produção de chorume. Usado, de forma direta, no dimensionamento do sistema de drenagem do percolado e, de forma indireta, no dimensionamento de incineradores e das usinas de compostagem
	Compressibilidade	É o grau de redução do volume que uma massa de lixo sofre quando submetido a uma pressão determinada	Utilizado no dimensionamento dos equipamentos de coleta, transferência e disposição final
Química	Poder calorífico	Indica a capacidade potencial de um material desprender determinada quantidade de calor quando submetida à queima	Usado no dimensionamento das unidades que se baseiam em processos térmicos como incineração, pirólise e outros
	pH	Representa a atividade do íon H ⁺ , indicando o teor de acidez ou alcalinidade do meio	Aponta o grau de corrosividade dos resíduos coletados, servindo para estabelecer os materiais mais indicados no combate à corrosão dos dispositivos de coleta e armazenamento
	Composição química	Composição química dos resíduos	Utilizado para estabelecer a melhor tecnologia de tratamento
	Relação C/N	Razão entre a quantidade de carbono e nitrogênio	Fundamental na análise da qualidade do composto produzido, monitorado, principalmente, nos processos de compostagem e de digestão anaeróbia dos resíduos
Biológica	Microrganismos	Identificação e quantificação dos microrganismos presentes na massa de resíduos, sobretudo, os organismos patogênicos	Auxilia na fabricação de inibidores de cheiro e de aceleradores ou retardadores da decomposição da matéria orgânica

Fonte: IBAM, 2001; BARROS, 2012.

Lima (2004) enfatiza que as características físicas tornam-se bastante relevantes na análise dos RSU, pois propriedades como volume (utilizado no cálculo do peso específico aparente) - contribui também para o dimensionamento das estações de transbordo e para estimar o tempo de vida útil dos aterros sanitários; a composição dos resíduos - demonstra as potencialidades econômicas das alternativas de reaproveitamento e tratamento; e a produção *per capita* - auxilia no cálculo do total de resíduos gerados, bem como na projeção futura dessa produção que é acompanhada pelo crescimento populacional.

No tocante ao peso específico dos resíduos sólidos urbanos, os valores encontrados situam-se, geralmente, entre 200 e 300 Kg/m³ (MOTA, 2010). Já a geração *per capita* dos RSU varia a partir de 0,5 Kg/hab.dia e podendo alcançar valores superiores a 1,0 Kg/hab.dia, sendo que essa variação se deve ao porte das cidades e pelo poder aquisitivo da população (IBAM, 2001). No cenário nacional a geração *per capita* dos RSU em 2013 foi de 1,041 Kg/hab.dia (ABRELPE, 2013).

O índice de desenvolvimento de uma determinada região influi diretamente na composição gravimétrica, já que quanto menos desenvolvido é o país ou mais baixo o nível social da população, maior é a porção dos resíduos orgânicos e menor a quantidade de recicláveis, ou vice-versa (CEMPRE, 2014).

Na Tabela 3, evidencia-se que 51,4% dos RSU coletados no Brasil em 2008 são compostos de matéria orgânica e 31,9% de material reciclável, representando mais de 83% dos resíduos coletados, que se constituem de materiais passíveis de reaproveitamento (BRASIL, 2011). Enquanto que nos países desenvolvidos tomando-se como exemplo os Estados Unidos e a França a matéria orgânica representa 12% e 23% da massa de resíduos coletada, respectivamente (CEMPRE, 2014).

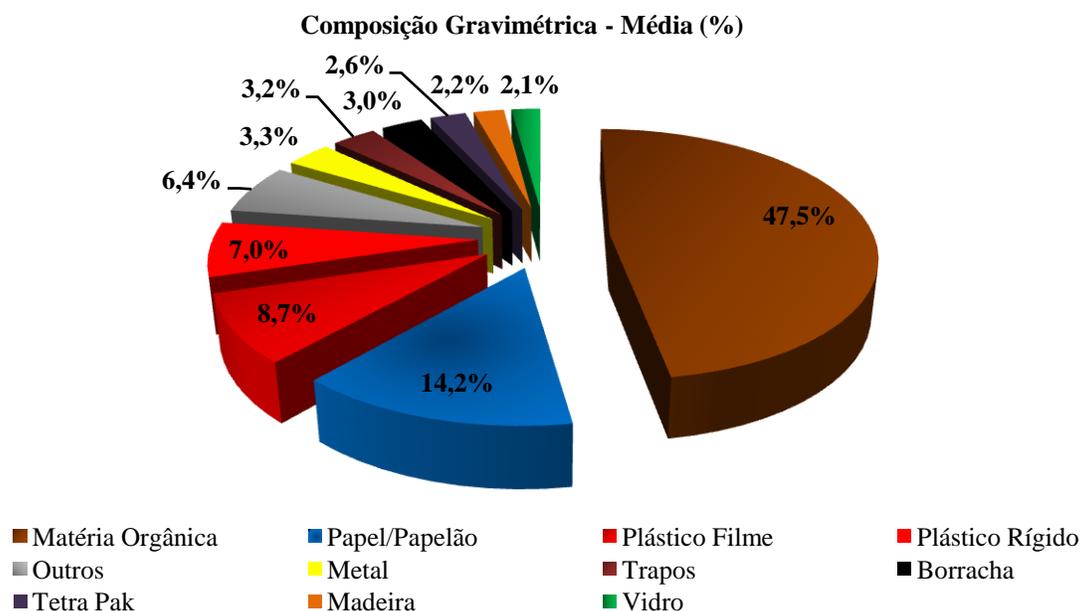
Tabela 3 - Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008.

Resíduos	Participação (%)	Quantidade (T/dia)
Material Reciclável	31,9	58.527,40
Metals	2,9	5.293,50
Aço	2,3	4.213,70
Alumínio	0,6	1.079,90
Papel, papelão, embalagem longa vida	13,1	23.997,40
Plástico total	13,5	24.847,90
Plástico filme	8,9	16.399,60
Plástico rígido	4,6	8.448,30
Vidro	2,4	4.388,60
Matéria orgânica	51,4	94.335,10
Outros	16,7	30.618,90
Total	100	183.481,50

Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos, 2011.

Observação: elaborado a partir de IBGE (2010a) e artigos diversos.

Figura 1 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares depositados no Aterro Sanitário de Caucaia/CE, 2009.



Fonte: OLIVEIRA; MOTA, 2010 (Modificado).

A composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares do município de Fortaleza-CE (Figura 1) apresentou percentuais semelhantes com os apontados no cenário nacional (Tabela 3) para as variáveis como matéria orgânica, papel/papelão e plástico filme, que detiveram, em média, 47,5%, 13,5% e 8,9%, respectivamente, dos resíduos sólidos depositados no aterro sanitário (OLIVEIRA; MOTA, 2010). Vale salientar que grande parte dos resíduos

recicláveis e orgânicos coletados em Fortaleza não é reaproveitada. As diferenças observadas nos dois cenários podem ser justificadas pelo fato de que os dados indicados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (2011) fazem referência aos RSU.

A geração *per capita* dos RSU de Fortaleza-CE foi bem acima da média nacional, com uma produção de 1,474 Kg/hab.dia (ABRELPE, 2011). De acordo com o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Fortaleza, elaborado em 2012, esta produção pode ser corroborado por Fortaleza ser a 5º cidade mais populosa e com maior densidade demográfica do país. Possuindo 2.452.185 habitantes, com uma densidade demográfica de 7.786,52 hab/Km² (IBGE, 2010b).

Em relação ao peso específico aparente dos resíduos, em Fortaleza foi obtido um valor de 183,6 Kg/m³, abaixo da faixa usual que está entre 200 e 300 Kg/m³. Esse resultado pode ser justificado pela maior quantidade de materiais recicláveis (aproximadamente 46%), que passam a ocupar maior volume e em contrapartida do baixo peso (FORTALEZA, 2012).

3.4 Desafios da gestão integrada dos resíduos sólidos no Brasil

A gestão e o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos urbanos tem sido um dos principais desafios ambientais dos municípios brasileiros (FAGUNDES, 2009). Isso se justifica pelo fato de que muitas cidades ainda dispõem de lixões e aterros controlados, que se caracterizam como técnicas impróprias de disposição final. Além também, da disposição no solo de uma ampla quantidade de materiais que possuem valor econômico quando submetidos a qualquer processo de reaproveitamento e/ou tratamento (PEREIRA; CURI 2012).

Suzuki e Gomes (2009) acreditam que mesmo com a implantação de novas unidades de aterros sanitários não se solucionaria esse problema. Haja vista que a gestão integrada de resíduos sólidos urbanos deve contemplar não só a etapa de disposição final, mas sim um conjunto de medidas baseadas em ações de educação ambiental, reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação e aproveitamento energético, e outras destinações admitidas pelos órgãos ambientais competentes.

Menciona-se ainda a necessidade da implementação de sistemas de manejo compatíveis com a capacidade técnica, financeira e operacional dos municípios, de maneira que se promova a sustentabilidade dessa atividade (FERREIRA; ANJOS, 2001).

3.4.2 Marco institucional

Nos últimos anos, para muitos autores (FAGUNDES, 2009; SANTIAGO; DIAS, 2012), a destinação final ambientalmente adequada tem despertado bastante preocupação por parte dos agentes de pesquisa assim como o poder público e a sociedade civil organizada tem dado mais atenção a essa questão.

Maior enfoque a esse tema tem se notado a partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (Rio 92), onde os chefes de Estados se reuniram na cidade do Rio de Janeiro em 1992 para debater sobre a relação do meio ambiente com as ações de desenvolvimento sustentável, resultando na aprovação da Agenda 21: “documento que consagra os mais elevados princípios de defesa do bem mais importante que o homem tem a seu dispor, que é a própria Terra” (PARANÁ, S/D) e que é considerado o marco institucional na tomada de decisão das medidas de desenvolvimento sustentável a serem adotadas mundialmente (CNMAD, 1995).

Conforme Jacobi e Besen (2011) tal ênfase se justifica pelo fato de que a intensa produção e o destino impróprio dos resíduos sólidos contribuem de maneira direta e indireta para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

Ressalva-se que a expressão “desenvolvimento sustentável” foi disseminada pioneiramente durante a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD), criada pelas Nações Unidas em 1987 (conhecida como a Comissão de Bruntland) e que tratou de discussões políticas acerca do desenvolvimento econômico associado à conservação do meio ambiente (BARBOSA, 2008; WWF-BRASIL, 2014). Para Redclift (2006), essa discussão pública foi a primeira visão da população mundial a considerar os aspectos ambientais do desenvolvimento frente às questões econômicas, sociais e políticas.

Após a Comissão de Bruntland foi publicado o Relatório Nosso Futuro Comum (ONU, 2014b), onde consta o conceito mais difundido de desenvolvimento sustentável: “que é o desenvolvimento capaz de garantir o atendimento das necessidades da população presente sem comprometer a disponibilidade para que as gerações futuras atendam as suas próprias necessidades” (UNITED NATIONS, 1987). Sendo que a importância do conceito de desenvolvimento sustentável ganhou evidência após publicação da Agenda 21 (BARBOSA, 2008).

Dentre os princípios propostos na Agenda 21, os capítulos 4 e 21 retratam programas que estão intimamente relacionados ao gerenciamento sistemático dos resíduos sólidos. A importância do Capítulo 4, que aborda a Mudança dos Padrões de Consumo, dá-se pela proposta de alteração do consumismo desenfreado praticado pela sociedade, visando deste modo o uso racional dos recursos naturais e o combate à pobreza pela otimização do acesso de alimentos e demais produtos às classes menos favorecidas (CNMAD, 1995). Portanto, as áreas desses programas são baseadas em ações voltadas ao (PARANÁ, S/D):

- a) Exame dos padrões insustentáveis de produção e consumo. Os padrões de consumo e produção provocam o agravamento da pobreza e dos desequilíbrios no meio ambiente. Para que se possa melhorar e proteger o meio ambiente, é preciso considerar os atuais desequilíbrios nos padrões mundiais de consumo e produção.
- b) Desenvolvimento de políticas e estratégias nacionais de estímulo a mudanças nos padrões insustentáveis de consumo. Com vistas à qualidade ambiental e desenvolvimento sustentável, será necessária eficiência na produção e mudanças nos padrões de consumo, para garantir a prioridade ao uso dos recursos e à redução do desperdício ao mínimo. Tendo como estratégias o que segue:
 - Estimular o uso mais eficiente da energia e dos recursos;
 - reduzir os resíduos ao mínimo, estimulando a reciclagem, a introdução de novos produtos ambientalmente saudáveis;
 - usar o poder de compra dos governos para estimular padrões de consumo e produção ambientalmente saudáveis;
 - estabelecer políticas de preços que incorporem os custos ambientais, fornecendo indicações aos consumidores e produtores sobre estes custos;
 - reforço aos valores que apoiam o consumo responsável por meio da educação, de programas de esclarecimento público, publicidade de produtos ambientalmente saudáveis.

Já no Capítulo 21, que tem como título o Manejo Ambientalmente Saudável dos Resíduos Sólidos e Questões Relacionadas com os Esgotos, trata-se diretamente da gestão integrada dos resíduos que deve ser apoiada sobre uma estrutura adequada e sustentável, contemplando ações de:

- a) Redução ao mínimo da geração de resíduos;
- b) maximização da reutilização e reciclagem;
- c) disposição final ambientalmente adequada; e,
- d) ampliação da cobertura dos serviços de manejo dos resíduos.

3.4.2 Marco regulatório

No Brasil, o marco regulatório dos serviços de limpeza urbana, destacando-se o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, ocorreu com a edição da Política Nacional do Saneamento Básico, PNSB - Lei de Nº 11.445/2007 (DANTAS, 2009), e, em especial, da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS – Lei Nº 12.305/2010)

Por definição, a PNSB/2007 reconhece legalmente o manejo de resíduos sólidos como uma das atividades de prestações de serviços de saneamento básico. Sendo considerado no Art. 3º desta Lei como conjunto de serviços, infra-estruturas e instalações operacionais de “limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos: tais como coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo domiciliar e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas”.

De maneira mais detalhada encontram-se no Art. 7º da Lei de Nº 11.445 as atividades atribuídas para o serviço público de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, sendo elas:

- I - coleta, transbordo e transporte dos resíduos relacionados na alínea c do inciso I do caput do art. 3º desta Lei;
- II - triagem para fins de reúso ou reciclagem, de tratamento, inclusive por compostagem, e de disposição final dos resíduos relacionados na alínea c do inciso I do caput do art. 3º desta Lei;
- III - varrição, capina e poda de árvores em vias e logradouros públicos e outros eventuais serviços pertinentes à limpeza pública urbana.

Para Dantas (2009), os princípios mais relevantes desse documento legal são os da universalização do acesso aos serviços, da integralidade, da eficiência e sustentabilidade econômica, da transparência e do controle social. Ainda segundo Dantas (2009) e Moisés *et al.*, (2010), a regulação da prestação dos serviços de saneamento básico tem como pressuposto a universalização do acesso à melhoria da qualidade e a ampliação da cobertura de atendimento dos serviços, buscando deste modo fomentar melhorias na saúde pública através da prevenção de doenças causadas pela carência ou ineficiência dos serviços de saneamento.

Deve-se fazer referência a outro princípio importante da Lei de Nº 11.445 que é o da utilização de tecnologias sustentáveis, respeitando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas. Visto que muitos municípios não dispõem de condições técnicas, financeiras e humanas necessárias para o correto gerenciamento dos resíduos

sólidos e a realização dos demais serviços de saneamento básico (RIBEIRO, 2007). Portanto, uma alternativa apontada como promissora, e permitida pelo Art. 16º da PNSB, é a prestação regionalizada de serviços públicos de saneamento básico por Consórcios Públicos, que se constituem de parcerias entre entes federativos para execução e cumprimento de suas funções públicas, orientados através da Lei de Nº 11.107/2005 denominada de Lei de Consórcios Públicos (BRASIL, 2005; BRASIL, 2009). Conforme Fortini e Rocha (2009) os consórcios públicos é um caminho a ser examinado desde que as circunstâncias que o envolvem considerem a realidade local, apontando a solução mais adequada para ambos os municípios consorciados.

Outra diretriz importante estabelecida no Art. 5º da PNSB leva em consideração a não responsabilidade por parte da gestão pública pelo gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador, com exceção, conforme descrito no Art. 6º, do “lixo originário de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano”.

A Lei Nº11.445 define ainda diretrizes econômicas e sociais, impondo alguns aspectos gerais para a cobrança de taxas ou tarifas para promover a adequada destinação dos resíduos sólidos coletados. Isso permite que os recursos arrecadados possam ser investidos em programas de ampliação, manutenção e benefício da infraestrutura existente (PEREIRA JÚNIOR, 2008). As considerações para aplicação dessas tarifas ou taxas são observadas no Art. 35º que diz:

Art. 35. As taxas ou tarifas decorrentes da prestação de serviço público de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos urbanos devem levar em conta a adequada destinação dos resíduos coletados e poderão considerar:

I - o nível de renda da população da área atendida;

II - as características dos lotes urbanos e as áreas que podem ser neles edificadas;

III - o peso ou o volume médio coletado por habitante ou por domicílio.

Em 2010 foi instituída a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, o mais relevante arcabouço legal que designa as diretrizes que orientam à gestão integrada e o gerenciamento de resíduos sólidos no país (BRASIL, 2010). Apesar de regulada recentemente, a PNRS tramitava no Congresso Nacional desde 1990 (LOPES, 2006).

Segundo Nascimento Neto e Moreira (2010) o atraso na criação desta lei ocorreu pela falta de harmonia sobre a definição do papel do governo, da sociedade civil e do setor empresarial na gestão ambiental dos resíduos pós-consumo, com objetivo de se estabelecer as

atribuições desses agentes sociais na redução dos impactos ambientais originados durante o ciclo de vida dos produtos.

Conforme já mencionado, a PNRS estabelece diretrizes e instrumentos legais para o manejo sustentável dos resíduos sólidos, assim como atribui as responsabilidades dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos público pelos danos ocasionados à saúde pública e ao meio ambiente durante o ciclo de vida dos produtos.

Os princípios definidos na Política Nacional dos Resíduos Sólidos são:

- I - a prevenção e a precaução;
- II - o poluidor-pagador e o protetor-recebedor;
- III - a visão sistêmica, na gestão dos resíduos sólidos, que considere as variáveis ambiental, social, cultural, econômica, tecnológica e de saúde pública;
- IV - o desenvolvimento sustentável;
- V - a ecoeficiência, mediante a compatibilização entre o fornecimento, a preços competitivos, de bens e serviços qualificados que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida e a redução do impacto ambiental e do consumo de recursos naturais a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada do planeta;
- VI - a cooperação entre as diferentes esferas do poder público, o setor empresarial e demais segmentos da sociedade;
- VII - a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- VIII - o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania;
- IX - o respeito às diversidades locais e regionais;
- X - o direito da sociedade à informação e ao controle social;
- XI - a razoabilidade e a proporcionalidade.

O princípio do poluidor-pagador surge da necessidade de se incumbir os custos financeiros ao poluidor, pelos impactos gerados ao meio ambiente e a saúde pública através da destinação inadequada dos resíduos sólidos, podendo de acordo com a lei ser aplicada a pessoa física ou jurídica. Entretanto o protetor-recebedor deve receber uma compensação financeira quando do desenvolvimento de ações de proteção ambiental em prol da coletividade (COPOLA, 2011).

Os princípios da visão sistêmica e da cooperação entre as diversas esferas envolvidas buscam encarar a gestão dos resíduos sólidos de forma integrada. O primeiro enfatiza que a gestão deve ser realizada considerando os aspectos ambientais, sociais, culturais, econômicos, tecnológicos e de saúde pública como um conjunto (BERNARDES, 2012). E o segundo trata-se de um importante instrumento legal que, de acordo com o inciso VI. do Art. 8º, visa: “a

cooperação técnica e financeira entre os setores público e privado para o desenvolvimento de pesquisas de novos produtos, métodos, processos e tecnologias de gestão, reciclagem, reutilização, tratamento de resíduos e disposição final ambientalmente adequada de rejeitos”.

Um aspecto inovador na PNRS é o de instituir a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, passando agora a responsabilidade do gerenciamento dos resíduos sólidos não apenas para os gestores públicos, mas também para os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, os consumidores e os titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos (VIEIRA *et al.*, 2012).

Na PNRS, a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos deve ser traçada de forma individualizada e encadeada por todos os atores sociais envolvidos, implicando em atribuições e procedimentos de: compatibilização dos interesses entre os agentes econômicos e financeiros; aproveitamento dos resíduos; redução da geração de resíduos, do desperdício de materiais, da poluição e os danos ambientais; incentivo a utilização de insumos mais sustentáveis e menos tóxicos; estímulo a utilização de produtos fabricados a partir de materiais recicláveis e reciclados; desenvolvimento de atividades produtivas de maior eficiência e sustentabilidade; e por fim, o comprometimento desses agentes na realização de ações e programas de responsabilidade socioambiental (BRASIL, 2010).

Outra ferramenta de grande destaque da PNRS é a implantação dos sistemas de logística reversa, que se constitui de uma das principais atividades da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos (FREIRE; LOPES, 2013; VOSS *et al.*, 2013). Na lei o termo logística reversa é conceituado como:

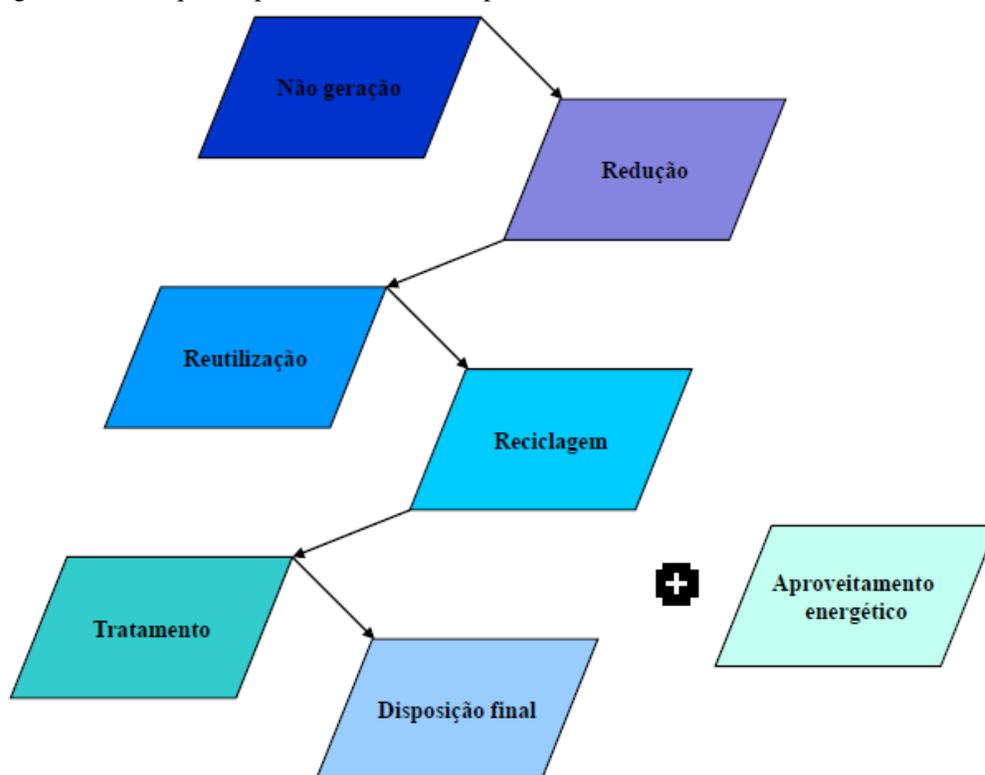
Instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

No Art. 33 da Lei 12.305 é imposto a obrigatoriedade pela implantação de sistemas de logística reversa, mediante retorno após o uso pelo consumidor, de forma independente do sistema de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; além de produtos eletroeletrônicos e seus componentes. Podem estar

sujeitos ainda a implantar o sistema de logística reversa os responsáveis pela comercialização de “embalagens plásticas, metálicas ou de vidro, e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados”.

A PNRS preconiza ainda que a gestão e o gerenciamento dos resíduos sólidos devem atender a uma hierarquia de prioridades que objetiva a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (vide Figura 2). Poderão ser utilizados ainda projetos de recuperação energética a partir do aproveitamento dos RSU.

Figura 2 - Hierarquia de prioridades definidas pela PNRS na Gestão e Gerenciamento dos Resíduos Sólidos.



Fonte: Autor, 2015.

Para atingir estes objetivos, torna-se necessário considerar os instrumentos legais que buscam: a concepção e o desenvolvimento de programas e ações de educação ambiental; e o incentivo a criação e a ampliação de cooperativas ou de outros modelos de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, ocasionando assim a inclusão social e à

emancipação dos catadores pela integração dos mesmos no ciclo de vida dos produtos. Inclusive, envolvendo-os nos programas existentes de coleta seletiva (BRASIL, 2010).

Segundo Lopes (2006) a participação dos catadores nos programas de coleta seletiva, além de alavancar o mercado da reciclagem, traz melhorias na qualidade de vida social, econômica e sanitária desse grupo, retirando-os do trabalho informal e insalubre da catação nas ruas e lixões.

Constata-se também que a integração dos catadores em grupos organizados e articulados de cooperativas conduz a uma valorização do seu trabalho, proporcionando melhores condições de remuneração, o que evita a comercialização dos resíduos por intermédio de atravessadores e indústrias de sucata, que expõe os catadores a condições extremamente precárias de trabalho e a desvalorização do material comercializado (PORTO *et al.*, 2004).

Outro aspecto interessante da política de resíduos sólidos é o estímulo proposto pelo Governo Federal que garante prioridade de acesso aos recursos da União para os municípios que (BRASIL, 2010):

- I - optarem por soluções consorciadas intermunicipais para a gestão dos resíduos sólidos, incluída a elaboração e implementação de plano intermunicipal, ou que se inserirem de forma voluntária nos planos microrregionais de resíduos sólidos referidos no § 1o do art. 16;
- II - implantarem a coleta seletiva com a participação de cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis formadas por pessoas físicas de baixa renda.

No tocante a gestão intermunicipal, estes incentivos federais têm como finalidade impulsionar a gestão adequada dos resíduos sólidos, permitindo assim que municípios de pequeno porte obtenham autossuficiência para assegurar o manejo sustentável por meio da redução dos custos envolvidos e da descentralização das funções e responsabilidades pela prestação de serviços públicos entre os entes associados (BRASIL, 2010; MORAES, 2012).

Finalizando a discussão da Lei 12.305, está previsto que no horizonte de 4 (quatro) anos, a partir de sua publicação, os rejeitos gerados devem ser dispostos de forma apropriada ambientalmente, ou seja, após o dia 02 de agosto de 2014 fica proibida qualquer entidade pública geradora de lançar seus rejeitos em lixões, aterros controlados ou outro meio de disposição final considerado inadequado. Entretanto, o panorama atual da desativação dos lixões no país está em desconformidade com o prazo definido na legislação vigente.

Em reportagem veiculada no dia 01/08/2014 pelo site da Agência Senado é estimado que haja aproximadamente 3,5 mil vazadouros a céu aberto ativos, conforme levantamento da Confederação Nacional dos Municípios (CNM). Segundo a notícia os fatores que levaram ao descumprimento da desativação dos lixões são em função dos tramites burocráticos na aquisição e acesso aos recursos financeiros federais para regularizar essa situação e do desinteresse político dos gestores públicos (AGÊNCIA SENADO, 2014). Acrescenta-se também que muitos municípios não detêm de recursos técnicos e operacionais para se adequarem a esta exigência legal, todavia o estado e até mesmo o governo federal devem dar suporte para que os mesmos estruturam uma gestão de resíduos sólidos compatíveis ao porte e à capacidade da localidade.

3.4.3 Gestão e gerenciamento integrado dos RSU

A sinergia entre a gestão sustentável e o gerenciamento integrado dos resíduos sólidos torna-se um dos principais desafios da gestão pública municipal, que devem estar atentos as limitações financeiras, técnicas e operacionais da região e comprometendo-se com a complexidade da questão socioambiental (RIBEIRO, 2006).

Os termos gestão e gerenciamento integrado não devem ser mencionados de forma análogos, pois possuem funções distintas e conceituam-se como (BRASIL, 2010):

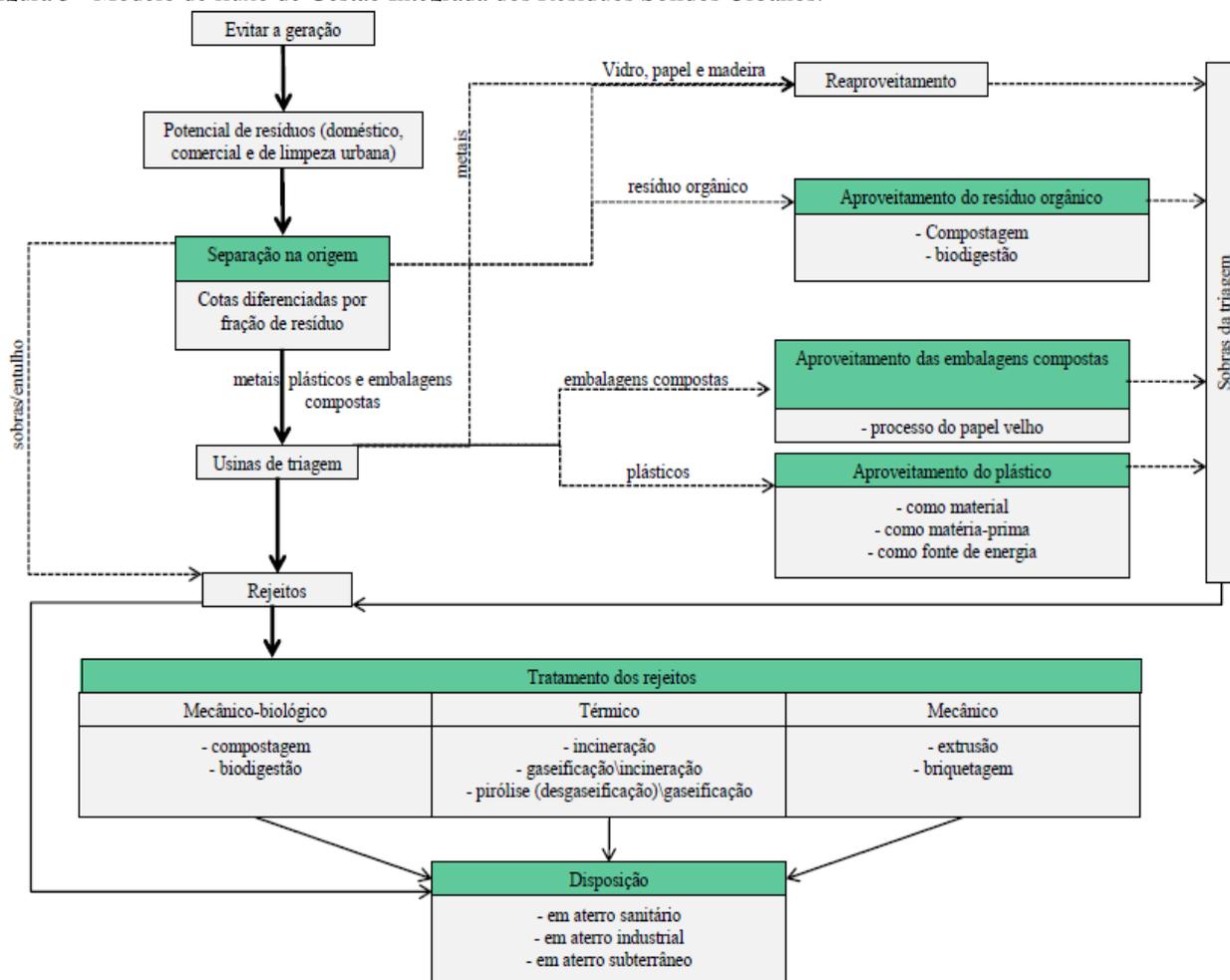
- X - gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei;
- XI - gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Observa-se, portanto, que o conceito de gestão integrada de resíduos sólidos está atrelado à tomada de decisões de caráter estratégico, abrangendo aspectos institucionais, administrativos, financeiros, ambientais, culturais, sociais e técnico-operacionais, com a consonância da natureza participativa e deliberativa de todos os agentes sociais envolvidos no ciclo de vida dos produtos. Logo, orientando por meio de dispositivos legais a implantação de um sistema de gerenciamento adequado (MESQUITA JÚNIOR, 2007).

Todavia, a definição de gerenciamento integrado dos resíduos sólidos se traduz em conjunto de ações normativas, ambientais, operacionais, administrativas, gerenciais e financeiras, que fazem referência à execução e ao controle das etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos (MASSUKADO, 2004). Lembrando que sempre se deve cumprir a ordem de prioridades da gestão e gerenciamento estabelecidas na Lei N° 12.305/2010, e para isso a PNRS fomenta a construção de atividades de educação ambiental como ferramenta crucial na concepção de um modelo sustentável.

O desafio para se atingir uma gestão integrada de resíduos sólidos urbanos pode ser alcançado pela implantação de um sistema baseado no modelo proposto por Böhm *et al.* (1996) *apud* Strauch e Albuquerque (2008), assim como se verifica na Figura 3.

Figura 3 - Modelo de fluxo de Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos.



Fonte: Böhm *et al.* (1996) *apud* Strauch e Albuquerque (2008). Observação: a linha tracejada indica que o processo requer transporte.

3.5 Importância da educação ambiental

Um dos importantes princípios constados na Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), Lei de nº 6.938 de 31 de agosto de 1981, é a educação ambiental. De acordo com PNMA, a educação ambiental é um princípio essencial que deve ser aplicado em todos os níveis de ensino, inclusive na educação da comunidade, objetivando dessa maneira capacitá-la para a participação ativa na defesa do meio ambiente.

A educação ambiental pode ser compreendida como um conjunto de ações em que o homem e a sociedade atuam conjuntamente na construção de valores sociais, conhecimentos, habilidades, atitudes e competências relacionadas à conservação do meio ambiente (Lei de Nº 9.795, de 27 de abril de 1999 - Política Nacional de Educação Ambiental).

Conforme a lei de Nº 9.795 devem ser observados como princípios básicos da educação ambiental (BRASIL, 1999):

- I - o enfoque humanista, holístico, democrático e participativo;
- II - a concepção do meio ambiente em sua totalidade, considerando a interdependência entre o meio natural, o socioeconômico e o cultural, sob o enfoque da sustentabilidade;
- III - o pluralismo de ideias e concepções pedagógicas, na perspectiva da inter, multi e transdisciplinaridade;
- IV - a vinculação entre a ética, a educação, o trabalho e as práticas sociais;
- V - a garantia de continuidade e permanência do processo educativo;
- VI - a permanente avaliação crítica do processo educativo;
- VII - a abordagem articulada das questões ambientais locais, regionais, nacionais e globais;
- VIII - o reconhecimento e o respeito à pluralidade e à diversidade individual e cultural.

Segundo Philippi Jr. (2005), a educação ambiental não age apenas na mudança de hábitos, mas intervém como um processo contínuo e permanente na mudança de atitudes e na concepção de valores voltados à formação ética, reflexiva, crítica e pró-ativa da comunidade, dotando-a da consciência do papel de cada cidadão na garantia e desenvolvimento do bem estar social, cultural e ambiental.

Outro ponto a ser trabalhado pela educação ambiental é a disseminação de agentes sociais que são fundamentais na manutenção e na adesão de mais pessoas aos programas ambientais existentes. Estes agentes também costumam ser denominados de agentes multiplicadores de educação ambiental, estando muitas vezes responsáveis pela coordenação das

atividades educativas implantadas, garantindo a continuidade e o comprometimento por parte da população.

O processo de educação ambiental envolvendo a problemática dos resíduos sólidos introduz uma nova visão ao homem, associando à geração de lixo com suas atividades diárias, objetivando dessa maneira a mudança de comportamento da sociedade sob diversos aspectos da geração dos resíduos (MMA, 2010).

A elaboração de programas de educação ambiental para a gestão integrada dos resíduos tem por finalidade a conscientização e a mobilização da sociedade, exercendo dessa maneira um forte controle social através da cooperação mútua da sociedade civil. Por meio desse instrumento, torna-se possível estimular os diversos agentes envolvidos a colaborar de forma espontânea na criação de programas que visam a não geração; a mudança do estilo e padrão de consumo; o incentivo pela aquisição de materiais recicláveis e/ou reciclados; e, em especial, a prática da segregação dos resíduos sólidos na origem para posterior doação aos catadores ou aos sistemas de coleta seletiva realizados pelo município, o que permite maiores avanços no mercado da reciclagem e a efetividade da inclusão social (GRIMBERG, 2007; BARROS, 2012).

Os programas de educação ambiental devem estar fundamentados na política dos 5 R's que consiste nos atos de reduzir, repensar, reaproveitar, reciclar e recusar o consumo de produtos potencialmente poluidores, atuando diretamente na conscientização da sociedade para modificar valores e hábitos que os direcionam ao consumismo desnecessário, ao desperdício e à omissão da sua responsabilidade na destinação final dos resíduos (MMA, 2014).

É importante frisar que a educação ambiental assume grande valor sobre a reciclagem, uma vez que o consumidor está na ponta da cadeia da geração de resíduos e é quem torna factível o processo de reciclagem (SOUZA; PAULA; SOUZA-PINTO, 2012).

Simonetto e Borenstein (2006) acreditam que o exercício satisfatório da reciclagem depende da instalação de um sistema eficaz de coleta seletiva, incluindo a separação na fonte geradora e o recolhimento do material pelos sistemas municipais de limpeza urbana, envolvendo a participação das cooperativas ou associações de reciclagem.

3.6 Aspectos gerais da coleta seletiva de resíduos sólidos no Brasil

No gerenciamento integrado dos RSU, a criação de programas de coleta diferenciada, como a coleta seletiva, torna-se como uma atividade imprescindível. Entende-se por coleta seletiva o recolhimento de resíduos sólidos previamente segregados de acordo com a sua constituição e composição (BRASIL, 2010).

A coleta seletiva pode ser executada perante uma metodologia mais simplificada, visando apenas à segregação dos resíduos em secos e úmidos, ou em um nível de maior complexidade, pela separação individual por tipo de resíduo, que irá depender do estágio de seletividade do modelo proposto. Entretanto, quanto maior o grau de separação maior será os gastos públicos para instalação dos equipamentos e operação do sistema desenvolvido (MASSUKADO, 2008).

A segregação prévia dos resíduos na fonte geradora assinala como a melhor técnica de coleta seletiva, pois reduzem significativamente os custos que estão associados à triagem, lavagem, secagem, transporte, entre outros. Porém, não se deve descartar a possibilidade da instalação de usinas de triagem para realizar a separação efetiva dos materiais, já que muitas vezes os sistemas empregados adotam a seleção por secos e úmidos, carecendo ainda da separação por tipo de recicláveis e podendo haver materiais que cause a contaminação dos resíduos, até mesmo inviabilizando a reciclagem. Nesse caso, os gastos com as centrais de triagem são reduzidos, devido à construção de unidades com uma estrutura mais simples e de menor exigência operacional (VILHENA, 2013).

No tocante aos procedimentos para o recebimento dos resíduos segregados podem ser adotadas as seguintes modalidades (STRAUCH; ALBUQUERQUE, 2008; NAGASHIMA *et al.*, 2011; VILHENA, 2013):

- a) Porta a porta: o recolhimento do material é realizado de forma semelhante ao da coleta normal, distinguindo-se geralmente apenas os dias e horários para que não coincidam com os da coleta regular. As principais vantagens da coleta porta a porta são em função da simples separação e destinação na calçada, evitando o deslocamento do cidadão; e permite mensurar a população participante. Em contrapartida, o sistema de limpeza pública municipal irá contrair mais despesas com coleta, transporte e recursos humanos;

- b) postos de entrega voluntária (PEV): caracterizam-se como locais fixos onde são instalados contêineres e a população voluntariamente destinam os resíduos recicláveis. O benefício mais importante dos PEVs é por atribuir os custos de logística aos cidadãos, já que estes precisam se deslocar até o posto mais próximo, porém torna-se mais susceptível a participação reduzida da população.
- c) postos de troca: constituem-se de locais determinados onde a população destinam seus resíduos em provento de benefícios econômicos, culturais ou por produtos que são fornecidos pelos programas locais implantados através da iniciativa pública ou privada. Tem como aspectos positivos a isenção da prefeitura nos custos de logística e o estímulo ao cidadão pela troca dos resíduos por descontos em serviços ou produtos;
- d) destinação a catadores informais, cooperativas ou associações de catadores: nessa última modalidade, o recolhimento dos resíduos são realizados de porta em porta pelos catadores, tanto os de origem autônoma como também organizados em associações ou cooperativas. Os principais ganhos estão associados à inclusão social e econômica dos catadores, pelo engajamento desses agentes de reciclagem na sociedade e pela geração de emprego e renda; à diminuição das despesas dos municípios com coleta, transporte, triagem e disposição final; e à melhoria da saúde-ocupacional desses agentes.

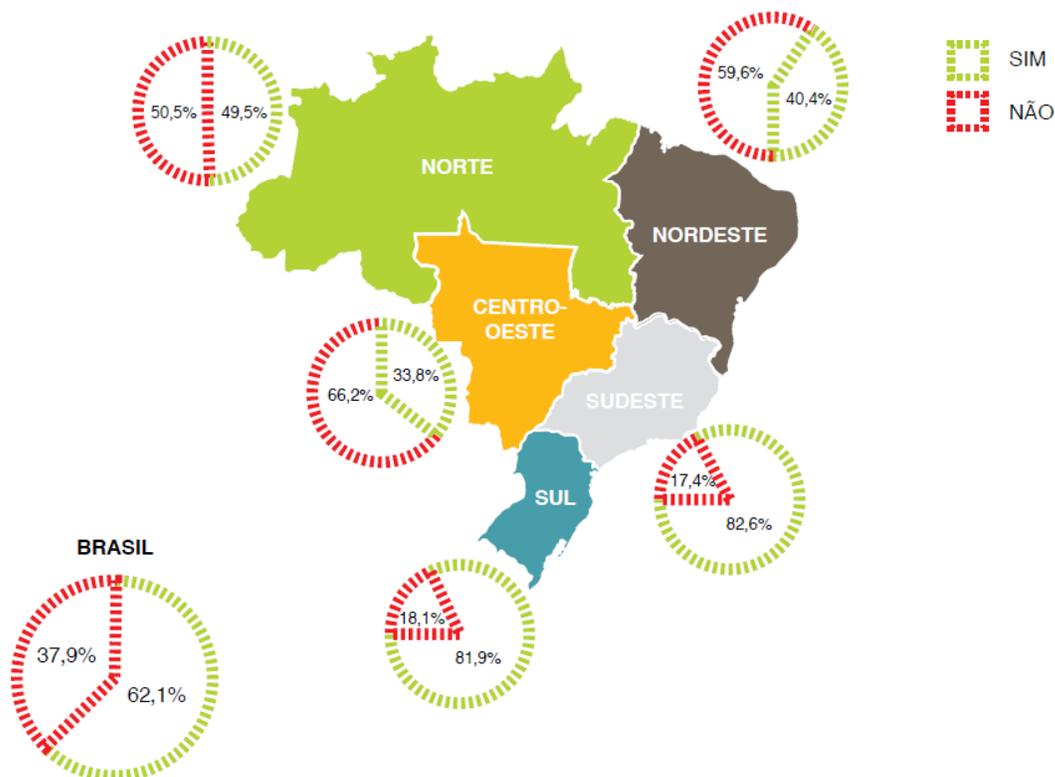
A implantação de um sistema efetivo de coleta seletiva propicia um adequado condicionamento dos resíduos sólidos e evita a impregnação com outros materiais que possam inviabilizar sua utilização, permitindo assim potencializar o reaproveitamento e a reciclagem destes. Segundo Barros Júnior (2003), a principal desvantagem da coleta seletiva se dá pelo alto investimento aplicado em um sistema de coleta distinto da domiciliar, aumentando também os gastos públicos com transporte e mão de obra e com ações de educação e sensibilização dos usuários.

Vale ressaltar que o bom desempenho da coleta seletiva depende da ação conjunta e proativa dos vários atores da sociedade civil, constituídos por catadores, poder público, organizações não governamentais, indústria, comércio e a comunidade em geral (ABRÃO *et al.*, 2000). Bringhenti e Günther (2011) enfatizam que a viabilidade da coleta seletiva deve implicar principalmente no:

[...] envolvimento dos cidadãos, considerados, no extremo da cadeia de produção e consumo, os geradores dos resíduos sólidos. Há ainda a necessidade de informação e divulgação dos programas/iniciativas implantados, no que se referem às diretrizes, princípios, instrumentos, práticas e modalidades de coleta adotadas. A comunidade deve ser sensibilizada, motivada e os conceitos e práticas precisam ser assimilados e incorporados no cotidiano da população envolvida, com vistas a assegurar sua operacionalização, viabilidade e continuidade, fatores fundamentais para se atingir os resultados esperados e garantir sua sustentabilidade.

Quanto à perspectiva da coleta seletiva em 2013, registrou-se que 62,1% dos municípios brasileiros possuem alguma iniciativa de coleta seletiva (um total de 3459 municípios), conforme ilustrado na Figura 4. O Nordeste está entre as regiões com a menor participação (Tabela 4), depois da região Centro-Oeste, possuindo um percentual de 40,4% dos municípios com coleta seletiva (com um contingente de 725). Embora seja bastante significativo o quantitativo de municípios com alguma iniciativa, esta muitas vezes se resume à existência de pontos de entrega voluntária ou convênios com cooperativas de catadores, não contemplando o atendimento total da população urbana (ABRELPE, 2013).

Figura 4 - Distribuição dos municípios com iniciativas de coleta seletiva (%).



Fonte: ABRELPE, 2013.

Tabela 4 - Municípios com iniciativas de coleta seletiva.

Região	Norte		Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste		Sul		Brasil	
	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013	2012	2013
Sim	213	223	678	725	148	158	1342	1378	945	975	3326	3459
Não	236	227	1116	1069	318	309	326	290	243	216	2239	2111
Total	450		1794		467		1668		1191		5570	

Fonte: ABRELPE, 2013.

Besen (2012) reforça ainda que a cobertura pela prestação do serviço de coleta seletiva das cidades é insuficiente, havendo alguns programas funcionando efetivamente, mas, na sua maioria, estes se traduzem em iniciativas com baixa abrangência, pontuais em escolas e, até mesmo, existindo postos de entrega voluntária que não funcionam satisfatoriamente.

A Pesquisa Ciclossoft realizada pelo CEMPRE no ano de 2012 concluiu, que dentre os modelos de coleta seletiva empregados pelos municípios, a maioria adotam a coleta porta a porta (88%), seguido das cooperativas de catadores com 72% e com a menor taxa está os PEVs com 53%. O custo médio da coleta seletiva nas cidades pesquisadas foi de R\$ 424,00 por tonelada, representando um valor 4,5 vezes maior do que a despesa pela coleta convencional (que custa R\$ 95,00), o que pode explicar o limitado avanço da estruturação dos programas de coleta seletiva. Porém, segundo Strauch e Albuquerque (2008) a coleta seletiva não pode ser encarada como uma atividade isolada.

Na construção dos programas de coleta seletiva deve se considerar o mercado e a demanda local por materiais recicláveis, isso facilita e potencializa sua comercialização devido ao conhecimento prévio das rotas comerciais sistemáticas e a necessidade dos materiais pelas indústrias.

Destaca-se que a negociação dos resíduos recicláveis coletados pode passar por vários intermediários, antes da venda desse material a uma indústria de reciclagem, logo influenciando o preço de compra dos materiais. Em Fortaleza-CE, uma associação de catadores vende, em média, o Kg de papel, papelão, vidro, metal, plástico rígido e plástico filme por R\$ 0,17, R\$ 0,09, R\$ 0,04, R\$ 1,39, R\$ 0,47 e R\$ 0,54, respectivamente (FACUNDO; SANTOS, 2010).

Para Lino e Ismail (2011), seria possível arrecadar mensalmente um valor de R\$ 366.796.875,00 a partir da comercialização de recicláveis secos no país, considerando todo o potencial de geração de resíduos sólidos domiciliares. Lembrando que o levantamento do preço de uma tonelada de recicláveis em 2005 foi estimado pelos autores em R\$ 312,50.

Nos últimos anos, houve um impulso na reciclagem de resíduos sólidos no Brasil através da pressão exercida pela sociedade, que intensifica a importância da preservação ambiental. Além da conscientização do setor empresarial que garante a aceitação desses produtos no mercado externo e interno. Parcela desse setor (empresas de reciclagem e catadores) também pressiona o governo para que se estabeleçam estratégias para avançar com o mercado da reciclagem no país (FIGUEREDO, 2011).

A reciclagem é traduzida como a reintrodução do produto pós-consumo na cadeia produtiva, a partir da transformação destes em insumos ou novos produtos, envolvendo a modificação das suas características físicas, químicas ou biológicas (BRASIL, 2010). Deste modo a reciclagem induz à conservação ambiental; à redução da exploração de recursos naturais (matéria-prima virgem, economia de água e energia, entre outros); ao aumento da vida útil dos aterros sanitários; à geração de emprego e renda, por agregar valor econômico a partir da recuperação de um objeto já descartado no processo.

Conforme o Diagnóstico de Manejo de RSU feito em 2012 pelo SNIS foi recuperado aproximadamente 809 mil toneladas de resíduos recicláveis secos (papel, plástico, vidro e metais), implicando em menos de 1,5% dos resíduos sólidos urbanos coletados nacionalmente. Se levar em consideração que fração de recicláveis secos seja estimada em 30%, o índice de recuperação atinge, apenas, cerca de 4,7% da massa total de recicláveis secos, o que mostra no contexto geral que o país está bastante atrasado no mercado da reciclagem.

Polaz e Teixeira (2009) acrescentam ainda que para se alcançar níveis satisfatórios de desenvolvimento sustentável, é preciso disponibilizar, além da coleta seletiva de recicláveis secos, a coleta segregada de resíduos orgânicos. Uma vez que estes representam quase a metade da fração dos resíduos sólidos urbanos gerados.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008) do IBGE, apenas 1635 t/dia dos resíduos sólidos orgânicos (RSOrg) coletados e/ou recebidos foram tratados em usinas de compostagem, indicando que somente 1,2% do total de resíduos orgânicos coletados e/ou recebidos (133.407 t/dia) são reaproveitados (para essa estimativa foi considerado que no país a fração orgânica ocupa 51,4% da produção). Nesse caso, os resíduos orgânicos coletados são destinados em apenas 211 unidades de tratamento via compostagem (IBGE, 2010a), sendo que maior parte das usinas está localizada nos estados de Minas Gerais e Rio Grande do Sul, com

78 e 66 unidades, respectivamente. Tal situação comprova que a coleta segregada de resíduos orgânicos em esfera nacional é bastante incipiente (IPEA, 2012).

3.7 Tecnologias de tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos

A destinação inadequada da FORSU no meio ambiente pode trazer sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente oriundos dos produtos resultantes da decomposição biológica, originando um percolato com alta concentração de matéria orgânica, patógenos, cor escura, odor forte e, possivelmente, constituintes tóxicos; e pela produção de gases que agravam o efeito do aquecimento global (FELIZOLA; LEITE; PRASAD, 2006; SILVA *et al.*, 2009a).

Vale salientar que a Lei 12.305/2010 preconiza que na disposição final ambientalmente adequada apenas os resíduos sólidos considerados como rejeitos devem ser encaminhados, não sendo o caso dos resíduos sólidos orgânicos.

Nos últimos anos, algumas tecnologias de tratamento vêm sendo aplicadas para se promover o reaproveitamento e minimizar os riscos ambientais causados pela disposição irregular de resíduos sólidos orgânicos. As principais tecnologias consistem no emprego de métodos biológicos, em condições aeróbias ou anaeróbias, com vistas à reciclagem com valorização dos RSOrg através da conversão em compostos orgânicos para fins agrícolas ou pela produção de biogás com recuperação energética ou aproveitamento como gás natural (GONÇALVES, 2005).

3.7.1 Compostagem

A compostagem consiste na decomposição acelerada dos resíduos orgânicos a partir da ação de microrganismos aeróbios, que utilizam a matéria orgânica como alimento, convertendo-a em um composto estável de cor escura, rico em húmus, constituído de 50% a 70% de matéria orgânica e com elevada disponibilidade de nutrientes. O composto orgânico obtido é utilizado na agricultura como biofertilizante e condicionador de solos (OLIVEIRA, 2004).

Apesar de ser uma técnica viável de tratamento da matéria orgânica putrescível, a compostagem apresenta alguns questionamentos quanto a sua empregabilidade. Estes questionamentos são ocasionados pela:

- a) dificuldade de comercialização do composto bioestabilizado, devendo ser analisado anteriormente a demanda e a aceitação do comércio local (ANDRADE, 2008);
- b) pouca abrangência da coleta seletiva de resíduos orgânicos que pode favorecer o recebimento nas centrais de triagem de resíduos misturados, potencializando desse modo a contaminação e diminuição qualidade do composto (BARREIRA; PHILIPPI JÚNIOR; RODRIGUES, 2006);
- c) influência de agentes externos, como temperatura e umidade, que afetam a qualidade final do produto (WANGEN; FREITAS, 2010);
- d) operação irregular das leiras ou composteiras, gerando mau cheiro e atraindo vetores de doenças (WANGEN; FREITAS, 2010);
- e) falta de monitoramento e de controle durante todo o processo, ampliando o risco de contaminação por metais pesados e reduzindo a qualidade do composto (BARREIRA; PHILIPPI JÚNIOR; RODRIGUES, 2006);
- e) ausência de legislação específica que estabeleça limites de aceitação dos parâmetros de caracterização física, química e biológica do uso do composto em culturas agrícolas, o que propicia o uso inadequado e indiscriminado. Lembrando que se deve regulamentar a aplicação do composto na agricultura considerando as peculiaridades nutricionais e a segurança sanitária de cada espécie cultivada (PRADO FILHO; SOBREIRA, 2007).

3.7.2 Biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é aceita atualmente como uma solução promissora, devido ao elevado potencial de tratamento dos resíduos sólidos orgânicos, com conseqüente produção de biogás. Apesar das vantagens ambientais, sociais, econômicas e tecnológicas significativas da biodigestão anaeróbia, as experiências no Brasil estão direcionadas somente em escala piloto. Isso pode ser justificado pela carência de configurações de sistema de tratamento e no tempo necessário para estabilizar os resíduos orgânicos, que é bastante longo (LEITE *et al.*, 2009).

A importância da biodigestão se dá pela produção de biogás, principalmente, o metano que é um gás com elevado poder calorífico. A produção de biogás através de sistemas de

tratamento anaeróbio de RSOrg oferece uma boa capacidade para atender a demanda por gás natural e/ou energia, a partir da sua queima e/ou movimentação de turbinas (VANDEVIVERE, DE BAERE; VERSTRAETE, 2002; CARNEIRO; SOUTO; POVINELLI, 2005). Vale lembrar que quanto maior for o teor de metano maior será o valor energético do biogás. A composição do biogás é estimada em 65% a 70% de metano, 25% a 30% de dióxido de carbono, e por baixas quantidades de gás sulfídrico, amônia, gás nitrogênio e gás hidrogênio (CASSINI *et al.*, 2003).

Para Silva *et al.* (2009a), o aproveitamento energético do biogás a partir dos resíduos sólidos urbanos representa uma fonte de energia renovável, oferecendo como vantagens:

- a) a descentralização da geração de energia, reduzindo a demanda para importar energia de outras fontes, em especial, das não renováveis que são responsáveis por provocar impactos de grande magnitude no meio ambiente;
- b) a minimização do efeito estufa, por evitar a emissão de metano na atmosfera, que tem um potencial de poluição 21 vezes mais que o gás carbônico;
- c) promover a sustentabilidade da gestão e gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, pela mitigação dos problemas ocasionados pela disposição inadequada.

Oliveira e Rosa (2003) asseguram que o Brasil tem condição de abastecer energeticamente 17% do território nacional a partir da energia dos RS, corroborando desse modo a viabilidade da digestão anaeróbia no tratamento de resíduos sólidos orgânicos. Segundo Andreoli *et al.*, (2003), o poder calorífico do biogás (atribuindo 70% de metano em sua composição) é em torno de 23.380 kJ/m³ ou 6,5 kW/m³, todavia, fazendo-se uma análise comparativa, o poder calorífico do gás natural é equivalente a 37.300 kJ/m³ ou 10,4 kW/m³. Na Tabela 5 é possível verificar a equivalência entre o biogás e outras fontes de combustíveis.

Tabela 5 - Equivalência entre o biogás e alguns combustíveis.

Combustível	Volume equivalente a 1m ³ de biogás
Querosene	0,342 L
Lenha (10% de umidade)	1,450 Kg
GLP	0,396 L
Óleo diesel	0,358 L
Gasolina	0,312 L

Fonte: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1981) *apud* Andreoli *et al.*, (2003).

A digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos em reatores torna-se mais atrativa do que o beneficiamento da matéria orgânica em aterros sanitários, pois nessas unidades é possível

potencializar a produção de biogás (com maior concentração de metano), além disso, tem-se um melhor controle operacional do processo, maior facilidade na captura do biogás e diminuição significativa da massa de resíduos dispostos nos aterros sanitários (AMARAL, 2004).

O processo de biodigestão anaeróbia dos RSOrg resulta, além de percolato e biogás, em um lodo rico em material orgânico parcialmente bioestabilizado, contendo micro e macronutrientes (SAITO, 2007).

A aplicação desse lodo como condicionador e fertilizante do solo é visto como uma solução técnica e ambientalmente adequada capaz de proporcionar inúmeras melhorias nas propriedades físicas, químicas e biológicas e na produtividade agrícola do solo (LEITE *et al.*, 2004; EMBRAPA, 2006). Conforme Gonçalves (2005), o lodo parcialmente digerido necessita ainda ser submetido a um tratamento posterior, tendo como finalidade a obtenção de um composto completamente maturado e livre de patógenos.

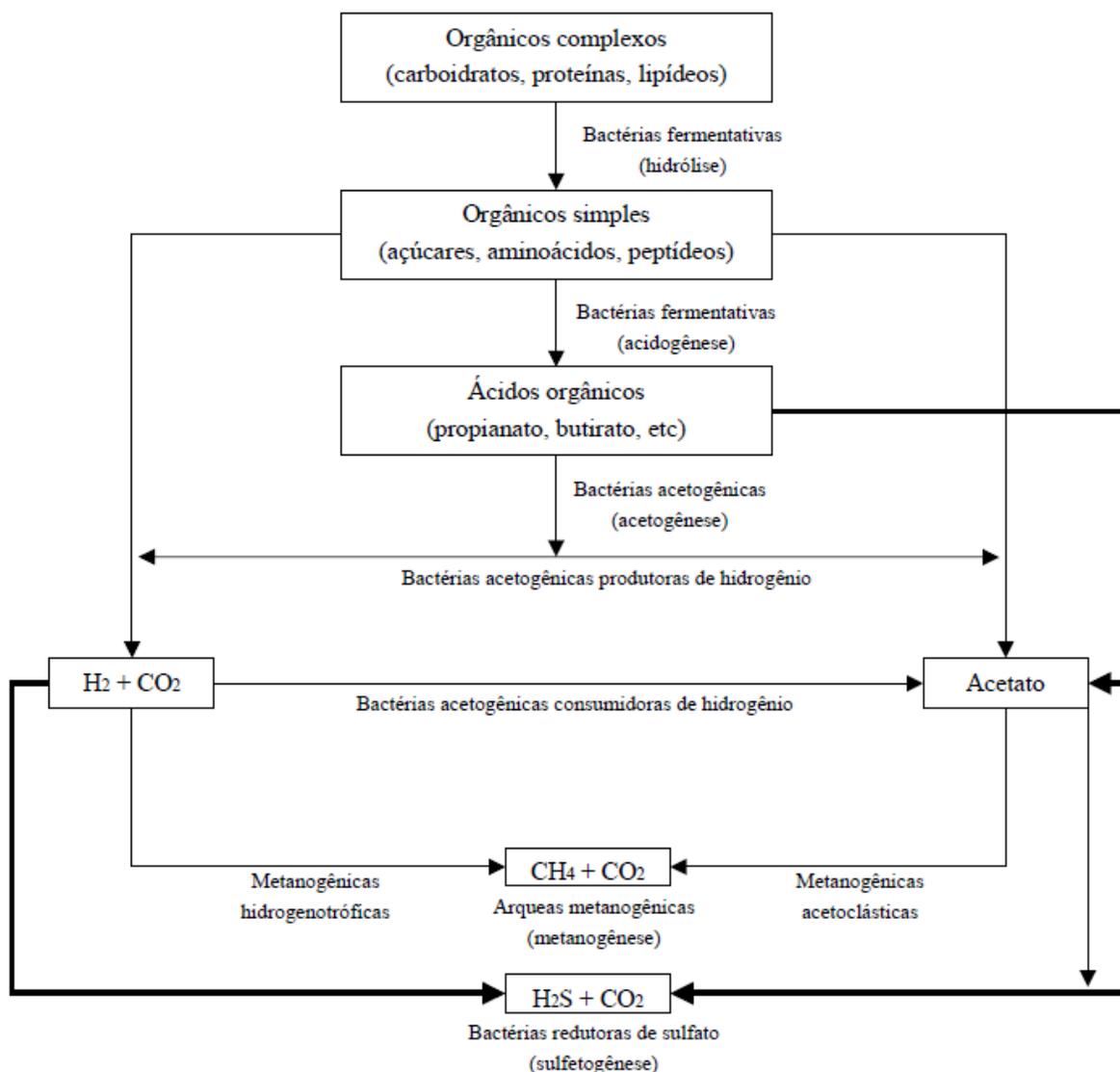
O emprego de biofertilizante para fins agrícolas deve ser feito de forma controlada, pois o compostado pode conter níveis relativamente elevados de metais pesados, contaminantes orgânicos, biológicos e inertes, podendo causar sérios riscos de contaminação ambiental no solo e nos corpos d'água (GONÇALVES, 2005). Outra precaução a ser tomada é com a taxa de aplicação do lodo sobre o solo, que deve ser em cumprimento as diretrizes da legislação vigente e dos requisitos nutricionais e químicos recomendados para cada tipo de cultura agrícola, garantindo ainda a segurança sanitária do consumo humano do vegetal.

3.7.2.1 Requisitos ambientais da digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo bioquímico bastante complexo, constituído por várias rotas metabólicas, que envolve a participação de grupos distintos de bactérias, onde determinadas espécies podem desempenhar função específica para cada fase da digestão, portanto, apresentando diferentes exigências das condições ambientais ótimas (KHALID *et al.*, 2011).

A predominância de determinado grupo ou rota metabólica ocorrerá em função da composição física e química do substrato e do controle das condições ambientais e operacionais do reator, considerando a finalidade para qual o equipamento foi projetado. Na Figura 5 são ilustradas as possíveis etapas metabólicas sequenciais envolvidas na biodigestão.

Figura 5 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia (com redução de sulfato).



Fonte: Chernicharo (1997) adaptado de Lettinga *et al.* (1996).

O desempenho satisfatório da biodigestão anaeróbia está totalmente dependente da formação e do controle rigoroso das condições ambientais favoráveis ao crescimento e à interação harmônica do consórcio de microrganismos produtores de metano, buscando assim estabelecer o equilíbrio ecológico entre as espécies existentes. Os microrganismos mais sensíveis às variações das condicionantes ambientais são as bactérias metanogênicas, por conseguinte, merecem maior atenção quanto ao monitoramento de seus requisitos ambientais. Os

principais requisitos ambientais da digestão são: temperatura, pH/alcalinidade/ácidos graxos voláteis, nutrientes e a presença de elementos tóxicos (LIBÂNIO, 2002; VESILIND, 2011).

3.7.2.1.1 Temperatura

A temperatura é um fator físico que influencia na taxa de crescimento e densidade dos microrganismos, assim como em todas as reações químicas (GRASSO, 1993). De acordo com Campello (2009), a temperatura é uma das variáveis mais imprescindíveis na seleção dos microrganismos, pois estes não dispõem de mecanismos celulares para regular a temperatura interna, logo a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura externa do ambiente.

A digestão anaeróbia pode acontecer em três condições de temperatura: psicrófila (abaixo de 20°C), mesófila (entre 20° e 45°C) e termófila (entre 45° e 70°C) (LETTINGA; REBAC; ZEEMAN, 2001). Variações significativas em sistemas de tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos modificam as taxas das reações enzimáticas, pode também provocar a desnaturação das enzimas ou até mesmo inativar as atividades celulares dos microrganismos, comprometendo a eficiência do tratamento (REIS, 2012).

Os processos anaeróbios mesófilicos são geralmente os mais adotados. Embora muitos autores corroborem (SCHMIT; ELLIS, 2000; BOLZONELLA *et al.*, 2009; VINDIS *et al.*, 2009), através de pesquisas realizadas, que a operação de reatores em faixas termofílicas apresentaram maiores eficiências de remoção de matéria orgânica e um potencial superior de produção de biogás, além de, promover uma maior remoção de patógenos. Em contrapartida, os reatores com temperaturas mais altas têm como desvantagens maior requisito de energia para aquecê-los, instabilidade do processo, desidratação e desprendimento do lodo digerido.

Ressalta-se que é fundamental manter a temperatura constante, isso porque flutuações bruscas podem acarretar a diminuição acentuada da população microbiológica e da produção de biogás (GAO *et al.*, 2011; KHALID *et al.*, 2011).

3.7.2.1.2 pH/alcalinidade/ácidos graxos voláteis

Assim como a temperatura, o potencial hidrogeniônico (pH) deve ser mantido em uma faixa ideal de maneira a assegurar o crescimento da associação de bactérias produtoras de metano. As bactérias acidogênicas apresentam uma escala de pH ótima situada entre 5,0 e 6,0, já as metanogênicas desempenham melhor atividade biológica em um pH mais elevado, na faixa de 6,7-7,4. Para garantir a eficiência de sistemas anaeróbios é recomendado que o pH esteja situado no intervalo de 6,0 à 8,0 (LIU; TAY, 2004). Valor de pH fora da condição adequada culmina no acúmulo de ácidos graxos voláteis, podendo levar a falha do processo (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Durante as fases de hidrólise e acidogênese são liberadas grandes quantidades de ácidos orgânicos voláteis que tendem a se acumular e podendo causar diminuição significativa do pH. Para evitar esse problema, é preciso manter a alcalinidade em concentrações suficientes para que se efetue o tamponamento do meio (LOPES *et al.*, 2002). De acordo com Mayer (2013), o equilíbrio ácido-base em digestores anaeróbios é alcançado por concentrações elevadas de alcalinidade. Muitas vezes, deve ser suplementado uma fonte externa para fornecer estabilidade no processo.

O acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs), principalmente de acetato, propionato e butirato, são provocadas por:

[...] condições de instabilidade, sejam elas devido a choques de carga ou a presença de compostos tóxicos, ocorrerá devido a não observância de limitações cinéticas e/ou termodinâmicas, que podem ser causadas por limitações de transferência de massa e/ou nutricionais (AQUINO; CHERNICHARO, 2005).

Ainda segundo Aquino e Chernicharo (2005), o excesso de AGVs não deve ser considerado como algo inevitável, mas deve-se atentar que um ou mais grupo de microrganismos estão sendo afetados, sendo o caso dos microrganismos sintróficos e metanogênicos.

Para assegurar a boa estabilidade nos processos de digestão anaeróbia é recomendado manter os valores de AGV/AT inferiores a 0,3, sendo que valores acima desse limite podem provocar distúrbios no sistema e afetar o desempenho operacional dos reatores. Porém, é possível

que em alguns processos, valores de AGV/AT diferentes de 0,3 não ocasionem instabilidade no tratamento (CHERNICHARO, 1997).

3.7.2.1.3 Nutrientes

Para se obter boa performance no processo de digestão anaeróbia é necessário manter as concentrações de macro e micronutrientes em quantidades suficientes (MORAES, 2005). Os macronutrientes mais essenciais na degradação biológica da matéria orgânica são o nitrogênio, o fósforo e o enxofre. O nitrogênio é o nutriente mais assimilado durante as atividades metabólicas das bactérias anaeróbias, logo, exigido em grandes concentrações. As principais fontes de nitrogênio utilizadas são o nitrogênio orgânico e a amônia. No entanto, o fósforo e o enxofre são demandados em baixas quantidades, em especial, pelas arqueas metanogênicas. Destaca-se que o sulfeto deve ser mantido em concentrações reduzidas, evitando assim um ambiente favorável para as bactérias redutoras de sulfato e não prejudicando a atividade das metanogênicas (SPEECE, 1996; CHERNICHARO, 1997).

Como mencionado anteriormente, as bactérias anaeróbias necessitam de nitrogênio para a síntese de proteínas, sendo o controle das concentrações adequadas de nitrogênio efetuado através da relação carbono/nitrogênio. É recomendado que a relação ótima C/N para a digestão anaeróbia esteja situada entre 20-30 (RAO; SINGH, 2004). Para Verma (2002) e Picanço (2004), relação C/N acima do recomendado causará *déficit* de nitrogênio, evitando assim a decomposição da matéria orgânica remanescente devido a carência nutricional. Todavia, relação C/N abaixo dessa taxa levará a produção demasiada de amônia, que dependendo da condição alcalina do meio, pode elevar o pH para valores acima de 8,5 e inibir a ação das metanogênicas. Quando necessário, os RSOrg podem ser diluídos com águas residuárias ou com esterco animal para que se atinja uma relação C/N ideal.

Outros elementos também se tornam essenciais à nutrição dos microrganismos e compõem o sítio ativo das enzimas, sendo requisitados em níveis traços, que é o caso de micronutrientes como cromo, ferro, cobalto, cobre, manganês, molibdênio, níquel, selênio, boro, vanádio e zinco. Se os níveis desses metais traços estiverem acima do limite nutricional requerido irá ocasionar efeito tóxico ou inibitório aos microrganismos (RAPOSO *et al.*, 2011b).

3.7.2.1.4 Elementos tóxicos

A toxicidade é um dos principais fatores que afeta negativamente o desempenho operacional de reatores anaeróbios. Há inúmeras substâncias orgânicas e inorgânicas que podem ser prejudiciais ao crescimento das bactérias. Dependendo da concentração dos compostos tóxicos no material afluente, os efeitos podem resultar na aclimatação da biomassa, quando presentes em concentrações limites que irão estimular a adaptação; ou inibição, quando em níveis capazes de inativar a atividade dos microrganismos. O efeito tóxico é causado por sais (geralmente, ocasionado pelos cátions), amônia livre, sulfeto, cianetos, cromatos, metais pesados (cromo, níquel, zinco, cobre, arsênio, etc.), entre outros (CHERNICHARO, 1997).

3.8 Biodegradabilidade anaeróbia de resíduos

A biodegradabilidade de resíduos sólidos orgânicos caracteriza-se como um ensaio prévio para avaliar o potencial de conversão de um dado substrato orgânico, a partir da ação conjunta de um consórcio de microrganismos anaeróbios, em biogás. Os ensaios de biodegradabilidade podem ser realizados através do teste de atividade metanogênica específica (AME), que se constitui de um ensaio em batelada de produção de biogás sob condições ambientais controladas de laboratório. A partir dos resultados obtidos na avaliação de AME é possível estabelecer as questões de design, econômicas e de gestão mais viáveis para implementação em larga escala de reatores anaeróbios (ANGELIDAKI *et al.*, 2009).

Conforme Aquino *et al.* (2007), o conhecimento da AME permite determinar a carga orgânica máxima aplicada pela quantia existente de bactérias metanogênicas, assegurando assim a continuidade e a eficiência do processo de digestão anaeróbia e evitando prováveis distúrbios biológicos ocasionados pela sobrecarga orgânica nos digestores.

Para a realização dos ensaios de AME devem ser considerados uma ampla gama de aspectos ambientais, operacionais e o aparato instrumental de quantificação e composição do biogás. Tais aspectos são citados por Monteggia (1997), Aquino *et al.* (2007) e Angelidaki *et al.* (2009) como:

- a) Ambientais: pH, temperatura, disponibilidade de nutrientes, potencial redox;
- b) operacionais:

- b.1) tipo e concentração do substrato: o substrato a ser utilizado tem como requisito servir de alimento a atividade metabólica das metanogênicas. Podem ser empregados substratos mais simples que permitam a análise da AME de ambos os grupos de bactérias metanogênicas (acetoclásticas ou hidrogenotróficas) assim como o uso de substratos mais complexos (composto por diversos tipos de resíduos orgânicos e um substrato sintético como a glicose) que possibilitem avaliar a AME de toda a associação de microrganismos anaeróbios. Em relação à concentração do substrato, é necessário que a fonte de alimento e de nutrientes esteja em excesso, fazendo com que a produção de metano seja limitada apenas pela concentração do inoculo utilizado. Ressalta-se que a caracterização dos substratos pode ser realizada através das análises de sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e/ou demanda química de oxigênio (DQO). Estudos da melhor relação alimento/microrganismo (A/M) são necessários em virtude da natureza e atividade do lodo e também da composição do resíduo pesquisado;
- b.2) aclimatação do inóculo: este procedimento consiste em deixar o lodo biológico incubando (sem a adição do substrato) por um período suficiente para eliminar a produção de biogás oriunda da respiração endógena. Monteggia (1997) recomenda que a aclimatação seja feita por um período de 6 a 12 horas nas condições do ensaio. Além da aclimatação do lodo, aconselha-se fazer testes em branco para eliminar possíveis gerações de biogás que não sejam produzidos por intermédio da degradação do substrato;
- b.3) concentração inicial do inoculo: é recomendado que a concentração inicial de lodo: para ensaios sob agitação ocorra numa faixa entre 2,0 e 5,0 g STV/L; e para ensaios sem agitação a concentração deve ser mantida próxima de 2,0 g STV/L. Segundo Rocha *et al.* (2001) a concentração de microrganismos em testes com frascos estáticos se mantém menor justamente para evitar problemas de difusão do substrato causado pela sedimentação do lodo;
- b.4) agitação: parâmetro utilizado para manter o contato constante da biomassa/enzimas com o substrato e os produtos intermediários, garantindo

assim as condições homogêneas de transferência de massa do substrato e dos nutrientes;

b.5) *headspace*: volume destinado a fase gasosa;

c) métodos de medição do biogás: os equipamentos de monitoramento da produção de biogás devem apresentar boas condições de precisão. O biogás pode ser mensurado por diferentes técnicas: volumétricas (usualmente, deslocamento de água), manométricas (medição da pressão exercida sobre um sensor acoplado ao frasco de reação) ou por cromatografia gasosa com detector de ionização de chama (FID) ou de condutividade térmica (TCD).

Para potencializar a biodegradabilidade de RSOrg em processos anaeróbios podem ainda ser aplicadas técnicas de pré-tratamento pela exposição dos resíduos a mecanismos físicos, químicos ou combinados. Destacam-se como mecanismos físicos: o tratamento térmico, ultrassom e desintegração mecânica; e químicos: a hidrólise ácida e alcalina. Estes pré-tratamentos buscam promover a conversão das substâncias mais complexas em compostos simplificados, sendo mais facilmente assimilados nas etapas subsequentes da oxidação biológica para a produção de metano. Na aplicação dessas técnicas os custos se dão em função da utilização de produtos químicos, de energia elétrica ou de combustíveis (para liberação de calor), portanto, deve ser observada a melhor relação custo/benefício para a seleção e implantação da tecnologia mais apropriada (CASSINI *et al.*, 2003).

Muitos autores relatam a dificuldade de comparação entre os resultados absolutos de AME presentes nos ensaios disponíveis, uma vez que não há uma metodologia padrão aceita em esfera internacional. Logo, observando-se o desenvolvimento de inúmeros métodos padrão e não padronizados, que se diferenciam entre si pela aplicabilidade de condições experimentais bastante adversas (ROCHA *et al.*, 2001; AQUINO *et al.*, 2007; ANGELIDAKI *et al.*, 2009).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

A área abrangida neste estudo é o bairro do Pici (Parque Universitário), localizado a oeste do município de Fortaleza-CE (Figura 6). O critério de escolha por este bairro se deve à facilidade tanto na logística para a realização das atividades de educação ambiental como pela implantação de um programa de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares (FORSD) por parte da comunidade, uma vez que a região está situada no entorno do Campus Universitário do Pici pertencente à Universidade Federal do Ceará (UFC).

Vale lembrar também que a população do Pici está constantemente envolvida nas pesquisas de caráter socioeconômicas e ambientais aplicadas por pesquisadores da UFC, proporcionando assim maior aceitação e engajamento dos moradores nos projetos desenvolvidos pela universidade.

O município de Fortaleza-CE atualmente está dividido em 07 (sete) Secretarias Executivas Regionais (SERs), que representam o papel da administração executiva do poder público municipal em setores delimitados espacialmente.

O bairro Pici está situado na área de abrangência administrativa da Secretaria Executiva Regional III (SER III), apresentando um montante de 42.494 residentes (cerca de 1,7% da população do município) que estão distribuídos em 11.871 domicílios. A área total do bairro é de 3,92 Km², compreendendo a área mais extensa e populosa da SERIII (PMF, 2014a; IBGE, 2010b).

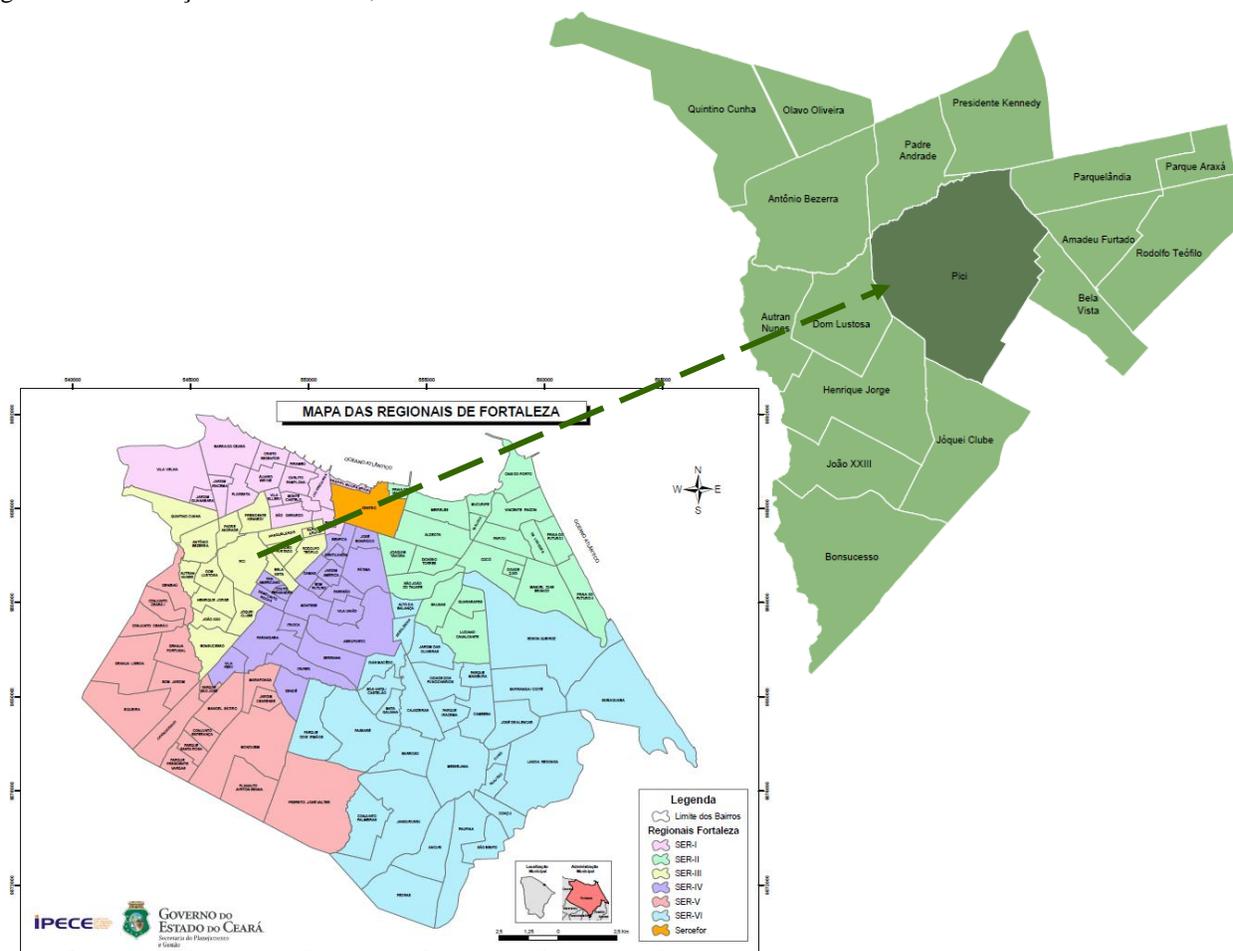
Atualmente o bairro está subdividido em duas regiões: Pici e Planalto Pici. Porém, nos documentos da Prefeitura Municipal de Fortaleza (PMF) é referenciada como um único bairro, denominado Pici conforme pode ser visto na Figura 6.

Por fim, é importante frisar que esta pesquisa ocorreu em 05 (cinco) etapas, sendo elas:

1. Desenvolvimento do programa de Educação Ambiental;
2. Caracterização física dos RSD;
3. Implantação do programa de coleta seletiva da FORSD;
4. Caracterização física e química da FORSD;

5. Ensaio de biodegradabilidade.

Figura 6 - Localização do bairro Pici, Fortaleza-CE.



Fonte: IPECE, 2013; PMF, 2014 (Modificado).

4.2 Desenvolvimento do programa de educação ambiental

As atividades de educação ambiental com a finalidade de se implantar um programa de coleta seletiva da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares no bairro Pici foram desenvolvidas em duas fases. A primeira etapa consistiu na aplicação de questionário de cunho socioambiental e na conscientização dos residentes abordados para a contribuição da parcela diária de resíduos sólidos com vistas à realização da caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares; e, no segundo momento, trabalhou-se a sensibilização para que fosse realizada a separação dos resíduos orgânicos no ponto de origem.

A aplicação do questionário socioambiental foi feita através do contato porta a porta, tendo como principais fins o conhecimento e a delimitação da área de estudo, buscando assim, sob a perspectiva da viabilidade da coleta dos resíduos, compatibilizar o quantitativo de residências amostradas com os recursos logísticos disponíveis e, ainda, criar uma aproximação com os moradores dos domicílios em estudo.

O questionário elaborado continha um total de 16 questões de múltipla escolha, incluindo temas relativos a aspectos socioeconômicos (sexo, estado civil, atividade profissional, tipo de ocupação, quantidade de residentes, nível de escolaridade e renda familiar mensal) e ambientais com ênfase na problemática dos RSU. As questões propostas foram confeccionadas sob a ótica de aspectos que se inter-relacionam com a gestão dos resíduos sólidos urbanos e baseado na formulação de perguntas de simples obtenção de respostas, considerando o nível mínimo educacional da população em questão.

Salienta-se que antes da abordagem dos domicílios foi realizado um pré-teste do questionário com intuito de redigir uma versão final do documento que contemple segundo Marconi e Lakatos (1999) *apud* Moysés e Moori (2007): precisão dos dados obtidos, independente do entrevistador; validação dos resultados; e, vocabulário acessível e de fácil compreensão das questões elaboradas.

O pré-teste do questionário teve como objetivo diagnosticar, assim como recomendado por Gil (2008), possíveis erros na redação e no *layout* do documento, causados devido à complexidade das questões; erros de compreensão e de gramática; exaustão; aplicação de perguntas desnecessárias; constrangimento e/ou intimidação do entrevistado, entre outros fatores.

Por se caracterizar de um bairro predominantemente residencial o pré-teste permitiu ainda definir o horário mais adequado para aplicação do questionário. Neste estudo foram selecionados aleatoriamente 5 residências para responderem ao questionário pré-teste. Após realização do pré-teste, o modelo definitivo do questionário foi redigido. A versão final do questionário socioambiental encontra-se disponível no APÊNDICE A.

A ação inicial de educação ambiental e a aplicação do questionário aconteceram durante os meses de fevereiro a abril de 2013. Os temas de educação ambiental abrangidos nesta primeira etapa associaram-se à:

- a) sensibilização da importância da comunidade na gestão dos resíduos sólidos urbanos;
- b) coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares, especialmente, da matéria orgânica; e,
- c) vantagens da biodigestão anaeróbia com aproveitamento energético dos resíduos orgânicos domiciliares.

O horário das abordagens com o público alvo situou-se das 09:00 às 11:00 horas, isso foi estabelecido a partir do pré-teste que foi sucedido em diferentes horários, onde se verificou que em outros intervalos de tempo não havia uma boa aceitação da população em virtude de seus compromissos diários ou ausência dos próprios residentes.

Foram abordadas no total 175 residências, sendo que apenas 162 se comprometeram a doar seu lixo, quantidade esta que foi estudada efetivamente. Essa amostra foi delimitada em função da capacidade e disponibilidade dos recursos logísticos existentes, como recursos humanos, veículo de transporte, coletores e o local disponibilizado na UFC para a caracterização física dos resíduos.

A população amostrada está distribuída em 16 logradouros do bairro Pici. No Quadro 2 segue a identificação dos logradouros compreendidos nesta pesquisa e na Figura 7 ilustra-se a distribuição espacial das residências atingidas neste projeto.

Quadro 2 - Logradouros do bairro Pici abrangidos nesta pesquisa.

Logradouro	
Rua Alagoas	R. Maranhão
R. Amaro	R. Pernambuco
R. Brasília	R. Piauí
R. Campestre	R. Pirapitinga
R. Cláudio Manoel	Travessa Pantanal
R. Departamento Joel Marques	Tv. Piaulino
R. Gonçalves Alves Rodrigues	Tv. São João
R. Iguatu	Tv. São Luís

Fonte: Autor, 2015.

Figura 7 - Distribuição espacial das residências contempladas nesta pesquisa.



Fonte: Dados cartográficos Google (2014)/Google Fusion, elaborado pelo autor.

O cronograma da segunda fase das atividades de educação ambiental aconteceu após a caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares do bairro Pici, onde foram retomadas as visitas durante os meses de julho e agosto de 2013 para conscientizar, buscar o consentimento e ensinar os residentes a segregar a FORSD, procurando assim efetuar a coleta do resíduo limpo sem a presença de materiais que inviabilizam o reaproveitamento ou dispensando a necessidade da catação de resíduos indesejados. Neste momento também foi informado aos moradores dos horários e a frequência em que as coletas estavam sendo realizadas.

Os temas de educação ambiental abordados nesta fase englobaram: a definição dos tipos de resíduos que são considerados orgânicos como restos de comidas, cascas de frutas e verduras; a conscientização para evitar o desperdício; a destinação adequada ambientalmente; a importância do reaproveitamento para fim energético; os procedimentos de segregação dos

resíduos, evitando a mistura de materiais indesejáveis; e por fim, a apresentação sucinta dos objetivos da pesquisa.

Lembrando que a sensibilização para a triagem dos resíduos orgânicos ocorreu de forma continuada durante todo o período de coleta deste material, trabalhando-se concomitantemente junto à população os procedimentos para a segregação e a motivando-a para separação na origem.

4.3 Caracterização física dos RSD do Pici

4.3.1 Amostragem e coleta

A amostragem dos RSD ocorreu nos meses de Abril, Maio e Junho de 2013, somando um total de 3 (três) campanhas, que se sucederam alternadamente nos dias regulares (segunda, quarta e sexta-feira) da coleta sistemática municipal de limpeza urbana do bairro Pici. As coletas dos RSD foram realizadas nos turnos da manhã (no horário das 07:00 às 10:00 horas) e da tarde (no horário das 14:00 às 17:00 horas), uma vez que, verificou-se a partir das respostas obtidas dos questionários que em alguns trechos a coleta sistemática dos RSU é feita pelo sistema de limpeza pública municipal no período da manhã e em outras partes à tarde.

De acordo com a Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle dos Serviços Públicos de Saneamento Ambiental (ACFOR) e a Ecofor, concessionária da PMF responsável pela Gestão de RSU, o calendário da coleta no Pici possui frequência regular nos dias de segunda, quarta e sexta-feira, com horário diurno (6:30 hs às 15:00 hs) para a região do Planalto Pici e noturno (18:00 hs às 04:00hs) para o Pici. Acrescenta-se ainda que o serviço de limpeza urbana executado no Pici inclui alguns pontos de lixo, onde inúmeros domicílios compreendidos neste estudo lançam seus resíduos. Neste último caso, a coleta é feita pela Empresa Municipal de Limpeza e Urbanização (Emlurb).

Portanto, optou-se por realizar a coleta em ambos os turnos visando garantir o recebimento de uma parcela significativa dos resíduos bem como uma maior representatividade da amostra a ser analisada. Destaca-se que as rotas de coleta dos RSD da comunidade do Pici aconteceram antes do horário em que o veículo do sistema de limpeza urbana passa recolhendo o

material, sendo considerado o horário de coleta de cada região deste bairro e a disponibilidade dos moradores.

Todas as residências deste estudo foram comunicadas previamente da possível data de recolhimento dos RSD e avisadas um dia anterior via contato telefônico.

O trecho percorrido no dia da coleta compreendeu todas as residências, de maneira que a visita foi realizada porta a porta. Para se ter uma melhor apropriação dos dados referentes à quantidade de residências e ao número de habitantes que efetivamente doaram os seus resíduos, aplicou-se um *check-list* que permitiu a obtenção fidedigna da amostra participante e, conseqüentemente, maior exatidão do resultado da variável de geração *per capita* do RSD.

Para a coleta e transporte dos RSD foram utilizados 01 (um) carro de carroceria tipo *pick-up* com capacidade de carga de 650 Kg, 02 (dois) coletores de duas rodas de 240 L e 04 (quatro) coletores de duas rodas de 120 L, conforme ilustrados na Figura 8.

Figura 8 - Veículo e coletores utilizados na coleta dos RSD.



Fonte: Autor, 2015.

4.3.2 Metodologia da caracterização física

A caracterização física dos RSD foi feita através dos seguintes parâmetros: geração *per capita* (Kg/hab.dia), composição gravimétrica (%) e peso específico aparente (Kg/m³). Nos procedimentos de pesagem dos resíduos utilizou-se uma balança de piso da marca DIGI-TRON com capacidade para $500 \pm 0,1$ Kg, com declaração de verificação do Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO).

A geração *per capita* foi determinada pela razão entre a massa total (Kg) de resíduos coletados e o número de habitantes que disponibilizaram o seu lixo. Antes de qualquer processo, todos os sacos de lixos foram pesados, permitindo assim se conhecer a massa total dos RSD. Já o número de habitantes foi determinado através da aplicação do *check list* que identificou as residências participantes por campanha de coleta. E por intermédio da variável de número de residentes do questionário foi possível levantar o total de habitantes equivalentes. Os dados da massa de lixo coletada e equivalente de indivíduos por campanha estão disponíveis na Tabela 6.

Tabela 6 - Dados gerais da coleta de RSD no bairro Pici.

Mês	Massa do resíduo (Kg)	Nº de habitantes
Abril	336,60	393
Mai	371,12	435
Junho	417,35	388

Fonte: Autor, 2015.

A análise da composição gravimétrica ocorreu por meio do método do quarteamento, que se caracteriza como uma técnica de amostragem representativa para a obtenção de alíquotas de amostras sólidas homogêneas, conforme recomendado pela ABNT nº 10.007 de 30 de novembro de 2004, que trata da amostragem de resíduos sólidos.

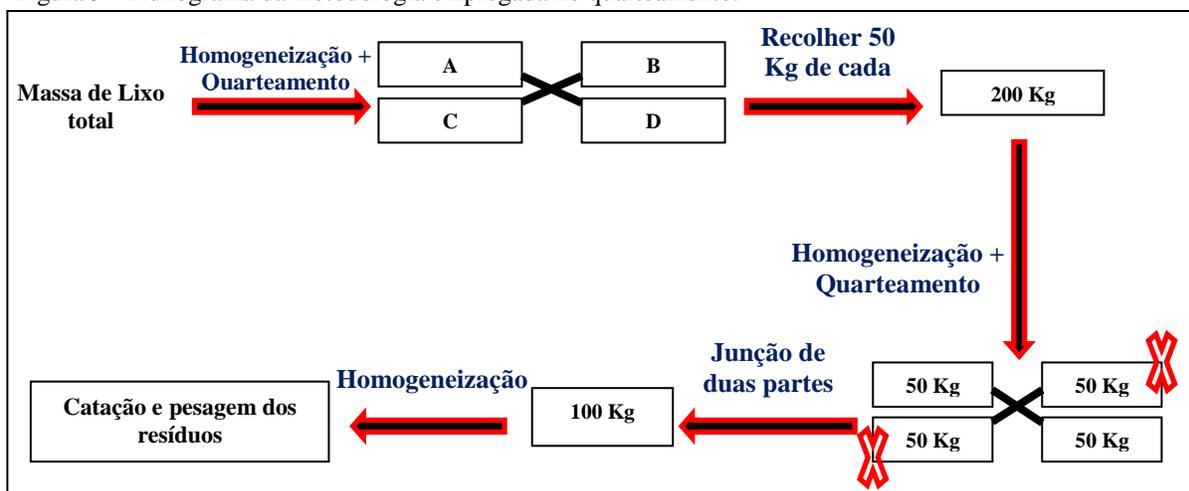
Para estimar o percentual de cada material na composição gravimétrica: primeiramente, preparou-se o terreno, colocando-se uma lona impermeabilizante sobre a área; em seguida, todos os sacos de lixo foram pesados e rasgados; homogeneizou-se, manualmente, com auxílio de pás e enxadas, toda a massa de lixo coletada para se obter uma amostragem representativa; posteriormente, a massa de lixo foi dividida em quatro partes (1º quarteamento); desse quarteamento foi retirada, aproximadamente, 50 Kg de cada monte; depois, juntou-se os quatro montes, totalizando 200 Kg; a massa de 200 Kg foi homogeneizada novamente. Efetuou-se um novo quarteamento, dividindo o monte em quatro partes iguais de 50 Kg; por fim,

descartou-se duas partes opostas e as demais foram unidas e homogeneizadas, tendo uma amostra final de aproximadamente 100 Kg, que foi utilizada na catação e pesagem dos diferentes tipos de resíduos. Nas Figuras 9 e 10 seguem o fluxograma e as imagens da metodologia utilizada no quarteamento, respectivamente.

Para este trabalho, optou-se pela classificação mais completa, envolvendo os seguintes tipos de materiais: matéria orgânica (MO); papel/papelão (PP); plástico rígido (PR); plástico maleável (PM); embalagens de polietefalato de etileno (PET); embalagens *Tetrapack* (*Tetrapack*); metal (Me); alumínio (Al); vidro (Vi); madeira (Ma); borracha (Bo); couro (Co); panos/trapos (PT); resíduos inservíveis (RIn).

Embora seja recomendado em diversas literaturas um volume de aproximadamente 1 m³ (equivalente a 400 Kg) para se fazer a gravimetria dos resíduos sólidos podem ser adotados outros valores, desde que essa decisão seja em função de circunstâncias locais específicas, do conhecimento do pesquisador e devido as peculiaridades do projeto desenvolvido (BARROS, 2012).

Figura 9 - Fluxograma da metodologia empregada no quarteamento.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 10 - Etapas da metodologia de análise da composição gravimétrica dos resíduos coletados no Bairro PICI/Fortaleza-CE.



1ª Preparação do terreno



2ª Pesagem da massa de lixo



3ª Abertura dos sacos



4ª Homogeneização



5ª Quarteamento

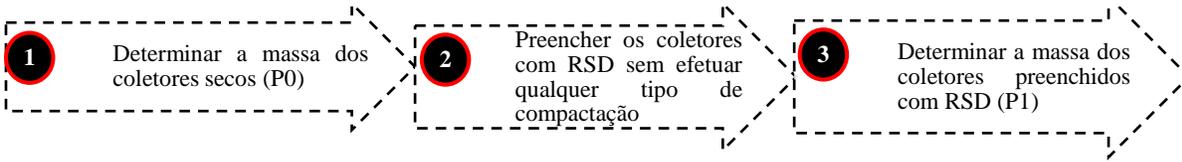


6ª Catação e pesagem por tipos de resíduos

Fonte: Autor, 2015.

Na avaliação do peso específico aparente (Kg/m^3) utilizou-se coletores de 120 L e 01 (uma) balança de piso da marca DIGI-TRON com capacidade para $500 \pm 0,1$ Kg. O procedimento metodológico para estimar o peso específico foi baseado no fluxograma mostrado na Figura 11. Vale salientar que na avaliação deste parâmetro foi aplicado o método do quarteamento e o resíduo foi analisado totalmente solto, sem evidência de qualquer compactação.

Figura 11 - Fluxo metodológico para determinação do peso específico aparente (Kg/m³)



Fonte: Autor, 2015.

A análise do peso específico aparente foi realizada em quadruplicata e o seu resultado foi estimado a partir da seguinte equação:

$$\text{Peso específico aparente} \left(\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{P1 (\text{Kg}) - P0 (\text{Kg})}{\text{Volume do coletor} (\text{m}^3)} \quad \text{Equação 1.}$$

4.4 Implantação do programa de coleta seletiva da FORSD

Conforme mencionado na Seção 4.2, a implantação do programa de segregação da fração orgânica se deu após a caracterização física dos RSD. Posteriormente as visitas porta a porta promovendo ações de educação ambiental voltadas a separação dos resíduos orgânicos na origem, foram definidas a rota, o horário e frequência da coleta.

Devido à disponibilidade do veículo empregado no transporte dos resíduos e do espaço/infraestrutura laboratorial cedidos para as análises de caracterização da fração orgânica, foi deliberado que as coletas seriam realizadas semanalmente as quartas-feiras. Não se estendeu o programa aos demais dias da semana por duas razões: limitações de logística de recursos humanos, materiais e financeiros; e por imposição da comunidade em separar o material, sendo apresentado como justificativas a falta de tempo, a ausência dos residentes ou pela baixa quantidade de resíduos orgânicos produzidos.

As coletas foram realizadas entre o período de 04/09/2013 à 11/12/2013, traduzindo-se em 15 semanas, seguindo o horário compatível com o calendário de coleta do sistema municipal de limpeza urbana (ver Seção 4.3.1). Durante as coletas da FORSD foi aplicado uma planilha de controle com o objetivo de se determinar o quantitativo de residências participantes, desistentes e contribuintes. A partir dos resultados da planilha de controle foram traçados semanalmente novos mapas de coleta e também se buscou intensificar a importância da participação dos moradores na gestão de RSU e da necessidade de separar e destinar apenas os resíduos predominantemente orgânicos.

4.5 Caracterização física e química da FORSD

Na realização de uma amostragem representativa para a caracterização física e química da FORSD foi aplicado a técnica do quarteamento. O quarteamento da FORSD ocorreu por intermédio dos seguintes procedimentos: primeiramente, preparou-se o terreno, colocando uma lona impermeabilizante sobre a área; em seguida, todos os sacos de lixo foram rasgados e homogeneizados manualmente, com auxílio de pás e enxadas; depois, a massa de lixo foi dividida em quatro partes, descartando-se dois montes opostos; os demais montes foram unidos e homogeneizados novamente; por fim, dessa parcela de lixo foi retirado uma amostra de 10 Kg para caracterização. Destaca-se que foram realizadas 05 (cinco) campanhas de amostragem.

Durante as primeiras semanas, apesar das ações de educação ambiental focadas na segregação da FORSD, foi evidenciada a existência de materiais indesejáveis, constituídos por papel, madeira, vidro e, especialmente, embalagens e sacos plásticos. A presença de resíduos indesejados despreendeu nas duas coletas iniciais da catação desses materiais para gerar um resíduo limpo e reforçando a necessidade da atividade permanente de educação ambiental para o fim proposto. Na Figura 12 pode-se visualizar os materiais que foram retirados.

Figura 12 - Catação de resíduos não biodegradáveis.



Fonte: Autor, 2015.

Na Figura 13 segue algumas ilustrações das etapas do quarteamento.

Figura 13 – Imagens dos procedimentos do quarteamento dos RSOrg.



Fonte: Autor, 2015.

No tocante a análise física e química, os RSOrg coletados foram, previamente, limpos e triturados em um liquidificador industrial (Figura 14) e, por fim, armazenados em frascos esterilizados. A limpeza dos resíduos culminou na remoção de materiais que não podiam ser triturados no liquidificador como pedaços de ossos, caroços de frutas, entre outros. O resíduo após a trituração encontrava-se na forma pastosa, assim como mostrado na Figura 15. Todas as análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Saneamento (Labosan) da UFC.

Figura 14 - Liquidificador industrial utilizado na trituração.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 15 - FORSD após trituração.



Fonte: Autor, 2015.

Neste estudo optou-se pela análise dos resíduos na forma úmida, já que nos processos de biodigestão anaeróbia necessita-se manter o sistema com umidade elevada. Proporcionando assim vantagens com a diminuição da suplementação de grandes volumes de água requeridos

para manter as condições de umidade ideal para o consórcio biológico anaeróbio e também pela economia de água no caso de se precisa realizar diluição para atender a taxa de carga orgânica aplicada.

Os RSOrg foram armazenados em frascos estéreis e acondicionados a uma temperatura entre 4°C e 10 °C. As amostras utilizadas nas análises foram realizadas pela preparação da suspensão dos resíduos em proporções da ordem de 10³ e as técnicas de conservação e preservação seguiram as diretrizes de Lima (2004) e APHA *et al.*, 2005.

As variáveis físicas e químicas adotadas na caracterização dos resíduos orgânicos são: potencial hidrogeniônico (pH); teor de umidade (TU); sólidos totais (ST), fixos (STF) e voláteis (STV); carbono orgânico total (COT); demanda química de oxigênio (DQO); fósforo total (PT); e nitrogênio total *Kjeldahl* (NTK).

A metodologia analítica (vide Quadro 3) segue as diretrizes de EPA - 9045D (2004), para a determinação de pH, de KIEHL (1998) para COT e de Lima (2004) e APHA *et al.*, (2005), para os demais parâmetros.

Quadro 3 - Metodologia analítica da caracterização física e química da FORSD.

Parâmetro	Método	Referência
pH	Potenciométrico – 9045D	EPA (2004)
TU (%)	Gravimétrico: evaporação e Secagem a 103 – 105°C.	LIMA (2004); APHA <i>et al.</i> (2005)
Sólidos totais - ST (g/Kg)		
Sólidos totais fixos – STF (g/Kg)		
Sólidos totais voláteis – STV (g/Kg)	Gravimétrico: ignição a 500 – 550°C	
Carbono Orgânico Total - % ST	Estimativa = 1,8 x % STV	KIEHL (1998)
DQO (g O ₂ /Kg)	Espectrofotométrico: digestão por refluxação fechada. Oxidação da matéria orgânica com K ₂ Cr ₂ O ₇ em meio ácido (em tubos com tampas de baquelite rosqueadas) com aquecimento a 150°C em bloco digestor.	LIMA (2004); APHA <i>et al.</i> (2005)
PT (g P-PO ₄ ³⁻ /Kg)	Espectrofotométrico de Absorção Molecular: método do Ácido Ascórbico. Digestão com (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ a 121°C em autoclave, durante 30 minutos a uma pressão entre 98 e 137 kPa.	
NTK (g N-NH ₃ /Kg)	Titulométrico: digestão seguida de destilação em Micro-Kjeldahl e titulação ácido-base.	

Fonte: Autor, 2015.

4.6 Teste de biodegradabilidade anaeróbia

Os ensaios de biodegradabilidade de tratamento anaeróbio da FORSD foram realizados de acordo com recomendações propostas por Aquino *et al.* (2007) e Angelidaki *et al.* (2009). O lodo utilizado como inóculo nos testes de AME dos resíduos orgânicos tem origem de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) de uma estação de tratamento de águas residuárias industriais de cervejaria localizada no município de Pacatuba - CE, inserido na Região Metropolitana de Fortaleza. O lodo empregado apresentava característica granular.

A seleção pelo lodo acima foi definida a partir de pesquisa realizada por Lima (2015), que analisou a atividade metanogênica específica de distintos lodos anaeróbios oriundos de diferentes tecnologias de tratamento, compreendendo lodos de tanque séptico, lodo UASB de ETE para efluentes sanitários, lodo UASB de ETE industrial de uma cervejaria e lixiviado proveniente do Aterro Sanitário Metropolitano Oeste de Caucaia (ASMOC). Lima (2015) concluiu que o inóculo que possuiu o melhor resultado de AME foi o advindo da cervejaria, registrando um valor de AME bastante elevado de 0,80 gDQO/gSTV.d. Fenômeno este que pode ser atribuído a adaptação do consórcio microbiano de lodos anaeróbios indústrias de cervejeiras a degradação de sacarídeos, presentes em elevadas concentrações nos efluentes desse tipo de indústria, logo, apresentando condições favoráveis a predominância de rotas metabólicas responsáveis pela conversão da glicose em metano (CARNEIRO, 2012; LIMA, 2015).

Na Tabela 7 está disposto a caracterização física e química do lodo utilizado neste estudo e os resultados de AME dos lodos citados por Lima (2015).

Tabela 7 - Caracterização física e química do lodo UASB de cervejaria e os resultados de AME dos lodos pesquisados por Lima (2015).

Variáveis	Resultados			
	I	II	Média	DP
pH	7,4	7,4	-	-
TU (%)	94,6	94,5	94,5	0,1
PEL (g/L)	946	985	965	27
ST (mg/L)	51040	54580	52810	2503
STV (mg/L)	28920	31120	30020	1556
AT. (mg/L)	683	661	671,7	15
AGV (mg/L)	124	114	119	7
NTK (mg/L)	1053	1169	1111	81
PT (mg/L)	513	479	496	24
DQO (mg/L)	22860	19460	21160	2404
AME (gDQO/gSTV.d)				
Lodo de tanque séptico				0,5318
Lodo UASB – ETE sanitária				0,1566
Lodo UASB – ETE industrial				0,8050
Lixiviado				0,0039

Fonte: Lima (2015).

Nos testes de biodegradabilidade foram utilizados frascos de 250 mL conforme indicado na Figura 16, previamente calibrados. O volume de *headspace* adotado foi de 30%, equivalente a 75,0 mL. Cada condição do ensaio foi analisada em triplicata para garantir uma boa reprodutibilidade e tratamento estatístico dos dados.

Figura 16 – Composição do meio de reação e frasco de 250 mL utilizado nos testes de biodegradabilidade.



Fonte: Angelidaki *et al.* (2009) e Autor, 2015, respectivamente.

Os ensaios de biodegradabilidade foram executados em duas fases:

- a) Fase I: analisou-se as condições ambientais/operacionais ótimas de produção de biogás considerando aspectos de mistura e suplementação de alcalinidade no meio de reação. Na dosagem de alcalinidade no meio de reação empregou-se como insumo químico o bicarbonato de sódio (NaHCO_3);

b) Fase II: a partir da resposta da Fase I com a melhor condição de mistura e alcalinidade, avaliou-se o efeito dos pré-tratamentos térmicos e ultrassônicos na potencialização da geração de biogás, com tempos de exposição do substrato variados. No tratamento térmico a amostra de RSOrg foi submetida a uma temperatura de 121°C e pressão de 1,0 Kgf/cm², utilizando um autoclave vertical do Fabricante MARCONI com limite de pressão máxima de 1,5 Kgf/cm². No tratamento ultrassônico a FORSD foi exposta as ondas ultrassônicas a uma frequência de 40kHz em um aparelho de Fabricante Ultracleaner, Modelo 1600A.

No Quadro 4 segue as variações das condições ótimas e dos tipos de pré-tratamentos aplicados na avaliação do cenário com maior potencial de produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia.

Quadro 4 – Definição das condições ambientais/operacionais ótimas e dos tipos de pré-tratamentos empregados.

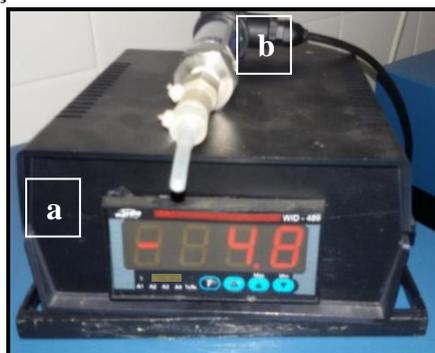
Fase	Condição	Variável
I	Mistura	Sem agitação
		Com agitação de 150 rpm
	Alcalinidade do meio de reação (Sob agitação)	Natural (Alc Nat)
		Adição de 1 g/L de NaHCO ₃ (Alc 1g/L)
		Adição 3 g/L de NaHCO ₃ (Alc 3g/L)
		Adição 5g/L de NaHCO ₃ (Alc 5g/L)
II	Pré-tratamento térmico (Sob agitação + 1 g/L de NaHCO ₃)	30 minutos (Term30)
		90 minutos (Term90)
	Pré-tratamento ultrassônico (Sob agitação + 1 g/L de NaHCO ₃)	30 minutos (US30)
		90 minutos (US90)

Fonte: Autor, 2015.

A quantificação do biogás gerado no interior dos frascos foi mensurada por método manométrico, com a utilização de um indicador universal microprocessado acoplado a um transmissor de pressão de um medidor universal da marca WARME (vide Figura 17), uma vez que foram mantidos constantes a temperatura e o volume de *headspace*, contudo o acréscimo de pressão medido no interior do recipiente correspondia ao volume de biogás produzido. O volume de biogás foi obtido pela conversão da pressão medida a partir da equação geral dos gases (Equação 2):

$$\left(\frac{P1 \times V1}{T1}\right)_{CNTP} = \left(\frac{P2 \times V2}{T2}\right)_{LAB} \quad \text{Equação 2}$$

Figura 17 - (a) Indicador universal microprocessado e (b) transmissor universal de pressão utilizados na medição do biogás gerado nos frascos de reação.



Fonte: Autor, 2015.

O biogás dos ensaios foi caracterizado e quantificado por análise de cromatografia gasosa, utilizando um cromatógrafo GC 17A, marca Shimadzu, acoplado a um detector de condutividade térmica (TCD). No Quadro 5 é especificado as condições da técnica de cromatografia gasosa aplicada na análise do biogás conforme metodologia desenvolvida e validada por Carneiro (2012).

Quadro 5 - Condições de análise do biogás no GC-TCD.

Parâmetros GC-TCD	
Modo de injeção	<i>Splitless</i>
Volume de injeção (mL)	1
Temperatura do injetor (°C)	40
Gás de arraste	He
Fluxo na coluna (mL/min)	0,7
Temperatura do forno (°C) ^a	50
Temperatura do detector (°C)	200
Tempo de corrida (min)	5

Fonte: CARNEIRO, 2012.

Nota: ^a Programação de temperatura isotérmica.

A metodologia dos ensaios de biodegradabilidade seguiu os seguintes procedimentos:

- a) Caracterizar inicialmente a FORSD e o lodo mediante variáveis físicas e químicas conforme metodologias descritas nos Quadros 3 e 6, respectivamente;
- b) separar e identificar os frascos de reação de volume de 250mL. Realizar este procedimento em triplicata;
- c) diluir o inóculo para atingir uma concentração inicial de 3,0 g STV/L (valor situado na faixa de concentração recomendada para testes de AME sob agitação);
- d) preparar a suspensão de RSORg para atingir uma concentração inicial de DQO próxima de 1,5 g/L, de modo a atender uma relação A/M 0,5 que se mostrou como

- condição ótima conforme estudo realizado por Lima (2015) avaliando a AME do lodo em questão em relações de A/M de 0,5 e 1,0;
- e) adicionar os volumes determinados das soluções de lodo e substrato nos frascos de reação devidamente identificados, destaca-se que o volume da mistura (lodo + substrato + água) deverá ocupar 70% da capacidade do frasco (175,0 mL), já que 30% se constitui do *headspace*;
- f) completar com água destilada para alcançar o volume da mistura de 175,0 mL. Embora seja recomendado adicionar solução contendo macronutrientes e micronutrientes para evitar limitações do crescimento microbiano pela indisponibilidade ou carência de nutrientes, no ensaio optou-se apenas pelo acréscimo de água visto que a mistura do RSOrg com o lodo poderia proporcionar os requisitos nutricionais em quantidades suficientes;
- g) ajustar o pH da solução basal numa faixa entre 6,5 e 7,5;
- h) separar uma alíquota do meio de reação para caracterização física e química durante a etapa inicial do ensaio conforme parâmetros apontados no Quadro 6;

Quadro 6 - Metodologia analítica empregada na caracterização física e química do lodo e do meio de reação.

Parâmetro	Método	Referência
pH	Potenciométrico	APHA <i>et al.</i> (2005)
Alcalinidade total – AT. (mg CaCO ₃ /L)	Titulação potenciométrica: titulação de neutralização com H ₂ SO ₄	
Ácidos Graxos Voláteis – AGV (mg Hác./L)	KAPP	KAPP (1984) <i>apud</i> Ribas, Moraes e Foresti (2007)
TU (%)	Gravimétrico: evaporação e Secagem a 103 – 105°C	APHA <i>et al.</i> (2005)
Sólidos totais (mg/L)		
Sólidos totais fixos – STF (mg/L)		
Sólidos totais voláteis – STV (mg/L)	Gravimétrico: ignição a 500 – 550°C	
DQO (mg O ₂ /L)	Espectrofotométrico: digestão por refluxação fechada. Oxidação da matéria orgânica com K ₂ Cr ₂ O ₇ em meio ácido (em tubos com tampas de baquelite rosqueadas) com aquecimento a 150°C em bloco digestor	
PT (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	Espectrofotométrico de Absorção Molecular (Método do Ácido Ascórbico): digestão com (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ a 121°C em autoclave, durante 30 minutos a uma pressão entre 98 e 137 kP	
NTK (mg N-NH ₃ /L)	Titulométrico: digestão seguida de destilação em Micro-Kjeldahl e titulação de neutralização com H ₂ SO ₄	

Fonte: Autor, 2015.

- i) lacrar devidamente os frascos de reação, evitando a fuga do biogás durante o teste;
- j) remover o O₂ no interior do frasco, purgando-o com um gás inerte, neste caso a purga foi feita com N₂ grau FID por 1 minuto. Certificar-se de que a pressão no interior do frasco seja igual à atmosférica (1 atm);
- k) incubar os frascos a 35°C, sob agitação a 150 rpm. Para incubação foi utilizado um *shaker* orbital, de fabricante Marconi e modelo MA-420 (Figura 18);

Figura 18 - Frascos incubados a 35°C, sob agitação de 150 rpm.



Fonte: Autor, 2015.

- l) monitorar a produção de metano diariamente por um período suficiente para cessar ou estabilizar a produção de biogás;
- m) após cessar a produção de biogás, coletar amostras para realizar as análises físicas e químicas do meio de reação, em final de teste, através dos parâmetros citados no Quadro 6;

O valor de AME pode ser calculado através da Equação 3:

$$AME = \frac{\frac{V_{CH_4}}{t}}{FC \times STV \times \frac{V_{mist}}{1000}} \quad \text{Equação 3}$$

Em quê:

AME = Atividade metanogênica específica (gDQO-CH₄/gSTV.d)

V_{CH₄} = volume de metano produzido durante todo o experimento (mL);

FC = fator de conversão estequiométrico (390 mL de CH₄/g DQO_{rem});

STV = teor de sólidos totais voláteis do inóculo (g/L).

4.7 Tratamento estatístico dos dados

Na caracterização física e química da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares do bairro Pici foram realizados testes estatísticos de análise de variância (Anova) e análises de significância entre as médias das características analíticas e das amostras (teste de Tukey). Depois, aplicou-se análise de componentes principais (PCA) para analisar as relações entre as variáveis medidas e o agrupamento entre as amostras das coletas, através da redução dimensional dos dados, em que foi possível observar as variáveis analíticas e temporais que proporcionaram maior variância dentro da caracterização da FORSD.

Já nos ensaios de biodegradabilidade, a análise estatística buscou determinar o efeito das diferentes condições operacionais e dos tipos de pré-tratamento que mais influenciou no tratamento dos resíduos orgânicos (eficiência na remoção de DQO) e na produção de biogás. Para isso utilizou-se análise estatística de distribuição da normalidade dos dados pelo teste de Shapiro Wilk; em seguida, foi efetuada a Anova, que segundo Borges e Chernicharo (2009) permitem avaliar se determinado fator produz mudanças em uma variável de interesse; e, por fim, o teste de Tukey para avaliar se houve diferença significativa entre as médias.

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk, também chamado de teste W, é utilizado no cálculo de uma variável estatística W para determinar se os dados amostrais ou experimentais estão normalmente distribuídos. Nesse caso, devem ser formuladas duas hipóteses: a H_0 , onde se assume que os dados provêm de uma distribuição normal; ou H_1 que indica que os dados não seguem a uma distribuição normal (CANTELMO; FERREIRA, 2007; SCUDINO, 2008). Neste trabalho, para o teste W adotou-se um nível de significância do teste (α) = 0,05, mais usual (TORMAN; COSTER; RIBOLDI, 2013). Lembrando que no ensaio de biodegradabilidade para se estimar o efeito da agitação não foi empregado o teste W devido à existência apenas do universo de dados (n) = 2, impossibilitando efetuar comparações.

Já a análise de variância (Anova) foi empregada com a finalidade de se comparar as diferenças entre os resultados médios de três ou mais tratamentos entre si, onde os dados da estatística de Anova são mensurados em escala intervalar ou de razões (AYRES *et al.*, 2007; GIRARDI; CARGNELUTTI FILHO, STORCK, 2009).

Ao realizar a estatística de Anova, torna-se necessário testar a hipótese de igualdade entre as médias de todos os tratamentos (H_0) a um nível de significância (α) pré-estabelecido. Ao

rejeitar H_0 à α e “sendo os tratamentos com mais de dois níveis e de natureza qualitativa, análises complementares como testes de comparações múltiplas de médias” podem ser efetuadas, a fim de se conhecer quais tratamentos apresentaram diferença significativa (GIRARDI; CARGNELUTTI FILHO, STORCK, 2009). Neste caso, realizou-se o Teste de Tukey para averiguar quais níveis de confiança possuem dispersões expressivas entre as médias, pela comparação das médias duas a duas (CANTERI *et al.*, 2001). Para o teste de Anova e Tukey foi assumido um intervalo de confiança de 95%.

A Análise Componentes Principais (PCA) está entre as principais técnicas de análise multivariada dos dados. Atua como uma ferramenta de análise exploratória, revelando a existência ou não de amostras anormais, de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre amostras (LIRA *et al.*, 2010).

A PCA se baseia em quanto mais características similares as amostras apresentarem mais próximas elas se encontram em espaço multidimensional. É um procedimento estatístico que usa transformações ortogonais para converter um conjunto de observações de variáveis possivelmente correlacionadas em uma combinação linear não correlacionada chamada de componentes principais (*Principal Component – PC*). Na PCA as primeiras componentes principais explicam a maior parte da variância total da matriz de dados (NAPOLEÃO *et al.*, 2011). Essa ferramenta simples gera uma representação gráfica, que permite identificar os agrupamentos entre as amostras que resultam de comportamentos similares ou características distintas (MINGOTI, 2005).

Os dados gerados foram processados para análise estatística multivariada pelo *software* estatístico livre R Project, versão 3.1.1 (10/07/2014), *Copyright (C) 2014 The R Foundation for Statistical Computing*. Plataforma: i386-w64-mingw32/i386 (32-bit) (R CORE TEAM, 2013).

Segundo R Core Team (2013), o programa R está disponível como *software* livre sob os termos da GNU *General Public License* em forma de código-fonte da *Free Software Foundation*. Ele compila e roda em uma ampla variedade de plataformas UNIX e sistemas similares, Windows e MacOS.

Os demais resultados desta pesquisa foram organizados e tabulados em planilhas do *Microsoft Office Excel*, versão 2007.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise das características socioambientais da população do bairro Pici

Na Tabela 8 segue o quantitativo das respostas obtidas para as questões socioeconômicas, assim como a distribuição das respostas encontradas para as alternativas de cada questão abordada.

Tabela 8 - Resultados das condições socioeconômicas da população do bairro Pici amostrada nesta pesquisa.

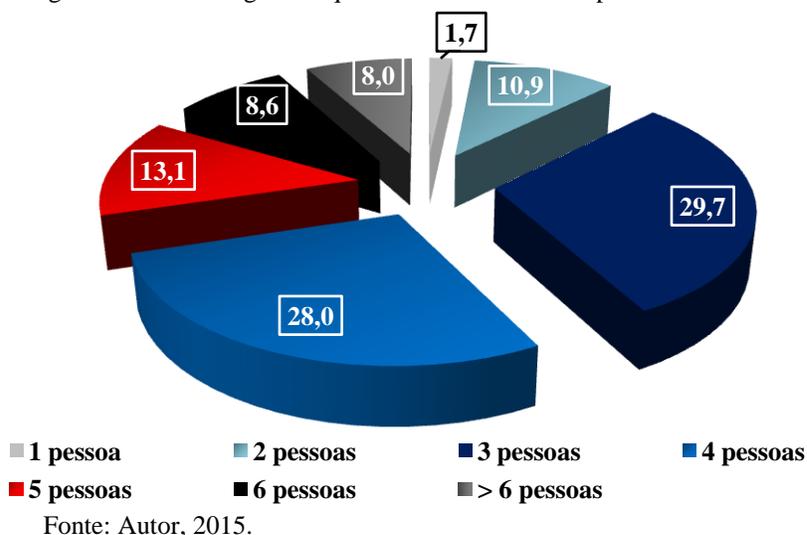
Tema	Alternativa	Resultados	%	Residências abordadas (Quant.)	Respostas obtidas (%)	Não responderam (%)
Sexo	Feminino	130	74,3	175	100,0	0,0
	Masculino	45	25,7			
Estado Civil	Solteiro (a)	47	26,9	175	99,4	0,6
	Casado (a)	106	60,6			
	Divorciado (a)	8	4,6			
	Viúvo (a)	13	7,4			
Tipo de ocupação	Alugada	20	11,4	175	98,9	1,1
	Própria	153	87,4			
	Financiada	0	0,0			
	Outros	0	0,0			
Atividade profissional	Aposentado (a)	14	8,0	175	85,7	14,3
	Autônomo (a)	16	9,1			
	Comerciante	7	4,0			
	Doméstica	7	4,0			
	Dona de casa	55	31,4			
	Estudante	5	2,9			
Quantidade de residentes	1 pessoa	3	1,7	175	100,0	0,0
	2 pessoas	19	10,9			
	3 pessoas	52	29,7			
	4 pessoas	49	28,0			
	5 pessoas	23	13,1			
	6 pessoas	15	8,6			
	> 6 pessoas	14	8,0			
Escolaridade	Sem escolaridade	15	8,6	175	88,0	12,0
	1º Grau Incompleto	49	28,0			
	1º Grau Completo	21	12,0			
	2º Grau Incompleto	15	8,6			
	2º Grau Completo	44	25,1			
	Ensino Superior	6	3,4			
Renda familiar mensal	<2 Salários mínimos	45	25,7	175	66,3	33,7
	2-3 Salários mínimos	50	28,6			
	3-4 Salários mínimos	14	8,0			
	4-5 Salários mínimos	2	1,1			
	5-6 Salários mínimos	5	2,9			
	6-7 Salários mínimos	0	0,0			
	> 7 Salários mínimos	0	0,0			

Fonte: Autor, 2015.

Observa-se na Tabela 8 que os entrevistados são majoritariamente do sexo feminino (74,3%), constituídos principalmente por mulheres que não possuem vínculo empregatício e que exercem apenas as atividades do lar (31,4%). Ainda no quesito atividade profissional, destacam-se numericamente as pessoas que são consideradas autônomas (9,0%) e os aposentados (8,0%), somando-se 30 entrevistados. Cerca de 26% informaram que exercem outros tipos de profissões, desempenhando seu trabalho em lugares externos à sua moradia, o que poderá ter ocasionado limitações quanto a sua participação no desenvolvimento desta pesquisa.

Na Figura 19 é indicada a distribuição do número de habitantes por residência.

Figura 19 - Porcentagem da quantidade de habitantes por residência.



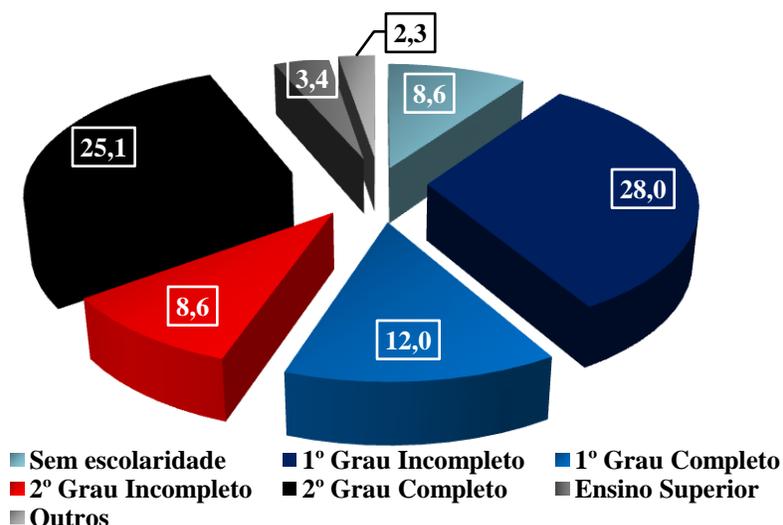
A maioria dos domicílios é de propriedade dos moradores, representados por uma parcela de 87,4%. Sendo que de acordo com a Figura 19 cerca de 70,3% das residências são ocupadas por até 4 pessoas, onde mais da metade dos domicílios são resididos por 3 e 4 pessoas, composto por uma quantia de 52 e de 49 residências, respectivamente.

Ressalta-se que o fato dos entrevistados apresentarem como condição socioeconômica predominante serem do sexo feminino, donas de casa ou aposentados, casados, morarem em casa própria e quase todos os domicílios ocupados contém mais de um morador, contribuem de forma bastante positiva na implantação do programa diferenciado de coleta de resíduos sólidos. Tal afirmativa é justificada devido ao público em questão ter como situação uma moradia estável, disponibilidade de tempo para realizar a segregação e acondicionamento dos

resíduos e pela possibilidade de se ter no ato da coleta do material pelo menos um dos residentes no local.

Na Figura 20 é demonstrado o nível de escolaridade dos entrevistados.

Figura 20 - Porcentagem do nível de escolaridade dos entrevistados.

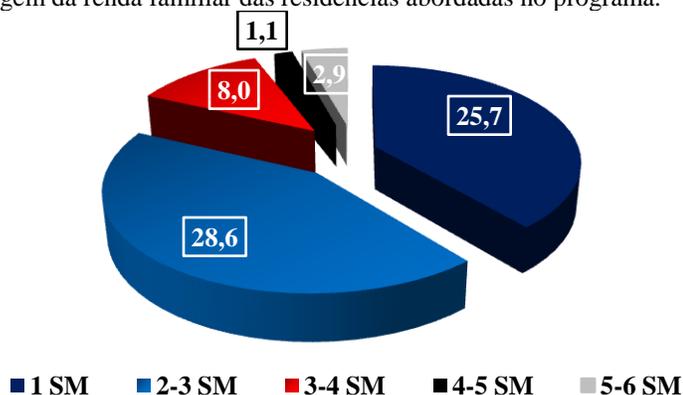


Fonte: Autor, 2015.

Em relação nível de escolaridade (Figura 20), observou-se o baixo nível educacional dos entrevistados, sendo que: 8,6% não são alfabetizados, 28% tem 1º grau incompleto, 12% com 1º grau completo e 8,6% com 2º grau incompleto, ou seja, dos 175 entrevistados 100 não atingiram sequer o ensino médio. Somente 25,1% concluíram o ensino médio. E apenas 10 residentes abordados cursaram ou estão cursando o ensino superior, atingindo um contingente de apenas 5,7% de todo o público entrevistado. Levando em consideração toda a população do bairro Pici, a taxa de pessoas não alfabetizadas, segundo o Censo do IBGE de 2010, é de 8,23% (que corresponde exatamente a 2.945 habitantes), percentual semelhante ao deparado na Tabela 8.

Encontra-se na Figura 21 os dados referentes à renda familiar mensal das residências amostradas.

Figura 21 - Porcentagem da renda familiar das residências abordadas no programa.



Fonte: Autor, 2015.

Quanto ao aspecto econômico, constatou-se certo receio ao se questionar sobre a renda familiar mensal, sendo obtido apenas 66,7% de respostas. Para Gil (2008) questões relacionadas a temas políticos ou econômicos podem causar temor para o respondente, isso pelo pensar de que o entrevistador possa interferir na condição política ou econômica do participante.

De acordo com a classificação social proposta pelo IBGE, baseada na quantidade de salários mínimos (SM) que compõe a renda familiar mensal (vide Tabela 9), notou-se que a maioria das famílias envolvidas pertence às classes sociais mais baixas, com 36,6% inserido na classe D e 25,7% na classe E. Logo sinalizando que maior parte da população amostrada possui condição socioeconômica característica de regiões menos desenvolvidas.

Tabela 9 - Critério de classificação social da população de acordo com o IBGE para o ano de 2013.

Classes	Renda familiar mensal (Salários mínimos)	Renda familiar mensal (R\$)
A	Acima de 20 SM	Acima de R\$13.560,00
B	10 a 20 SM	De R\$ 6.780,00 a R\$ 13.559,00
C	4 a 10 SM	De R\$ 2.712,00 a R\$ 6.779,00
D	2 a 4 SM	De R\$ 1.356,00 a R\$ 2.711,00
E	Até 2 SM	Até R\$ 1.355,00

Fonte: IBGE, 2013.

Tal assertiva corrobora-se pela posição ocupada do bairro Pici na classificação geral do Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) dos bairros de Fortaleza, segundo levantamento realizado pela prefeitura municipal em 2010 (ANEXO A – IDH dos bairros de Fortaleza 2010).

Conforme levantamento do IDH dos bairros de Fortaleza em 2010 – realizado por meio da metodologia proposta pela Organização das Nações Unidas, que leva em consideração as

dimensões de renda, educação e longevidade - o Pici ocupou a posição de nº 100 do total de 119 bairros existentes, com um valor de 0,219, que se traduz em um resultado crítico já que o IDH varia de 0 a 1 (quanto mais próximo de 1 melhor o nível de desenvolvimento humano, e mais próximo de 0 indica o pior grau). A base de dados utilizados na pesquisa do IDH por bairros foi retirada do Censo de 2010 (PMF, 2014b).

Como reflexo do reduzido desenvolvimento humano do bairro em questão, este se caracteriza como uma das áreas da SER III com os maiores índices de violência e de criminalidade (PMF, 2011).

Na Tabela 10 segue o quantitativo das respostas obtidas para as questões ambientais, assim como a distribuição das respostas encontradas para as variáveis de cada questão abordada.

Tabela 10- Resultados das condições socioeconômicas da população do bairro Pici amostrada nesta pesquisa.

Tema	Alternativa	Resultados	%	Residências abordadas (Quant.)	Respostas obtidas (%)	Não responderam (%)
Você se preocupa com a proteção do meio ambiente?	Meio ambiente (preocupam-se)	174	99,4	175	100,0	0,0
	Meio ambiente (não se preocupam)	1	0,6			
Que medidas você pratica para ajudar na preservação do meio ambiente na sua moradia? ¹	Economia de água	78	44,6	175	85,7	14,3
	Destina corretamente o lixo	107	61,1			
	Coleta seletiva	44	25,1			
	Participação de programas de EA	0	0,0			
	Separação de óleo	5	2,9			
	Plantio de árvores	4	2,3			
	Economia de energia	6	3,4			
Outros	1	0,6				
Você costuma fazer separação do lixo em seu domicílio?	Separação do lixo - Sim	98	56,0	175	100,0	0,0
	Separação do lixo - Não	77	44,0			
Em caso da resposta anterior positiva, o que você faz com o lixo segregado? ²	Catador	82	83,7	98	93,9	6,4
	PEVs	0	0,0			
	Troca	3	3,1			
	Reaproveitamento	1	1,0			
	Outros	6	6,1			
	Não responderam	6	6,1			
Qual o destino que você dá o lixo produzido em sua residência?	Limpeza municipal	167	95,4	175	95,4	4,6
	Queima	0	0,0			
	Terrenos baldios	0	0,0			
	Corpos d'água	0	0,0			
	Outros	0	0,0			

Fonte: Autor, 2015.

Observação: ¹Questão de múltiplas respostas; ²Nº total de amostras (residências abordadas) equivale à somatória dos domicílios que fazem separação do lixo.

Na Tabela 10 verifica-se que 99,4% dos moradores entrevistados mostraram se preocupar com a realização de práticas voltadas a proteção do meio ambiente. Apesar dos

residentes afirmarem que se preocupam com o meio ambiente, só 85,7% indicaram que efetuam alguma(s) ação(ões) no seu dia-a-dia que se caracteriza como uma prática sustentável.

Dessa porção, 107 residências informaram que destinam os RS de forma adequada (aproximadamente 61%). Salienta-se que o índice de cobertura do sistema de limpeza urbana aponta que 99,78% (n = 11.845) (consultar Tabela 11) dos domicílios do Pici têm seus resíduos coletados (IBGE, 2010b) e nesta pesquisa 95,4% (n = 167) dos domicílios relataram que dispõem seus resíduos para a coleta feita pelo sistema de limpeza municipal, ou seja, verificou-se a falta de informação e de conhecimento da população sobre o tema, gerando certa imprecisão dos resultados para o questionamento das atividades desenvolvidas na preservação ambiental, uma vez que, 167 residências destinam corretamente seus resíduos e não apenas 107.

Tabela 11 - Destinação dos resíduos sólidos urbanos do bairro Pici, Fortaleza-CE (levantamento realizado em 2008).

Destino do lixo bairro Pici (Parque Universitário) - Fortaleza - CE		
Total	11.871	100,0%
Coletado	11.845	99,8%
Coletado por serviço de limpeza	10.727	90,4%
Coletado em caçamba de serviço de limpeza	1.118	9,4%
Queimado (na propriedade)	5	0,0%
Enterrado (na propriedade)	-	-
Jogado em terreno baldio ou logradouro	18	0,2%
Jogado em rio, lago ou mar	2	0,0%
Outro destino	1	0,0%

Fonte: IBGE, 2010b.

Cerca de 5% dos entrevistados não souberam informar qual o destino era dado para o lixo produzido, acreditando que dentro dessa parcela podem existir moradores que dispõem seus resíduos de forma ambientalmente inadequada pela queima e/ou lançamentos em terrenos baldios/logradouros/corpos d'água. Esta ação insustentável é constatada pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, onde 25 dos 11.871 domicílios do Pici ainda possuem a prática comum da disposição imprópria dos seus resíduos. Relata-se ainda, durante as visitas de campo, foi diagnosticado o descarte indevido dos RSU (Figura 22), inclusive na área de abrangência deste estudo, evidenciando-se a queima dos resíduos e o lançamento em terrenos baldios/logradouros.

Figura 22 - Disposição inadequada dos RSU (queima e descarte em logradouros) evidenciada nos meses de outubro e novembro de 2013 no bairro Pici (áreas situadas dentro da área de abrangência da pesquisa).

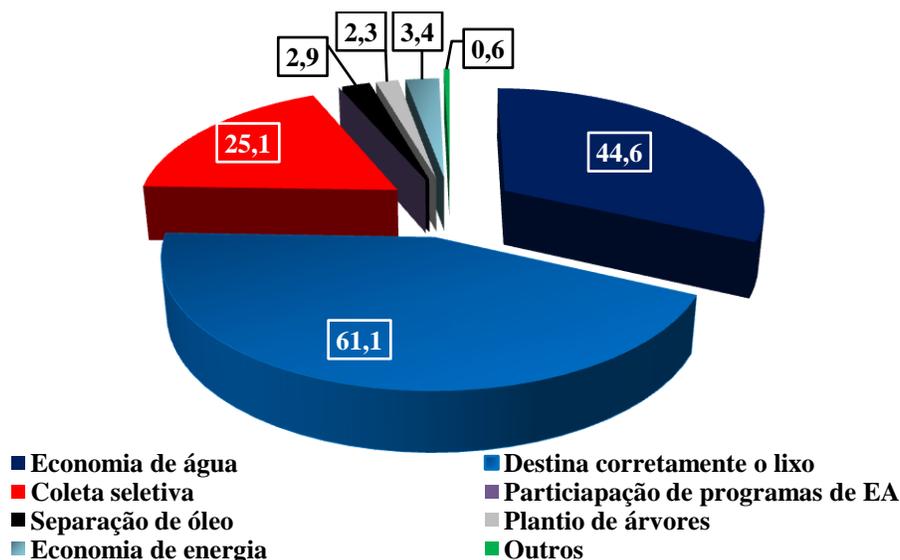


Fonte: Autor, 2015.

Cinquenti (2004), Besen *et al.* (2010), Silva e Liporone (2011) alertam que a disposição final ambientalmente imprópria dos resíduos sólidos provoca sérios danos à saúde pública e ao meio ambiente, acarretando assim: a desfiguração estética dos centros urbanos; a contaminação do solo, dos corpos d'água e da atmosfera; a intensificação das enchentes pela obstrução das galerias de drenagem pluvial; a proliferação de vetores com consequente disseminação de doenças; e, até mesmo, potencializa os riscos à saúde dos agentes de materiais recicláveis pelas condições insalubres da catação em vias públicas.

Na Figura 23 são ilustradas as atividades praticadas pela população do bairro Pici na preservação ambiental.

Figura 23 – Porcentagem das ações praticadas para auxiliar na preservação do meio ambiente.



Fonte: Autor, 2015.

Ainda em relação às medidas de preservação ambiental (Figura 23), 25,1% executam a segregação dos resíduos recicláveis; 44,6% fazem economia de água, entretanto constatou-se que a causa desta ação não é em virtude do benefício ambiental, mas principalmente para reduzir o valor do imposto cobrado pela companhia de abastecimento de água. As outras ações ambientais verificadas (cerca de 10%) se referem à coleta de óleo usado, economia de energia e cuidado com as plantas e jardins.

Nas Figuras 24 e 25 seguem os dados que fazem alusão às residências que fazem segregação dos seus resíduos e os tipos de destinação que lhe são dados, respectivamente.

Figura 24 - Porcentagem da quantidade de residências que fazem ou não separação dos resíduos na origem.

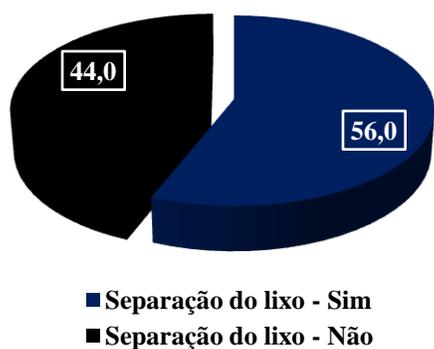
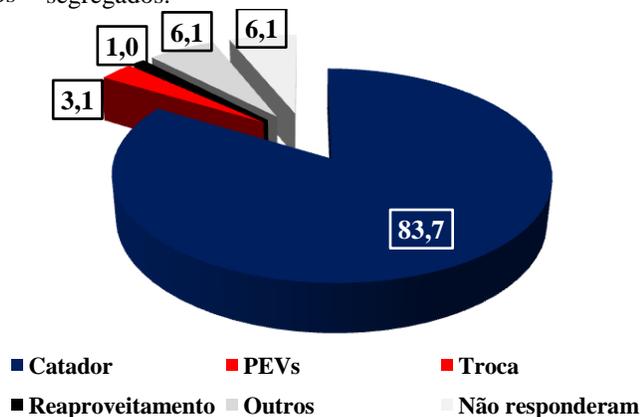


Figura 25 - Porcentagem do destino dados aos resíduos segregados.



Fonte: Autor, 2015.

No tocante à separação dos resíduos na origem, pode-se identificar na Figura 24 que 56% (n = 98) confirmaram que fazem algum tipo de segregação do lixo, principalmente, dos resíduos passíveis de reciclagem. Das 98 residências que segregam os resíduos, um percentual de 83,7% (n = 82) (conforme apontado na Figura 25) afirmou que o material separado é destinado aos catadores. Porém, muitos dos moradores advertiram que não entregam os resíduos segregados diretamente aos agentes de reciclagem, logo estes materiais são deixados na calçada e recolhidos pelo catador através da catação porta a porta. Caso este agente não consiga passar antes do horário do transporte público de limpeza urbana, os resíduos recicláveis são recolhidos e destinados juntamente com os rejeitos ao aterro sanitário.

É importante frisar que os catadores do bairro Pici não estão integralizados a uma cooperativa ou associação de catadores, pertencendo assim à categoria que é usualmente denominada de catadores de rua, que executam a “coleta dos resíduos em sacos de lixo dispostos pela população na rua, pelo comércio local ou pelas indústrias, tendo sua própria carroça ou qualquer outro transporte adaptado para carga” (SIQUEIRA; MORAES, 2009). Este perfil de catador está mais susceptível aos riscos de higiene e saúde ocupacional devido à exposição direta com os resíduos que, muitas vezes, estão misturados e oferecem maiores riscos de contaminação.

Ferreira e Anjos (2001) asseguram que os riscos de contaminação não estão restritos somente aos catadores, mas também a toda população que se relaciona com esse público:

Ao remexerem os resíduos vazados, à procura de materiais que possam ser comercializados ou servir de alimentos, os *catadores* estão expostos a todos os tipos de riscos de contaminação presentes nos resíduos, além dos riscos à sua integridade física por acidentes causados pelo manuseio dos mesmos e pela própria operação do vazadouro. Esta população, que normalmente vive próxima aos vazadouros, serve de vetor para a propagação de doenças originadas dos impactos dos resíduos, uma vez que parte da mesma trabalha em outras localidades, podendo transmitir doenças para pessoas com quem mantém contato.

Cabe destacar, em contrapartida da existência dos catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis em logradouros e lixões, que a PNRS/2010 preconiza sua integração nas ações que envolvam a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos como também o incentivo à criação e ao desenvolvimento de cooperativas ou de outras formas de associação. Buscando assim promover sua inclusão social e emancipação econômica. Magni e Günther (2014) enfatizam que a organização dos catadores em cooperativas apresenta como benefícios:

[...] a relevância a inclusão social dos catadores, como premissa básica para a promoção da saúde de tais agentes. Além de promover ganhos reais no aumento de renda, ora para além de ganhos inerentes ao aumento de renda, estável e constante, que possibilita aos catadores viverem em melhores condições – desde alimentação, passando por condições salubres de higiene, acesso a remédios, etc., todos elementos identificados por catadores cooperados quando da presente pesquisa – há de se considerar que a inclusão promovida pela entrada destes trabalhadores em uma cooperativa organizada traz um outro ganho, qual seja, melhores condições ambientais no trabalho.

5.2 Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares

Os resultados encontrados para a geração *per capita* dos RSD, da amostra populacional do bairro Pici, estão contidos na Tabela 12.

Tabela 12 - Produção per capita dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE (2013).

Período	Massa total da amostra (Kg)	Equivalente populacional (hab.)	Geração <i>per capita</i> (Kg/hab.dia)
abr/13	336,60	393	0,86
mai/13	371,12	435	0,85
jun/13	417,35	388	1,08
Média	375,02	405	0,93

Fonte: Autor, 2015.

Observa-se que a produção *per capita* média foi de 0,93 Kg/hab.dia, valor inferior ao encontrado para a geração diária de resíduos sólidos urbanos (RSU) no Brasil em 2013, que apresentou 1,04 Kg/hab.dia (ABRELPE, 2013). Já em Fortaleza, considerada a quinta capital mais populosa e com maior densidade demográfica do país, os resultados para a geração de resíduos domiciliares/comerciais e de RSU em 2011 foram de 0,66 e 1,94 Kg/hab.dia, respectivamente (PMF, 2012). Firmeza (2005), analisando a caracterização física dos RSD de Fortaleza no ano de 2004, encontrou uma produção *per capita* de 0,49 Kg/habitante para o Pici; contudo na Regional III teve-se uma geração *per capita* média dos bairros de 0,56 Kg/hab.dia.

A produção *per capita* de RSD do bairro Pici foi bem superior ao valor obtido para os resíduos domiciliares/comerciais em Fortaleza no ano de 2011, para o bairro Pici e a Regional III em 2004. Tal fato se justifica pelo elevado % de MO (55,9%, em média), que foi acima dos valores indicados nas referências citadas, e também devido ao grande volume acumulado de recicláveis doados pelos residentes.

O resultado obtido da geração *per capita* nesta pesquisa esteve abaixo dos valores encontrados nos cenários municipal e nacional, pois se refere apenas à caracterização dos RSD. E já os dados nos cenários municipal e nacional fazem referência a caracterização dos RSU.

Conforme Oliveira *et al.* (2004), alguns constituintes dos resíduos sólidos urbanos não são inerentes às substâncias descartadas pelas atividades domésticas, como os resíduos originados dos serviços de limpeza urbana e de estabelecimentos comerciais, que também são considerados na estimativa da geração per capita dos RSU.

Os valores do peso específico aparente dos RSD do bairro Pici obtidos nesta pesquisa estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13 - Peso específico aparente dos RSD do bairro Pici, Fortaleza-CE.

Período	Peso específico aparente (Kg/m³)	DP
abr/13	119	13,76
mai/13	191	13,01
jun/13	157	19,13
Média	156	15,30

Fonte: Autor, 2015.

O peso específico aparente médio dos RSD da área em estudo foi de 156 Kg/m³, conforme mostrado na Tabela 13. Vale ressaltar que os domicílios da região são caracterizados como pequenos geradores de acordo com a Lei Municipal 8.408 de 24 de dezembro de 2009, estabelecendo que:

Art. 1º - O produtor de resíduos sólidos cujo peso específico seja maior que 500 Kg (quinhentos quilogramas) por m³ (metro cúbico), ou cuja quantidade produzida exceda o volume de 100 l (cem litros) ou 50 Kg (cinquenta quilogramas), por dia, e que seja proveniente de estabelecimentos domiciliares, públicos, comerciais, industriais e de serviços, será denominado grande gerador e responsável pelos serviços de acondicionamento, coleta, armazenamento, transporte, tratamento e destinação final, que deverá custeá-las (PMF, 1999).

O município de Fortaleza apresenta um peso específico aparente médio de RSU de 183,6 Kg/m³ e na Regional III este dado corresponde a 181,8 Kg/m³, realidade um pouco acima à encontrada nesta pesquisa. Porém, em nível nacional este parâmetro é utilizado com densidade média de 250 Kg/m³, muito superior aos resultados encontrados a nível local (PMF, 2012).

Resende *et al.* (2013) analisando o peso específico dos RSU no município de Jaú, localizado a 300 Km da capital de São Paulo, obteve um resultado médio de 136,2 Kg/m³ em 2010, estando um pouco abaixo ao do bairro Pici, isso pode ser justificado devido ao percentual de MO que se mostrou inferior (49,4%) ao deste estudo.

Acredita-se que a significativa parcela de material reciclável coletado pode ter influenciado no baixo valor do peso específico aparente dos resíduos analisados, principalmente,

durante o mês de abril quando foram coletados mais resíduos recicláveis compostos por embalagens mais volumosas. Para Rocha e Aguiar (2012), o peso específico é influenciado pela composição gravimétrica dos RSU, sendo que maior proporção de resíduos orgânicos tendem a elevar o peso específico, no entanto maior proporção de recicláveis ocupa maior volume e menor peso.

Destaca-se ainda que o resíduo recolhido não sofreu qualquer processo de redução ou compactação, diferenciando de inúmeras pesquisas que recolheram diretamente em aterros sanitários após transporte em caminhão compactador. As diferenças entre os resultados podem ser justificadas ainda pelas distintas metodologias adotadas na determinação do peso específico aparente entre essas pesquisas.

Na Tabela 14 são apresentados os percentuais de cada tipo de resíduo durante os meses de abril, maio e junho de 2013. E na Figura 26, visualiza-se os resultados médios da composição gravimétrica.

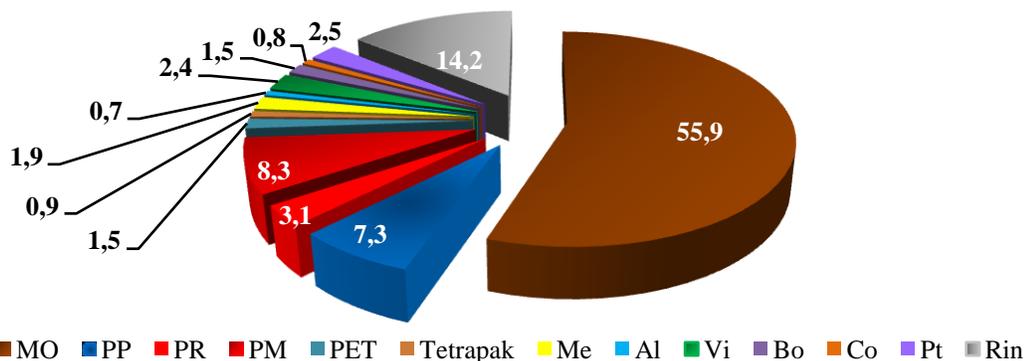
Tabela 14 - Resultados da composição gravimétrica dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE, no período de abr-jun/2013.

Mês/Tipo de material	COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA (%)												
	MO	PP	PR	PM	PET	Tetrapak	Me	Al	Vi	Bo	Co	Pt	RIn
abr/13	52,2	6,0	4,2	7,4	2,0	0,9	3,2	0,3	2,7	1,8	0,8	1,2	17,3
mai/13	60,4	6,3	3,4	8,6	1,2	0,9	1,3	1,1	1,8	1,2	-	4,0	9,9
jun/13	55,1	9,6	1,8	9,0	1,3	0,8	1,3	0,7	2,8	-	-	2,3	15,4
Média	55,9	7,3	3,1	8,3	1,5	0,9	1,9	0,7	2,4	1,5	0,8	2,5	14,2

Fonte: Autor, 2015.

Legenda: MO – matéria orgânica; PP – papel/papelão; PR – plástico rígido; PM – plástico maleável; PET – politereftalato de etileno; Tetrapak; Me – metal; Al – Alumínio; Vi – vidro; Bo – borracha; Co – couro; Pt – panos e trapos; RIn – resíduos inservíveis.

Figura 26 - Composição gravimétrica média dos RSD do bairro Pici, Fortaleza - CE, no período de abr-jun/2013.



Fonte: Autor, 2015.

Os resultados médios da gravimetria (Figura 26) mostraram que a maior porção dos RSD do Pici foi de matéria orgânica (MO) com 55,9%. Em seguida, detiveram-se os percentuais médios para os seguintes materiais: 8,3% de plástico maleável (PM); 7,3% de papel/papelão (PP); 3,1% de plástico rígido (PR); 1,5% de embalagens de polietefalato de etileno (PET); 0,9% de embalagens *Tetra Park*; 14,2% de inservíveis. Destaca-se que o mês de maio apresentou o maior resultado de MO (60,4%), valor este que pode ser explicado pelo peso específico aparente que foi o maior também neste mês com 191 Kg/m³, uma vez que, a matéria orgânica ocupa menos espaço e uma massa mais elevada quando comparado aos recicláveis. Quanto aos materiais recicláveis (papel, metal, plástico e vidro) foi registrado um teor médio de 26,2%.

Nota-se que o percentual de MO, de recicláveis e de rejeitos apresentaram resultados não similares quando comparado a estudos de caracterização física dos resíduos em Fortaleza. Oliveira e Mota (2010), avaliando a composição dos resíduos sólidos domiciliares depositados no Aterro Sanitário de Caucaia/CE, encontraram um valor médio em termos de MO (47,5%) e rejeitos (6,4%) menor, enquanto o de resíduos recicláveis foi superior com 40,1%. Em nível regional, Firmeza (2005) analisando a Regional III determinou resultados não tão próximos com 46,49% de MO; 1,20% de Me; 4,39 de PP; 1,74% de PT. Entretanto tomando como análise comparativa o cenário nacional, a estimativa de MO e de rejeitos constada no Plano Nacional de Resíduos Sólidos tiveram índices de RSU de 51,4% e 16,7%, respectivamente, estando próxima à referida neste estudo.

Diante dos resultados mostrados na Tabela 14, verificou-se uma porcentagem de mais de 50% de matéria orgânica. Sendo isso também observado em outros trabalhos como o realizado em Vitória-ES por Braga, Nóbrega e Henrique (2000) que obtiveram 53,10% de MO dos RSD e também na cidade de Cáceres-MT em que a composição gravimétrica realizada por Alcântara (2010) obteve 60,45% de MO dos RSU. Para Pereira Neto (2007), o desperdício de alimentos no Brasil tem se mostrado uma prática habitual, com uma taxa em torno de 64% de resíduos orgânicos dispostos em aterros ou lixões.

Oliveira *et al.*, (2004) e Campos (2012) destacam que o aspecto de maior influência na geração *per capita* e na composição dos resíduos sólidos urbanos é o econômico, que está diretamente associado ao nível de desenvolvimento da região, uma vez que, países desenvolvidos apresentam maiores quantidades de recicláveis e países em desenvolvimento detêm maior quantidade de matéria orgânica.

Por exemplo, a Escócia, em estudo analítico da produção de RSU nos anos de 2008/09, teve como principal componente o papel/papelão com 21% e, em seguida, os resíduos orgânicos com apenas 18% do total de RSU (WASTESWORK; AEA, 2010). E a Inglaterra, em levantamento realizado nos anos de 2006/07, deteve somente 24,1% de matéria orgânica e, em segundo, o papel com 19,4% dos RSD (PARFITT; BRIDGWATER, 2010). Os resultados de matéria orgânica da Escócia e da Inglaterra incidem em menos da metade do valor encontrado no Brasil (51%).

É importante ressaltar que a análise comparativa da composição gravimétrica entre alguns trabalhos pode ser bastante questionável devido à empregabilidade de metodologias diferenciadas, contemplando áreas com características sociais, econômicas e culturais peculiares ou ainda pela grande variabilidade na classificação adotada.

Foi constatada ainda a prática da disposição irregular pela população do bairro Pici de resíduos perigosos como produtos eletroeletrônicos, pilhas, lâmpadas fluorescentes e seringas (Figura 27). De acordo com a PNRS (2010) os resíduos perigosos são “aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica”.

Figura 27 - Disposição inadequada de resíduos sólidos perigosos.



Fonte: Autor, 2015.

Deve-se levar ainda em consideração que os trabalhadores dos sistemas de limpeza urbana, assim como os catadores de lixo, estão vulneráveis a possíveis acidentes que possam ocorrer no ato da catação e coleta dos sacos ou dos recipientes de armazenamento que possam conter resíduos perigosos. A exposição se dá notadamente: pelos riscos de acidentes de trabalho

(gerados pela falta de capacitação técnica e pela ausência ou negligência do uso dos equipamentos de proteção individual, entre outros); pelas condições inadequadas de trabalho; e pelos riscos de contaminação química ou biológica, através do contato direto ou indireto (FERREIRA; ANJOS, 2001; VELLOSO, 2005).

Ainda segundo a PNRS, os resíduos perigosos (como pilhas e baterias, produtos eletroeletrônicos, pilhas, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens), após uso pelo consumidor, devem retornar a cadeia produtiva por meio da estruturação e implementação de sistemas de logística reversa.

5.3 Programa de coleta segregada da FORSD

A evolução do programa de coleta segregada da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares do bairro Pici foi monitorada durante o período de setembro a dezembro de 2013, contemplando um total de 15 campanhas com frequência semanal. Lembrando que o recolhimento dos resíduos sólidos orgânicos ocorreu às quartas-feiras, conforme explicações já relatadas.

As variáveis acompanhadas na análise do programa de coleta inferem-se na quantidade de residências participantes, nas que doaram seus resíduos e naquelas que desistiram do programa. Na Tabela 15 estão apresentados os dados referentes à coleta segregada da FORSD.

Tabela 15 - Acompanhamento das residências que participaram, doaram e desistiram do programa de coleta seletiva da FORSD.

Data	Semana	Participação (unid.) - %	Doação (unid.) - %	Desistência (unid.)
04.09	1º	157 – 90%	34 -19%	13
11.09	2º	144 – 82%	49 – 28%	5
18.09	3º	139 – 79%	59 – 34%	7
25.09	4º	132 – 75%	48 – 27%	5
02.10	5º	127 – 73%	61 – 35%	4
09.10	6º	123 – 70%	58 – 33%	5
16.10	7º	118 – 67%	54 – 31%	2
23.10	8º	116 – 66%	60 – 34%	7
30.10	9º	109 – 62%	58 – 33%	1
06.11	10º	108 – 62%	57 – 33%	0
13.11	11º	108 – 62%	56 – 32%	2
20.11	12º	106 – 61%	52 – 30%	0
27.11	13º	106 – 61%	55 – 31%	0
04.12	14º	106 – 61%	58 – 33%	0
11.12	15º	106 – 61%	58 – 33%	2

Fonte: Autor, 2015.

Antes de iniciar as coletas dos resíduos orgânicos foi registrada a desistência de 05 domicílios. Apesar das ações prévias de sensibilização, esse número de desistentes alegou a indisponibilidade de tempo para realizar a segregação dos restos de alimentos.

Na 1ª semana, como era início desta etapa, houve uma baixa doação, tendo apenas 34 domicílios contribuindo. Houve também um número de desistências elevadas (total de 13). Dessa vez, as desistências não foram somente pela falta de tempo, mas também por ter havido um grupo pequeno de famílias que habitavam casas alugadas e mudaram de endereço.

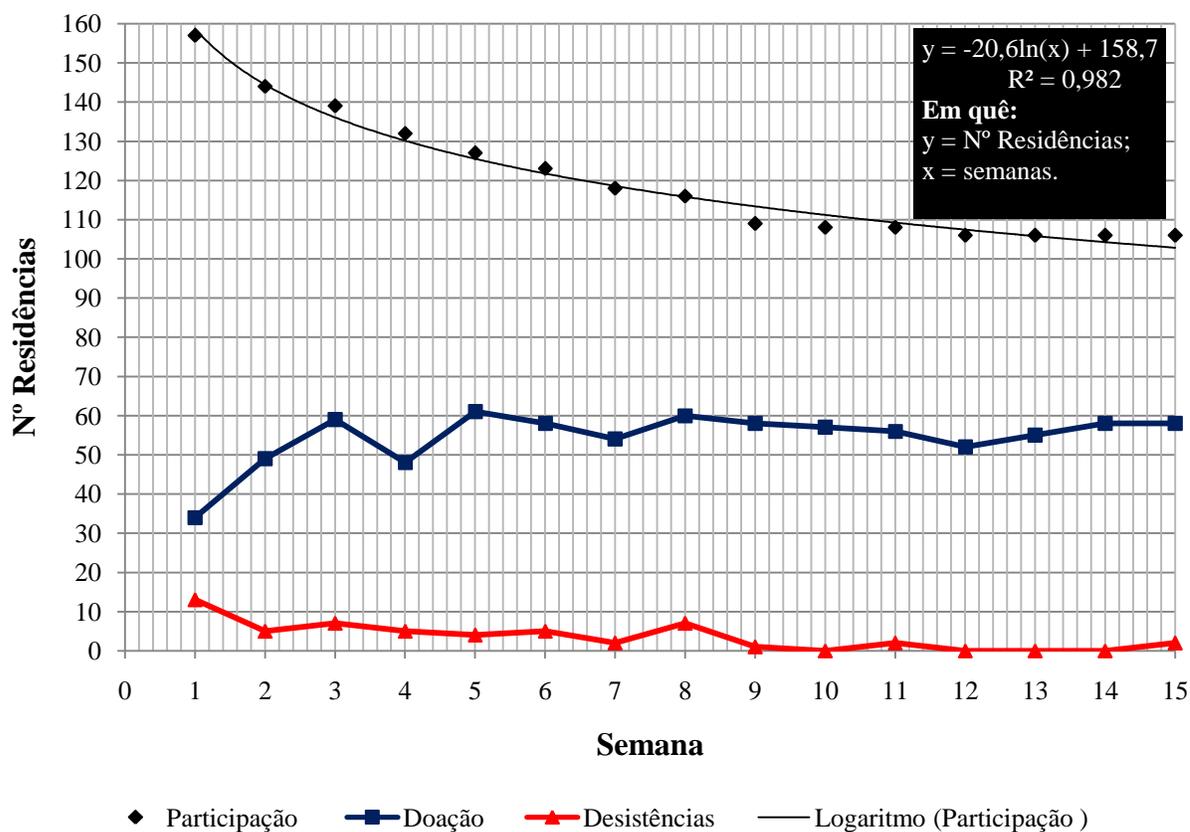
Nas demais semanas a doação ficou variando entre 48 e 61 domicílios, com uma tendência levemente crescente, assim como pode ser visualizado na Figura 28. Já para o mesmo período as desistências se mantiveram mais baixas com uma média de 3 domicílios por semana, tendo se a partir do dia 30/10/2013 um número reduzido que deixaram de participar e apontando que as desistências estavam cessando.

No tocante a participação dos domicílios, nota-se que até a 9ª semana a tendência foi acentuadamente decrescente e depois dessa semana a participação dos moradores se manteve praticamente constante (Figura 28). No final do período teve a participação em potencial de 61% (n= 106) das residências, com a contribuição efetiva na doação da FORSD de 33% (n = 58) das famílias. Tais resultados mostram-se satisfatórios vistos o engajamento e a representatividade dos domicílios no programa de segregação da FORSD.

Na Figura 28, observa-se que os resultados das residências em participação se ajustaram a uma curva logarítmica, com valor do coeficiente de determinação (R^2) próximo da unidade igual a 0,9820. Nesse caso, 98,20% da variação do número de residências em participação é explicada pelo tempo em semanas do desenvolvimento do programa de coleta seletiva. Na Figura 28, pode-se visualizar ainda a equação da curva que serve para prever possíveis desistências.

Houve uma redução percentual na participação de 40%, estacionando em um patamar de 105 residências participando, indicando deste modo a necessidade de se intensificar as ações de sensibilização, sobretudo nas primeiras semanas, uma vez que as atividades de educação ambiental aconteceram apenas durante os dias de coleta.

Figura 28 - Linha de tendência da evolução das residências que participaram, doaram e desistiram do programa de coleta seletiva da FORSD.



Fonte: Autor, 2015.

Barbosa e Guardagnin (2010) e Barros e Fernandes (2011) - estudando a evolução dos programas de coleta seletiva de recicláveis e da fração orgânica dos RSD no bairro de São José, situado no município de Sombrio-SC, e no município de Ibiporã-PR, respectivamente - relataram que para se obter um desempenho satisfatório nos programas de coleta seletiva deve haver um desenvolvimento continuado das campanhas de educação ambiental, de modo a conscientizar a comunidade da importância de se praticar a separação na origem, sanar suas dúvidas a respeito do sistema alternativo de coleta e mostrar os benefícios sociais e ambientais proporcionados pela coleta seletiva de recicláveis e orgânicos.

Enfatiza-se ainda que essas atividades de mobilização social devem acontecer até que esse novo hábito seja assimilado pela população (BARROS, FERNANDES, 2011), focando não apenas em uma ação isolada mas também na concepção do senso crítico do papel de cada

indivíduo no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos e até mesmo na construção de uma sociedade com premissas para o desenvolvimento sustentável.

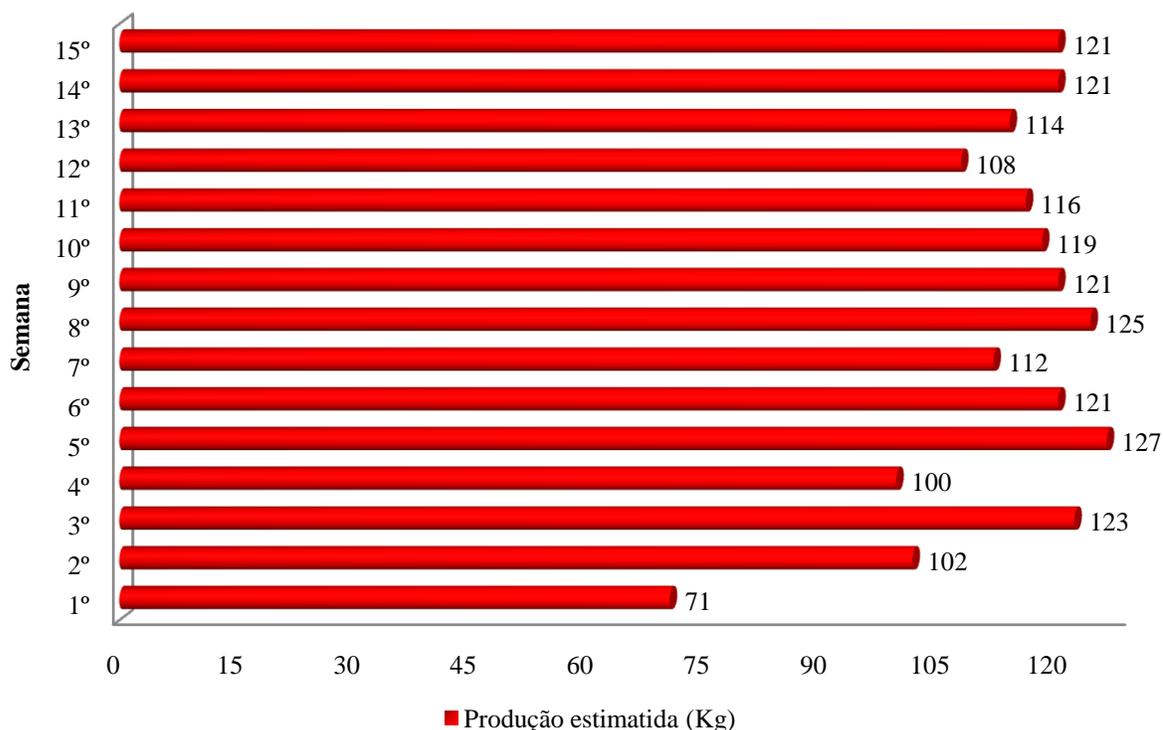
Outra diretriz importante na implantação de um sistema de coleta seletiva é o de se criar e aplicar permanentemente uma sistemática de acompanhamento da evolução dos resultados desse programa, já que:

[...] muitas vezes falhas ocorrem porque o impulso inicial não é mantido por tempo suficiente para a sua evolução no longo prazo. É preciso também verificar a adequação da aplicação de recursos e os benefícios obtidos. Um dos motivos do fracasso de muitos programas é o descrédito da população, dos políticos e de muitos técnicos em relação a programas anteriores, que não tiveram sucesso de longo prazo. O acompanhamento quantitativo dos resultados pode contribuir sobremaneira nesta função (AGUIAR; PHILIPPI Jr., 2001).

Cabe ressaltar que o acompanhamento quantitativo dos resultados aponta as limitações técnicas, financeiras e operacionais do sistema de coleta diferenciado, logo permitindo que os atores responsáveis possam intervir de forma concomitante à coleta através do desenvolvimento de medidas de conscientização e melhorias do atendimento e/ou cobertura do programa.

Na Figura 29 é indicada a massa coletada estimada da FORSD (Kg) por campanha. Para a estimativa da produção da FORSD por campanha foi considerado: a média de 4 pessoas por residência, a geração *per capita* de 0,93 Kg/hab.dia e a composição de matéria orgânica de 55,9%, conforme valores deparados neste estudo.

Figura 29 - Massa coletada estimada da FORSD (Kg) por campanha.



Fonte: Autor, 2015.

Em termo de quantidade da FORSD coletada (vide Figura 29), a quantidade da massa estimada de resíduos na 15ª semana foi de 121 Kg. Considerando que o sistema de limpeza pública recolhe o lixo da comunidade do Pici três vezes na semana e uma participação de 33% dos domicílios envolvidos, seria possível recolher através desse programa, se fosse estendido aos demais dias da coleta sistemática, uma massa de aproximadamente 1,5 ton/mês que mostra a viabilidade de se estruturar um sistema piloto voltado ao tratamento da FORSD via biodigestão anaeróbia.

Ampliando a estimativa para todas as residências do bairro Pici ($n = 11.871$) - com cobertura de 33% e admitindo a média de 4 pessoas por domicílios, os dados médios de geração *per capita* e composição gravimétrica encontrados nesta pesquisa - seria possível coletar mensalmente cerca de 8 ton/dia de resíduos sólidos domiciliares orgânicos.

5.4 Caracterização física e química da FORSD

Na Tabela 16 são apresentados os principais parâmetros da caracterização física e química da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares amostrados para serem utilizados na preparação do substrato para os ensaios de biodegradabilidade.

Tabela 16 - Caracterização física e química da fração orgânica dos RSD do bairro Pici.

Variáveis	Data da amostragem					Média	DP
	SET04	SET18	OUT17	NOV07	DEZ04		
pH	4,53	4,26	4,27	4,44	4,72	-	-
TU (%)	71,82	74,95	74,67	76,57	71,76	73,95	2,10
ST (g/Kg)	281,8	250,6	253,3	234,4	282,5	260,5	21,0
STF (g/Kg)	20,7	15,3	16,4	19,5	25,9	19,5	4,2
STV (g/Kg)	261,1	235,3	236,9	214,9	251,3	239,9	17,6
% ST	28,18	25,05	25,33	23,44	28,24	26,05	2,10
% STF (Em relação aos ST)	7,31	6,10	6,48	8,32	9,17	7,48	1,28
%STV (Em relação aos ST)	92,69	93,90	93,52	91,68	88,96	92,15	1,98
%COT (Em relação aos ST)	51,49	52,17	51,96	50,93	49,42	51,19	1,10
NTK (g N-NH ₃ /Kg)	4,7	3,5	3,0	5,9	1,0	3,6	1,9
% NTK (Em relação aos ST)	1,68	1,39	1,17	2,53	0,35	1,43	0,79
PT (g P-PO ₄ ³⁻ /Kg)	2,90	2,21	2,66	0,64	0,51	1,78	1,13
% PT (Em relação aos ST)	1,03	0,88	1,05	0,27	0,18	0,68	0,42
DQO (g O ₂ /Kg)	217,60	186,60	147,60	198,60	225,90	195,26	30,80
Relação C/N	31	38	44	20	139	54	48

Fonte: Autor, 2015.

Pode-se observar na Tabela 16 que o pH do resíduo apresentou características ligeiramente ácidas, com valores de pH entre 4,26 e 4,72. Leite *et al.* (2004) avaliando a caracterização física e química de amostras de resíduos orgânicos de origem vegetal, originados de centrais de abastecimento e feiras livres, encontrou um resultado de pH semelhante ao determinado nesta pesquisa com valor de 4,6. Portanto, evidencia-se que o pH do resíduo está situado abaixo da faixa ótima para o tratamento em processos anaeróbios, que é estabelecida entre 5,5 e 8,5 (REICHERT, 2005).

Quanto ao teor de umidade, a FORSD do bairro Pici apresentou um percentual de aproximadamente 74%, sendo 26% constituído de matéria sólida. Dessa parcela sólida, maior parte é da fração volátil correspondendo a 92,15% ± 1,98, que se constitui de matéria orgânica putrescível. Silva *et al.* (2009b) registrou teor de umidade para os resíduos sólidos orgânicos

domiciliares das áreas urbanas dos municípios de Cabaceiras, Caraúbas e Queimadas – PB bem similar ao apontado neste estudo, com valor médio de 75,27%. Todavia o %STV do trabalho realizado por Silva *et al.* (2009b) esteve muito abaixo, com média de 78,94%, o que mostra que o resíduo orgânico domiciliar do bairro Pici é altamente biodegradável. Fato este justificado pela elevada concentração de DQO do resíduo, estando em média igual a 195,26 g O₂/Kg.

As concentrações de nutrientes mostraram uma variação bastante significativa entre os períodos amostrados. O nitrogênio deteve em média 1,43% ± 0,73, com um desvio padrão elevado, e o fósforo total apresentou concentrações que variaram entre 0,51 g P-PO₄³⁻/Kg e 2,90 g P-PO₄³⁻/Kg. No bairro universitário da cidade de Criciúma – SC, os resíduos sólidos orgânicos tiveram resultado médio de nitrogênio total de 1,82%, variando de 1,45% a 2,71%, tais valores deduzem que a matéria orgânica amostrada possuía maior parte dos resíduos oriundos de origem vegetal (TROMBIN *et al.*, 2005). Portanto, verifica-se que as concentrações de nutrientes sofrem influência direta do percentual de vegetais na composição da fração dos resíduos orgânicos domiciliares, ou seja, quanto maior o teor de nutrientes maior a quantidade de resíduos sólidos de origem vegetal.

A relação C/N esteve predominantemente acima da recomendada para a digestão anaeróbia por diversos autores (entre 20-30). Apenas nos dias 04/set e 07/nov foram obtidos valores situados no limite dessa faixa com relações de 31 e 20, respectivamente. Destaca-se que na amostragem de 04/dez o valor encontrado para C/N foi cerca de 4,6 vezes maior ao limite máximo recomendado, o que está associado ao baixo resultado de NTK que foi de 0,35%, enquanto que o teor de COT manteve-se alto com 49,42%.

Estudos realizados por Trombin *et al.* (2005) e Silva *et al.* (2009) detiveram valores da relação C/N, para resíduos sólidos orgânicos domiciliares, dentro da faixa com relações de 25 ± 0,82 e 21,50 ± 2,35, respectivamente. Tais resultados se diferenciam dos valores de C/N dos resíduos orgânicos analisados neste estudo, já que no caso a média C/N foi de 54 ± 48, causado, em especial, pela variância registrada na concentração de nitrogênio total entre as amostras analisadas.

Já Liu *et al.* (2012) analisando a relação C/N de resíduos alimentares e resíduos de vegetais e frutas encontraram resultados de 17,4, estando abaixo da relação ótima. A baixa relação C/N se deu devido à maior disponibilidade de nitrogênio nas amostras de resíduos de

alimentares e vegetais que apresentaram 2,8% e 2,4% de N, respectivamente, percentuais estes que foram superiores ao valor médio de NTK apontado na Tabela 16.

Para se conhecer a variância e a dispersão entre as médias para cada parâmetro analisado aplicou-se teste de Anova e de TUKEY, respectivamente, permitindo assim determinar a heterogeneidade da composição da FORSD entre os períodos de coleta amostrados.

Na Tabela 17, que contém a estatística da análise de variância, percebe-se que a um nível de significância de 5% é admitida a hipótese nula apenas para os STV e o COT, mostrando que não houve diferença entre as médias para as amostras analisadas. Enquanto que para os demais parâmetros (pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N) pode-se rejeitar a hipótese de igualdade entre as médias, o que leva a indicar que há diferenças significativas das médias entre as campanhas de coleta.

Tabela 17 - Resultado da análise de variância (Anova) dos parâmetros físicos e químicos da FORSD.

Variável	Soma quadrado	Quadrado médio	Estatística F	p-valor
pH	0,2937	0,07342	21,47	0,00239
Resíduo	0,0171	0,00342		-
TU	35,34	8,834	39,37	0,000569
Resíduo	1,12	0,224		-
ST	35,34	8,834	39,37	0,000569
Resíduo	1,12	0,224		-
STF	13,394	3,348	6,933	0,0284
Resíduo	2,415	0,483		-
STV	30,89	7,722	3,715	0,0913
Resíduo	10,39	2,079		-
COT	9,714	2,429	3,898	0,084
Resíduo	3,115	0,623		-
PT	1,4341	0,3585	125,4	0,0000337
Resíduo	0,0143	0,0029		-
NTK	5,012	1,253	48,27	0,000348
Resíduo	0,130	0,026		-
DQO	7591	1898	17,74	0,00371
Resíduo	535	107		-
Relação C/N	19007	4752	53,57	0,00027
Resíduo	444	89		-

Fonte: Autor, 2015.

Aplicando-se o teste de Tukey para os parâmetros de STV e COT, com intervalo de confiança de 95%, obtiveram-se os resultados constantes da Tabela 18.

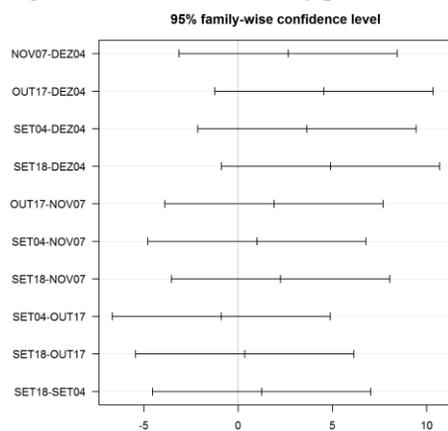
Tabela 18 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de STV e COT entre os períodos de amostragens.

Variável	Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
STV	NOV07-DEZ04	2,650	-3,13408360	8,434084	0,4450362
	OUT17-DEZ04	4,550	-1,23408360	10,334084	0,1154893
	SET04-DEZ04	3,650	-2,13408360	9,434084	0,2203793
	SET18-DEZ04	4,900	-0,88408360	10,684084	0,0904166
	OUT17-NOV07	1,900	-3,88408360	7,684084	0,6945979
	SET04-NOV07	1,000	-4,78408360	6,784084	0,9494951
	SET18-NOV07	2,250	-3,53408360	8,034084	0,5726759
	SET04-OUT17	-0,900	-6,68408360	4,884084	0,9645782
	SET18-OUT17	0,350	-5,43408360	6,134084	0,9989514
	SET18-SET04	1,250	-4,53408360	7,034084	0,8977619
COT	NOV07-DEZ04	1,550	-1,61629480	4,716295	0,3938679
	OUT17-DEZ04	2,550	-0,61629480	5,716295	0,1070116
	SET04-DEZ04	2,100	-1,06629480	5,266295	0,1926104
	SET18-DEZ04	2,750	-0,41629480	5,916295	0,0830354
	OUT17-NOV07	1,000	-2,16629480	4,166295	0,7201759
	SET04-NOV07	0,550	-2,61629480	3,716295	0,9487027
	SET18-NOV07	1,200	-1,96629480	4,366295	0,592472
	SET04-OUT17	-0,450	-3,61629480	2,716295	0,9741274
	SET18-OUT17	0,200	-2,96629480	3,366295	0,9987604
	SET18-SET04	0,650	-2,51629480	3,816295	0,9125389

Fonte: Autor, 2015.

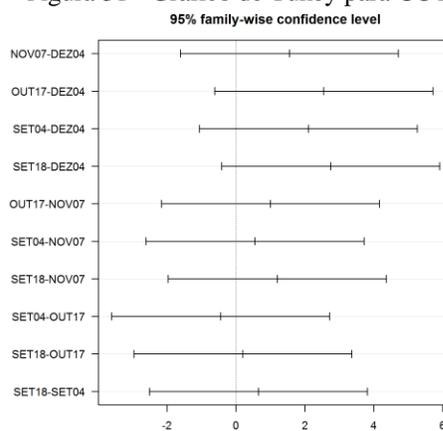
A Tabela 18 confirma o resultado da estatística de Anova, comprovando a igualdade entre as médias de STV e de COT entre todas as coletas, pois os valores do teste tukey em todos os intervalos de confiança foram superiores ao nível de significância adotado ($p\text{-valor} > 0,05$). Nas Figuras 30 e 31 é possível observar graficamente que todos os intervalos sobrepõem a diferença igual a zero, corroborando, mais uma vez, que as médias são semelhantes.

Figura 30 - Gráfico de Tukey para STV.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 31 - Gráfico de Tukey para COT.



Fonte: Autor, 2015.

Na Tabela 19 encontra-se os resultados do teste de Tukey para os parâmetros de pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N, adotando-se intervalo de confiança de 95%.

Tabela 19 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N entre os períodos de amostragens.

Variável	Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
pH	NOV07-DEZ04	-0,275	-0,50959588	-0,040404	0,0269486
	OUT17-DEZ04	-0,445	-0,67959588	-0,210404	0,0033381
	SET04-DEZ04	-0,185	-0,41959588	0,049596	0,1145737
	SET18-DEZ04	-0,460	-0,69459588	-0,225404	0,0028663
	OUT17-NOV07	-0,170	-0,40459588	0,064596	0,1490955
	SET04-NOV07	0,090	-0,14459588	0,324596	0,5832494
	SET18-NOV07	-0,185	-0,41959588	0,049596	0,1145737
	SET04-OUT17	0,260	0,02540412	0,494596	0,0336897
	SET18-OUT17	-0,015	-0,24959588	0,219596	0,9987001
SET18-SET04	-0,275	-0,50959588	-0,040404	0,0269486	
TU	NOV07-DEZ04	4,805	2,90480000	6,705200	0,0008701
	OUT17-DEZ04	2,910	1,00980000	4,810200	0,0087278
	SET04-DEZ04	0,065	-1,83520000	1,965200	0,9998893
	SET18-DEZ04	3,190	1,28980000	5,090200	0,0058076
	OUT17-NOV07	-1,895	-3,79520000	0,005200	0,0505152
	SET04-NOV07	-4,740	-6,64020000	-2,839800	0,0009283
	SET18-NOV07	-1,615	-3,51520000	0,285200	0,0894248
	SET04-OUT17	-2,845	-4,74520000	-0,944800	0,0096341
	SET18-OUT17	0,280	-1,62020000	2,180200	0,9706457
SET18-SET04	3,125	1,22480000	5,025200	0,0063674	
ST	NOV07-DEZ04	-4,805	-6,70520034	-2,904800	0,0008701
	OUT17-DEZ04	-2,910	-4,81020034	-1,009800	0,0087278
	SET04-DEZ04	-0,065	-1,96520034	1,835200	0,9998893
	SET18-DEZ04	-3,190	-5,09020034	-1,289800	0,0058076
	OUT17-NOV07	1,895	-0,00520034	3,795200	0,0505152
	SET04-NOV07	4,740	2,83979966	6,640200	0,0009283
	SET18-NOV07	1,615	-0,28520034	3,515200	0,0894248
	SET04-OUT17	2,845	0,94479966	4,745200	0,0096341
	SET18-OUT17	-0,280	-2,18020034	1,620200	0,9706457
SET18-SET04	-3,125	-5,02520034	-1,224800	0,0063674	
STF	NOV07-DEZ04	-0,850	-3,63792400	1,937924	0,7420411
	OUT17-DEZ04	-2,750	-5,53792400	0,037924	0,0526207
	SET04-DEZ04	-1,850	-4,63792400	0,937924	0,1923363
	SET18-DEZ04	-3,100	-5,88792400	-0,312076	0,0332565
	OUT17-NOV07	-1,900	-4,68792400	0,887924	0,1784442
	SET04-NOV07	-1,000	-3,78792400	1,787924	0,6332563
	SET18-NOV07	-2,250	-5,03792400	0,537924	0,1062779
	SET04-OUT17	0,900	-1,88792400	3,687924	0,706073
	SET18-OUT17	-0,350	-3,13792400	2,437924	0,9833651
SET18-SET04	-1,250	-4,03792400	1,537924	0,4619368	
PT	NOV07-DEZ04	0,095	-0,11953110	0,309531	0,4716805
	OUT17-DEZ04	0,875	0,66046890	1,089531	0,0000811
	SET04-DEZ04	0,850	0,63546890	1,064531	0,0000943
	SET18-DEZ04	0,700	0,48546890	0,914531	0,0002541
	OUT17-NOV07	0,780	0,56546890	0,994531	0,0001474
	SET04-NOV07	0,755	0,54046890	0,969531	0,000174
	SET18-NOV07	0,605	0,39046890	0,819531	0,0005167
	SET04-OUT17	-0,025	-0,23953110	0,189531	0,9873088
	SET18-OUT17	-0,175	-0,38953110	0,039531	0,102604
SET18-SET04	-0,150	-0,36453110	0,064531	0,1657468	
SET18-SET04	-0,295	-0,94133800	0,351338	0,4480015	

Fonte: Autor, 2015.

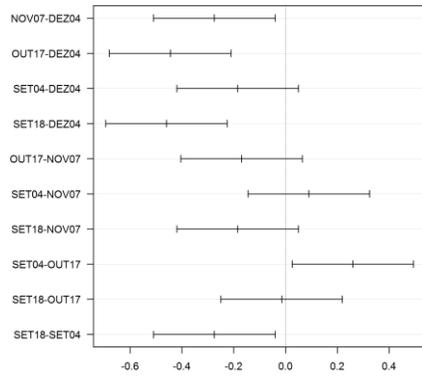
Tabela 19 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias de pH, TU, ST, STF, PT, NTK, DQO e relação C/N entre os períodos de amostragens (Conclusão).

Variável	Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
NTK	NOV07-DEZ04	2,180	1,53366200	2,826338	0,0002156
	OUT17-DEZ04	0,820	0,17366200	1,466338	0,0195045
	SET04-DEZ04	1,325	0,67866200	1,971338	0,0023334
	SET18-DEZ04	1,030	0,38366200	1,676338	0,0073236
	OUT17-NOV07	-1,360	-2,00633800	-0,713662	0,0020671
	SET04-NOV07	-0,855	-1,50133800	-0,208662	0,0163797
	SET18-NOV07	-1,150	-1,79633800	-0,503662	0,0044692
	SET04-OUT17	0,505	-0,14133800	1,151338	0,1180272
	SET18-OUT17	0,210	-0,43633800	0,856338	0,7018521
SET18-SET04	-0,295	-0,94133800	0,351338	0,4480015	
DQO	NOV07-DEZ04	-27,300	-68,79455300	14,194553	0,1969433
	OUT17-DEZ04	-78,300	-119,79455300	-36,805447	0,003419
	SET04-DEZ04	-8,300	-49,79455300	33,194553	0,9192954
	SET18-DEZ04	-39,300	-80,79455300	2,194553	0,0610985
	OUT17-NOV07	-51,000	-92,49455300	-9,505447	0,0222305
	SET04-NOV07	19,000	-22,49455300	60,494553	0,4454834
	SET18-NOV07	-12,000	-53,49455300	29,494553	0,7728009
	SET04-OUT17	70,000	28,50544700	111,494553	0,0056822
	SET18-OUT17	39,000	-2,49455300	80,494553	0,0628199
SET18-SET04	-31,000	-72,49455300	10,494553	0,1358692	
C/N	NOV07-DEZ04	-120,000	-157,78062000	-82,219380	0,0002902
	OUT17-DEZ04	-96,500	-134,28062000	-58,719380	0,0008295
	SET04-DEZ04	-109,500	-147,28062000	-71,719380	0,0004529
	SET18-DEZ04	-103,000	-140,78062000	-65,219380	0,0006077
	OUT17-NOV07	23,500	-14,28062000	61,280620	0,2288579
	SET04-NOV07	10,500	-27,28062000	48,280620	0,7943038
	SET18-NOV07	17,000	-20,78062000	54,780620	0,4591392
	SET04-OUT17	-13,000	-50,78062000	24,780620	0,6628882
	SET18-OUT17	-6,500	-44,28062000	31,280620	0,9503051
SET18-SET04	6,500	-31,28062000	44,280620	0,9503051	

Fonte: Autor, 2015.

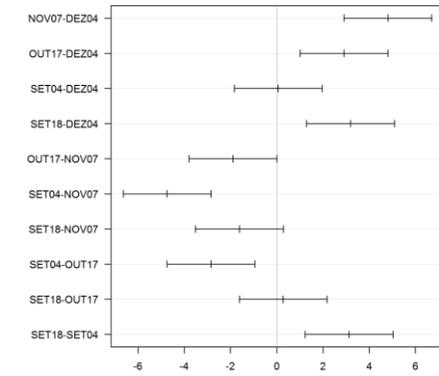
É notório na Tabela 19 que as médias das variáveis analisadas possuíram diferenças significativas em um ou mais intervalo de confiança, portanto, sendo rejeitada a hipótese nula de igualdade das médias entre as coletas. Esses resultados são mais fáceis de interpretar visualizando os intervalos de confiança, que não contém o 0, para as diferenças das médias constantes dos gráficos de Tukey ilustrados nas Figuras 32 a 39. Destaca-se que as variáveis físicas e químicas como pH, TU, ST, PT, NTK e relação C/N registraram maiores dispersões entre as médias das coletas.

Figura 32 - Gráfico de Tukey para pH.
95% family-wise confidence level



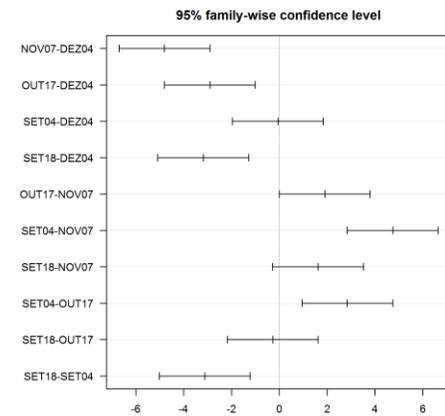
Fonte: Autor, 2015.

Figura 33 - Gráfico de Tukey para TU.
95% family-wise confidence level



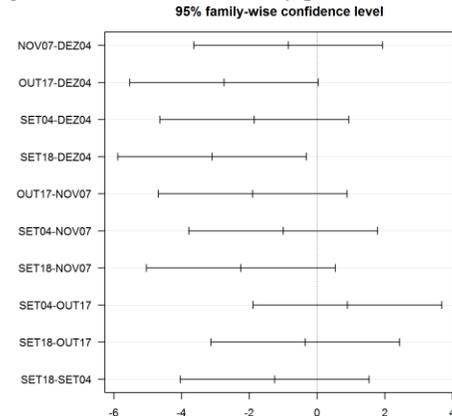
Fonte: Autor, 2015.

Figura 34 - Gráfico de Tukey para ST.
95% family-wise confidence level



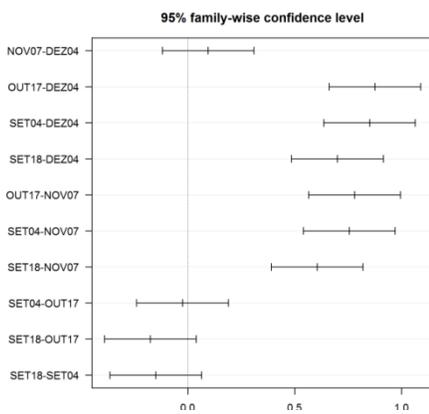
Fonte: Autor, 2015.

Figura 35 - Gráfico de Tukey para STF.
95% family-wise confidence level



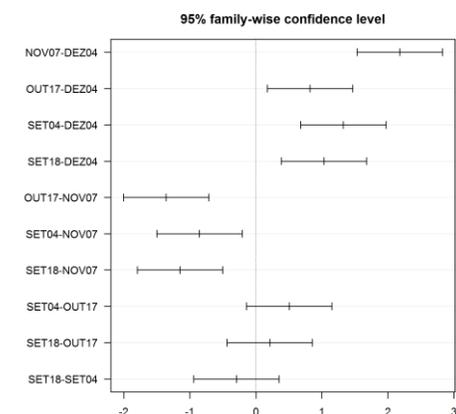
Fonte: Autor, 2015.

Figura 36 - Gráfico de Tukey para PT.
95% family-wise confidence level



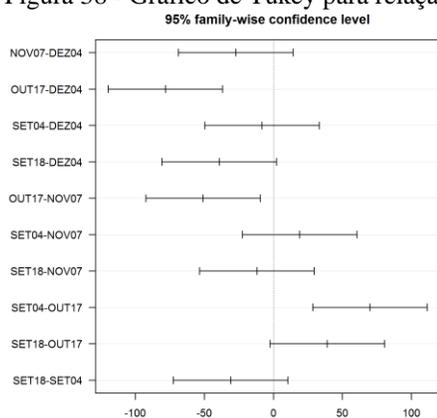
Fonte: Autor, 2015.

Figura 37 - Gráfico de Tukey para NTK.
95% family-wise confidence level



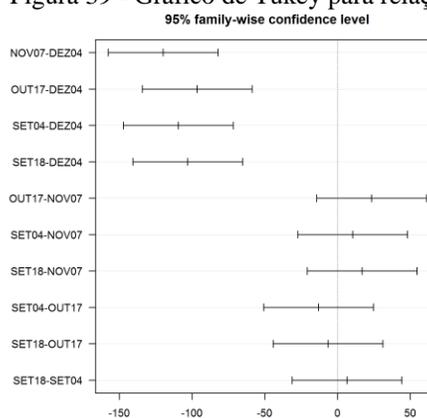
Fonte: Autor, 2015.

Figura 38 - Gráfico de Tukey para relação DQO.



Fonte: Autor, 2015.

Figura 39 - Gráfico de Tukey para relação C/N.

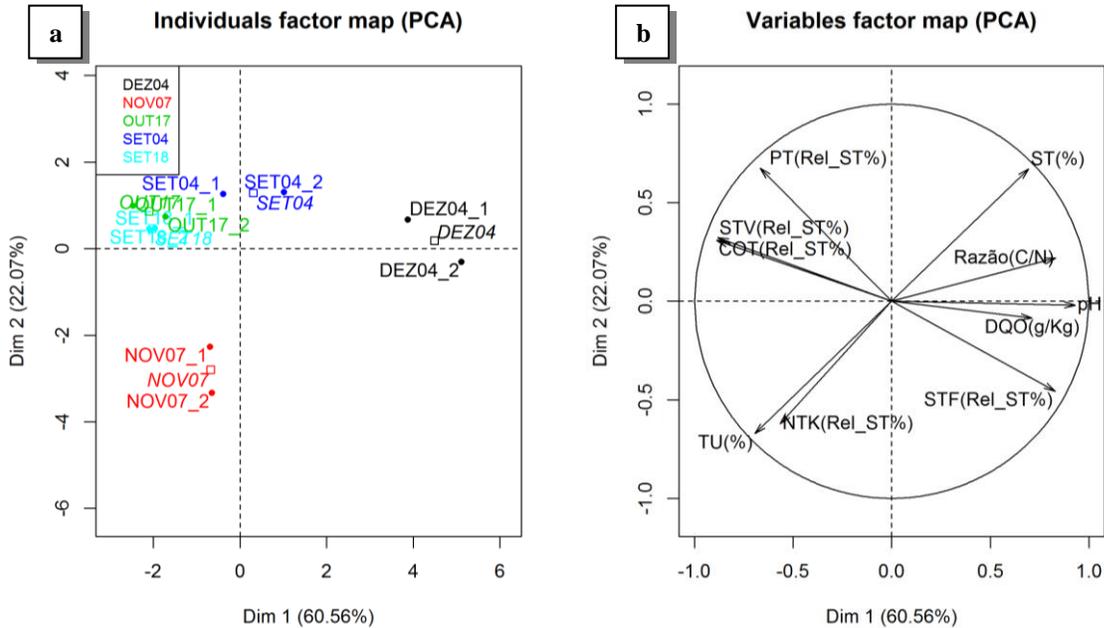


Fonte: Autor, 2015.

Por fim, realizou-se a Análise de Componentes Principais (PCA) que permite explicar as relações entre as variáveis medidas e o agrupamento entre as amostras, por meio da redução dimensional dos dados. Sendo, assim, possível observar as variáveis que apresentaram maior variância dentro da caracterização da FORSD.

Para isso, foram sumarizados os gráficos de *scores* e *loadings* (Figura 40) que contém a informação relativa ao conjunto de dados originais. Lembrando que no gráfico de *loadings* é possível analisar as variáveis que são responsáveis pelas analogias ou diferenças existentes (parâmetros físicos e químicos), enquanto que no gráfico de *scores* são explicadas as informações acerca do agrupamento das amostras (coletas).

Figura 40 - Análise de Componente Principal dos atributos físico-químicos: diagrama de ordenação das amostras (*scores*) e formação de grupos de amostras semelhantes (a) e diagrama de ordenamento das variáveis (*loadings*) (b) levando-se em consideração as componentes principais 1 e 2.



Fonte: Autor, 2015.

A estatística da PCA (Figura 40) mostrou que as duas primeiras componentes principais respondem pela maior parte da variância, explicando 82,63% da variância total da matriz de dados. É interessante notar que 60,56% da variância é explicada por PC1 e 22,07% por PC2.

Avaliando a Figura 40a é evidenciado no gráfico de ordenação das amostras que existem três agrupamentos ocorrendo em função das coletas, sendo que o agrupamento de NOV07 está separado basicamente do grupo SET04-SET18-OUT17 pela componente principal 2 (PC2) e do grupo DEZ04 pela componente principal 1 (PC1).

Na Figura 40b pode-se ainda compreender as variáveis que influenciaram na divisão desses agrupamentos, tendo em vista a posição similar dos parâmetros físicos e químicos da caracterização da FORSD, nos quadrantes do gráfico de *loadings* (40b), e das amostragens, no gráfico de *scores* (40a).

No tocante ao agrupamento SET04-SET18-OUT17 as variáveis que registraram valores superiores foram o PT, STV e COT, assim como se observa no quadrante superior esquerdo da Figura 40b. Ressalta-se que a coleta de 04 de setembro também sofreu influência da

alta concentração de ST, fato este que graficamente se visualiza que parte de SET04 está deslocada para o quadrante superior direito. Entretanto as variáveis como TU e NTK contribuiu para a formação do agrupamento da coleta de NOV07, em função dos maiores valores para esses atributos conforme se ilustra no quadrante inferior esquerdo da Figura 40b.

Nos quadrantes do lado direito, está disponível o agrupamento representado DEZ04, que está dividido dos demais pela PC1. De maneira geral, na coleta do mês de dezembro as variáveis que apresentaram as maiores concentrações foram os parâmetros de ST, STF, razão C/N, DQO e maior valor pH. Quanto à relação C/N, isso justifica a elevada relação C/N obtida durante a amostragem de dezembro, portanto, sendo corroborado pelo valor encontrado de C/N de cerca de 4,6 vezes maior ao limite máximo recomendado.

Após o tratamento estatístico das informações de caracterização das FORSD, nota-se que o resíduo coletado apresentou, numa dimensão temporal, composição bastante heterogênea, especialmente, para os parâmetros físicos e químicos de pH, TU, ST, PT, NTK e razão C/N. Tal fenômeno aponta a necessidade da caracterização inicial antes da alimentação de reatores anaeróbios, visando adequar as características do substrato para atender as condições operacionais e requisitos ambientais projetados no tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos, garantindo assim a manutenção da eficiência desejada e a estabilidade dos processos anaeróbios.

Apesar das concentrações de STV e de COT terem se mantidos constantes durante todas as coletas amostradas, deve-se atentar sempre para caracterização inicial desses parâmetros e, se necessário, realizar a correção da carga orgânica a ser aplicada na biodigestão anaeróbia.

5.5 Teste de biodegradabilidade anaeróbia

O teste de biodegradabilidade da FORSD do bairro Pici foi realizado no intuito de se avaliar o potencial máximo da produção de biogás, em especial, de metano. O experimento foi executado em duas fases com o objetivo de se estabelecer as condições operacionais ótimas e o tipo de pré-tratamento que mais influenciou na conversão da matéria orgânica em biogás. Ressalta-se também que este teste visou analisar a eficiência na remoção da matéria orgânica via biodigestão anaeróbia.

Os ensaios foram feitos em condições de temperatura mesofílica (35°C), sob agitação de 150 rpm (com exceção, da condição sem agitação) e com volume de *headspace* de 30%.

Todas as análises físicas e químicas para caracterizar o meio de reação no início e fim de teste foram determinadas em duplicata, com exceção das análises de alcalinidade, AGV e NTK que foram feitas uma única vez devido ao pouco volume disponível de amostra no final do teste.

Vale salientar que os substratos utilizados nas fases de avaliação da condição operacional ótima e do pré-tratamento correspondiam a amostras de períodos diferentes, portanto, não se pode fazer análise de efeito comparativo entre os resultados obtidos nas duas etapas já que a FORSD possui composição bastante variada em função das mudanças de hábito da população por circunstâncias temporais, culturais e econômicos.

5.5.1 Condições ótimas

Primeiramente, destaca-se que para todos os ensaios de biodegradabilidade, analisados sob a ótica de se diagnosticar a melhor condição operacional, foram utilizados o meio de reação (resíduos orgânicos + lodo + água) com características físicas e químicas apresentadas na Tabela 20. A diferença se dá apenas nos frascos utilizados nos ensaios para se verificar as diferentes dosagens de alcalinidade no meio, pois a partir do meio de reação empregado foram adicionadas as quantidades suficientes de bicarbonato de sódio (NaHCO₃) para atingir as concentrações de dosagem de 1, 3 e 5 g/L.

Tabela 20 - Caracterização física e química do meio de reação para o teste de biodegradabilidade para se conhecer as condições ótimas operacionais.

Variáveis	Resultados
pH	7,20
TU (%)	98,34 ± 0,07
ST (mg/L)	16440 ± 764
STV (mg/L)	7170 ± 636
NTK (mg N-NH ₃ /L)	671 ± 45
PT (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	160 ± 4
DQO (mg/L)	18900 ± 236

Fonte: Autor, 2015.

5.5.1.1 Sem agitação x Agitação

Na Tabela 21, encontram-se os dados relativos à concentração de DQO de início e final de teste. Para esta fase foi suplementado uma dosagem de alcalinidade de 1 g/L de NaHCO₃, em ambas as situações, visando assegurar a estabilidade do processo anaeróbio para tentar fornecer uma capacidade de neutralização segura e permitir analisar a influência da agitação na digestão anaeróbia.

Tabela 21 - Influência da agitação na remoção de DQO.

Parâmetro	S/ Agitação	Agitação
DQOi (mg O ₂ /L)	18900 ± 236	18900 ± 236
DQOf (mg O ₂ /L)	9908 ± 59	8825 ± 295
Remoção (%)	47,57	53,31

Fonte: Autor, 2015.

Observa-se que o ensaio de biodegradabilidade que foi operado sob agitação constante de 150 rpm houve uma remoção maior de DQO, com uma eficiência de 53,31% (DQO removida = 10.075 mg O₂/L) contra 47,57% do teste sem agitação. Isso se deve pelo fato da agitação controlada promover maior contato entre a biomassa e as enzimas/substratos, proporcionando dessa forma condições homogêneas de mistura (ANGELIDAKI *et al.* 2009), além de também, do efeito da homogeneização evitar o acúmulo de ácidos graxos voláteis (VAVILIN *et al.*, 2008).

Raposo *et al.* (2011a), informa que a intensidade e a duração da agitação são fatores que afetam o mecanismo de mistura, podendo, em alguns casos, serem prejudiciais aos sistema anaeróbios por ocasionar a ruptura dos flocos biológicos, logo, prejudicando a interação entre as bactérias anaeróbias e o alimento disponível.

Sgorlon *et al.* (2011), avaliando a remoção de DQO a partir da degradação anaeróbia de resíduos orgânicos fruti-hortícolas em reator de 70L, operando em batelada, obteve resultados de remoção de DQO total de no máximo 30%, estando bem abaixo do valor encontrado para os ensaios com e s/agitação deste trabalho. Segundo os autores, a baixa redução de matéria orgânica foi causada, provavelmente, pela ausência de mistura no biodigestor, já que não existia mecanismo de agitação.

Na Tabela 22 são deparados os resultados de pH, AT. e AGV de início e fim de ensaio dos testes com e s/ agitação.

Tabela 22 - valores de pH, AT. e AGV encontrados em início e fim do ensaio de biodegradabilidade para avaliar a influência da agitação.

Parâmetro	S/ Agitação	Agitação
pHi	7,20	7,20
pHf	7,12	7,35
AT.i (mg CaCO ₃ /L)	1012	1012
AT.f (mg CaCO ₃ /L)	1804	1758
AGVi (mg Hác./L)	297	297
AGVf (mg Hác./L)	91	319
Relação AGV/AT.i	0,29	0,29
Relação AGV/AT.f	0,05	0,18

Fonte: Autor, 2015.

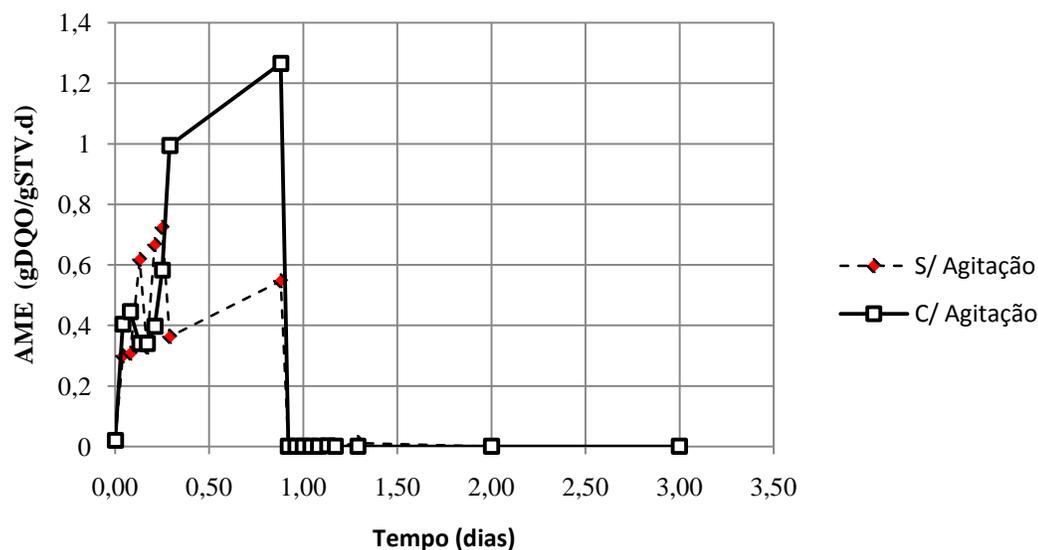
Conforme constado na Tabela 22, o pH se manteve na neutralidade durante todo o experimento, para as duas situações adversas, permanecendo dentro do intervalo aceito como ótimo (6,0 – 8,0), sendo evidenciado a boa capacidade de tamponamento do pH frente a produção de ácidos graxos voláteis durante a hidrólise e de ácidos orgânicos na acidogênese (LOPES; LEITE; SOUSA, 2000).

Em relação à alcalinidade total, inicialmente foi registrado uma concentração de 1012 mg CaCO₃/L e no final do período monitorado houve um acréscimo acentuado nos dois sistemas, sendo encontrados valores de 1804 e 1758 mg CaCO₃/L para as condições sem e com agitação, respectivamente. Conforme Felizola, Leite e Prasad (2006), esse aumento pode estar associado à elevada concentração de nitrogênio do meio de reação, o que contribui para a formação de bicarbonato de amônia.

A relação AGV/AT indica a ocorrência da estabilidade dos processos anaeróbios (SILVA, 2009). Para as condições de biodegradabilidade ensaiadas, em todo o período avaliado os valores de AGV/AT estiveram inferiores a 0,3, o que para Chernicharo (1997) se mantém dentro do limite recomendado que garante a boa capacidade de tamponamento do meio e assinala o equilíbrio entre a produção de AGVs e o consumo destes subprodutos.

Os resultados de AME dos ensaios de agitação estão expostos na Figura 41.

Figura 41 - Atividade metanogênica específica dos ensaios sem agitação e com agitação.



Fonte: Autor, 2015.

O melhor resultado da AME (Figura 41) foi para o teste sob agitação obtendo uma AME de 1,2654 gDQO/gSTV·d em 21 horas de incubação contra um valor de 0,7228 gDQO/gSTV·d em 5,30 horas de incubação do experimento s/ agitação. Apesar do teste sem agitação ter uma produção máxima de biogás em um tempo menor, nota-se que o efeito da agitação contribuiu para uma AME mais elevada, maior produção acumulada (V_{CH_4}) e composição de metano ($\%CH_4 = 66,1\%$) (Tabela 23). Já os frascos sem agitação, o percentual e a produção acumulada de metano foi inferior com 63,8% e 23,50mL, respectivamente, representando uma diferença significativa em termos de produção e resultado sem expressiva diferença na composição.

Tabela 23 – Resultados da composição do biogás e da produção acumulada de metano (mL) para analisar a influência da agitação nos ensaios de biodegradabilidade da FORSD.

Composição (%)	S/ agitação	Agitação
AR	14,5%	12,6%
CH ₄	63,8%	66,1%
CO ₂	21,7%	21,2%
V_{CH₄} médio	23,50 mL	30,25 mL

Fonte: Autor, 2015.

5.5.1.2 Alcalinidade

A Tabela 24 indica o desempenho na remoção de DQO para os ensaios de biodegradabilidade das diferentes dosagens de NaHCO_3 aplicadas no meio de reação.

Tabela 24 - Influência da dosagem de alcalinidade aplicada na remoção de DQO do ensaio de biodegradabilidade.

Parâmetro	Alc Nat	Alc 1g/L	Alc 3g/L	Alc 5g/L
DQOi (mg O_2 /L)	18900 ± 236	18900 ± 236	18900 ± 236	18900 ± 236
DQOf (mg O_2 /L)	9867 ± 471	8825 ± 295	9075 ± 412	9825 ± 295
Eficiência (%)	47,79	53,31	51,98	48,02

Fonte: Autor, 2015.

Legenda: Alc = alcalinidade

As dosagens que apresentaram maior eficiência de remoção de DQO foram os frascos onde foram adicionados 1g/L e 3g/L de NaHCO_3 , com eficiência de 53,31% e 51,98%, respectivamente. Verificou-se também que os melhores resultados de AME foram de 1,2654 gDQO/gSTV·d, para a dosagem de NaHCO_3 de 1g/L, e de 1,1857 gDQO/gSTV·d, para a de 3g/L, ambas resultantes após 21 horas de incubação, assim como ilustrado na Figura 42.

Pereira-Ramirez *et al.* (2002), estudando a influência da recirculação e da alcalinidade no tratamento anaeróbico de efluentes da suinocultura, constatou a influência positiva da suplementação de alcalinidade, já que nas fases onde foram adicionados bicarbonato de sódio foi evidenciado melhores taxas de remoção de DQO, sendo mantidos durante essas fases relação AGV/AT entre 0,38 e 0,45, entretanto, nas fases sem adição de alcalinizante essa relação foi elevada variando entre 0,60 e 0,63.

O pior desempenho foi diagnosticado onde não se adicionou uma fonte externa de alcalinidade, sendo mantida apenas a alcalinidade proveniente do lodo utilizado, com uma AME baixa, comparada às demais condições, no valor de 0,7755 gDQO/gSTV·d. Isso pode ser justificado pela relação inicial elevada de AGV/AT que foi de 0,4 (Tabela 25), superior ao valor recomendado para processos anaeróbios, podendo assim ter ocasionado instabilidade durante o início do ensaio através do acúmulo de AGV, conseqüentemente, a conversão dos AGV em metano ocorreu com cinética desfavorável a atividade das bactérias metanogênicas, podendo ter causado inibição das mesmas (VAVILIN *et al.*, 2003).

Em relação aos valores de pH, não se verificou nenhuma associação que possa explicar a performance do tratamento anaeróbico dos resíduos orgânicos nas diferentes condições

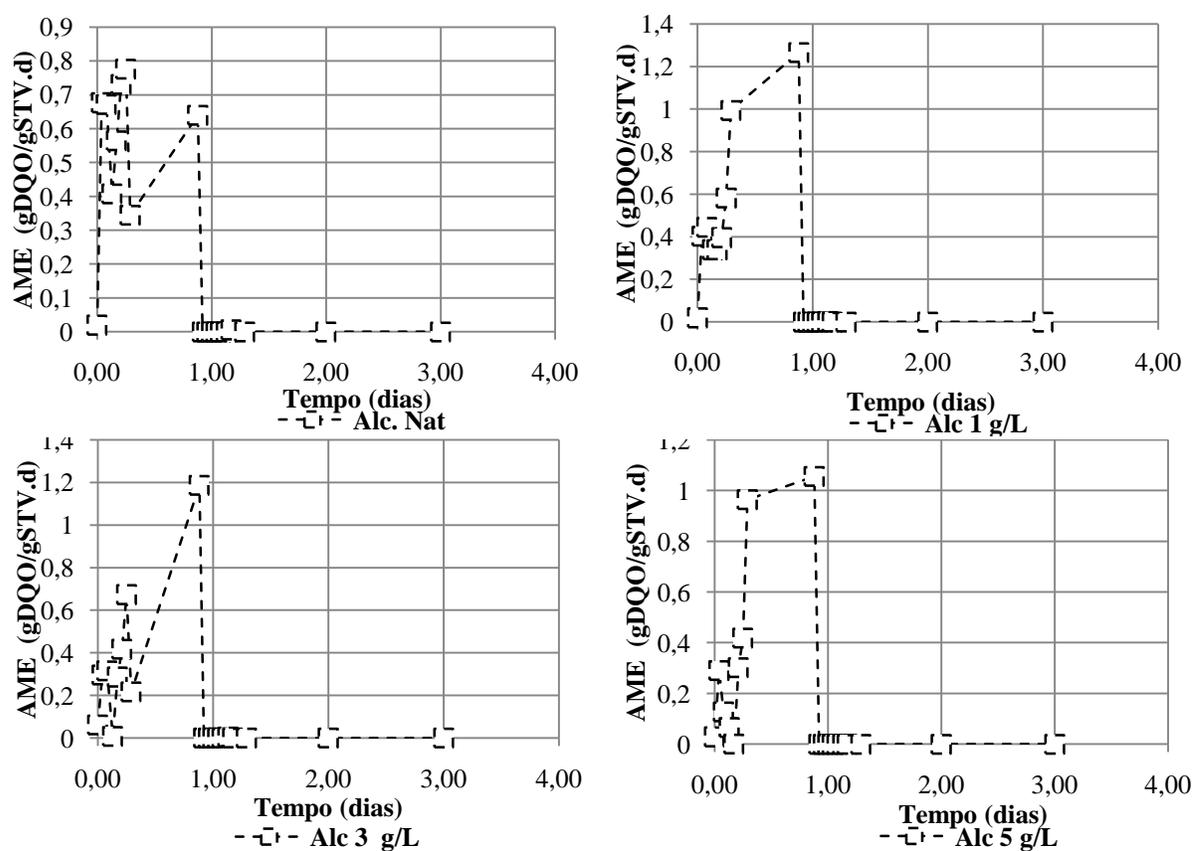
experimentais de alcalinidade, já que se manteve em uma faixa de neutralidade para as distintas condições durante todo o período de operação.

Tabela 25 – valores de pH, AT, e AGV encontrados em início e fim do ensaio de biodegradabilidade para avaliar a influência das distintas dosagens de alcalinidade aplicadas.

Parâmetro	Alc Nat	Alc 1g/L	Alc 3g/L	Alc 5g/L
pHi	7,20	7,20	7,20	7,20
pHf	6,95	7,35	7,31	7,32
AT.i (mg CaCO ₃ /L)	872	1012	2580	3822
AT.f (mg CaCO ₃ /L)	1210	1758	2932	4324
AGVi (mg Hác./L)	345	297	545	662
AGVf (mg Hác./L)	105	319	400	529
Relação AGV/AT.i	0,40	0,29	0,21	0,17
Relação AGV/AT.f	0,09	0,18	0,14	0,12

Fonte: Autor, 2015.

Figura 42 - Atividade metanogênica específica dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.



Fonte: Autor, 2015.

Quanto à composição de biogás e produção acumulada de metano assinaladas na Tabela 26, o percentual de metano variou de 58,4% a 66,1%, com o teste de Alc 1g/L possuindo maior composição (66,1%) e produção acumulada de metano (30,25mL). Vale destacar que foi obtido no teste de Alc 3g/L bons resultados de composição de biogás e produção acumulada de metano, embora, para este ensaio tem-se como desvantagem maior necessidade de dosagem de alcalinizante.

Tabela 26 – Resultados da composição do biogás dos ensaios de biodegradabilidade para avaliar a influência das diferentes dosagens de alcalinidade aplicadas.

Composição (%)	Alc Nat	Alc 1g/L	Alc 3g/L	Alc 5g/L
AR	15,9%	12,6%	17,4%	20,1%
CH ₄	63,6%	66,1%	62,4%	58,4%
CO ₂	20,5%	21,2%	20,2%	21,5%
V_{CH₄}médio	25,15mL	30,25mL	29,0mL	24,80mL

Fonte: Autor, 2015.

Esses percentuais de metano são compatíveis aos valores relatados por Facchin *et al.*, (2013), que em ensaios em batelada de digestão anaeróbia de resíduos orgânicos domiciliares feitos em pequena escala e com dosagens mais elevadas de alcalinidade, em faixa mesofílica (37°C), apresentou composição de 57% de CH₄ e com resultados que atingiram de 60 a 70% de metano.

Na análise estatística dos resultados foram consideradas as variáveis de produção acumulada de CH₄ e de eficiência de remoção de DQO das diferentes condições de dosagens de alcalinidade empregadas no teste de biodegradabilidade.

Inicialmente aplicou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Tabela 27) para se verificar se os dados experimentais seguem a uma distribuição normal. Neste caso, adotou-se um nível de significância do teste (α) de 0,05, mais comumente usado.

Tabela 27 - Valores do teste de normalidade de Shapiro-Wilk dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.

Parâmetro	W _(0,05;4)	W _{calc}	P-valor
VCH ₄	0,748	0,856	0,109
Remoção DQO		0,880	0,186

Fonte: Autor, 2015.

Pelo princípio de decisão do teste, a estatística do W calculado para as duas variáveis utilizadas foi superior ao valor crítico [W_(0,05;4)] da estatística de Shapiro-Wilk, conforme indicada na Tabela 27, com p-valor acima do nível de significância ($\alpha = 0,05$). Assim, pode-se inferir que

os dados experimentais seguem a uma distribuição normal, dando indícios que existem condições de suplementação de alcalinizante que influenciam mais positivamente na geração de metano.

Após o teste de normalidade foi realizada a análise de variância para se verificar se determinação condição experimental de alcalinidade contribuiu para melhores taxas de produção de metano e de remoção de DQO. Na Tabela 28 encontra-se a estatística para análise de variância.

Tabela 28 – Análise estatística de variância (Anova) dos resultados dos ensaios de biodegradabilidade com diferentes condições de alcalinidade.

Variável	Soma quadrado	Quadrado médio	Estatística F	p-valor
VCH₄	44,93	14,977	20,31	0,007
Resíduo	2,95	0,737		-
Remoção DQO	46,63	15,544	8,076	0,036
Resíduo	7,7	1,925		-

Fonte: Autor, 2015.

Adotando um nível de significância de 5% para Anova, rejeita-se a hipótese nula para a variável de volume acumulado de CH₄, portanto, havendo diferença significativa entre as médias. Entretanto, para a variável de remoção de DQO não é possível estabelecer rejeição de igualdade entre as médias. Para confirmar essas hipóteses, empregou-se o teste de Tukey (com intervalo de confiança de 95%) para diagnosticar se uma ou mais das situações operacionais apresentaram diferenças significativas entre as médias das variáveis estudadas (Tabela 29).

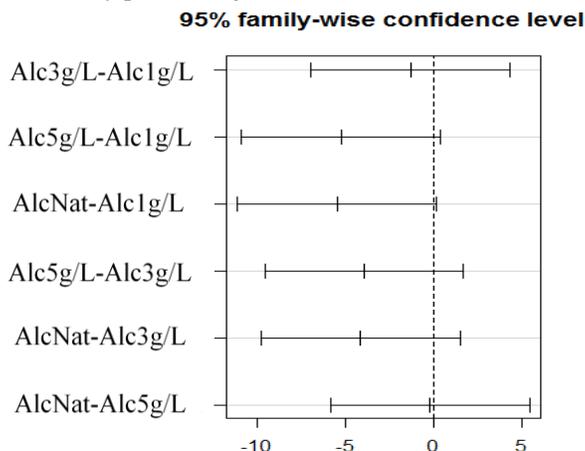
Tabela 29 - Resultado do teste de Tukey para comparação das médias dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.

Variável	Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
VCH ₄	Alc3g/L-Alc1g/L	-1,25	-4,745962	2,2459616	0,533
	Alc5g/L-Alc1g/L	-5,45	-8,945962	-1,9540384	0,011
	AlcNat-Alc1g/L	-5,1	-8,595962	-1,6040384	0,014
	Alc5g/L-Alc3g/L	-4,2	-7,695962	-0,7040384	0,027
	AlcNat-Alc3g/L	-3,85	-7,345962	-0,3540384	0,036
	AlcNat-Alc5g/L	0,35	-3,145962	3,8459616	0,974
Remoção DQO	Alc3g/L-Alc1g/L	-1,32	-6,967752	4,3277521	0,782
	Alc5g/L-Alc1g/L	-5,285	-10,932752	0,3627521	0,062
	AlcNat-Alc1g/L	-5,505	-11,152752	0,1427521	0,054
	Alc5g/L-Alc3g/L	-3,965	-9,612752	1,6827521	0,142
	AlcNat-Alc3g/L	-4,185	-9,832752	1,4627521	0,123
	AlcNat-Alc5g/L	-0,22	-5,867752	5,4277521	0,998

Fonte: Autor, 2015.

Conforme constado na Tabela 29, avalia-se que na remoção de DQO não houve dispersão entre as médias dos níveis de confiança, sendo corroborado através da Figura 43 que todos os intervalos de confiança sobrepõem à diferença igual a zero.

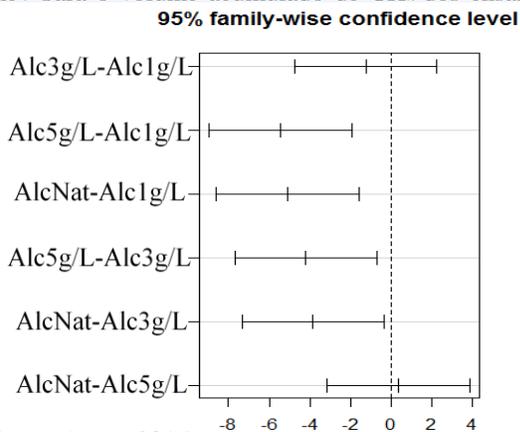
Figura 43 - Gráfico do teste de Tukey para remoção de DQO (%) dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.



Fonte: Autor, 2015.

Considerando o volume acumulado de metano, os níveis de Alc5g/L-Alc1g/L, AlcNat-Alc1g/L, Alc5g/L-Alc3g/L e AlcNat-Alc3g/L rejeitam a hipótese nula, havendo diferença significativa entre as médias. No entanto para os intervalos Alc3g/L-Alc1g/L e AlcNat-Alc5g/L os resultados do p-valor superaram o nível de significância de 0,05, aceitando assim a hipótese nula de igualdade entre esses níveis. Na Figura 44, pode-se entender melhor os resultados estatísticos de Tukey.

Figura 44 - Gráfico do teste de Tukey para o volume acumulado de CH_4 dos ensaios com diferentes dosagens de alcalinidade.



Fonte: Autor, 2015.

5.5.2 Pré-tratamento

Para a operação dos ensaios de biodegradabilidade com distintos métodos de pré-tratamento e tempos de exposição foram consideradas as condições ótimas operacionais determinadas neste trabalho. Assim sendo, os frascos foram incubados com agitação de 150 rpm e suplementados com dosagens de 1g/L de alcalinizante.

No monitoramento do teste para determinar os resultados de AME e de eficiência de remoção de matéria orgânica foi utilizado frascos de controle, que continham o meio de reação com substrato bruto, para assim comparar se houve efeito significativo do tipo de pré-tratamento na otimização da produção de biogás.

Destaca-se que os meios de reação desses ensaios apresentavam composição física e química variada, isso ocorreu em função do substrato ter sido submetido à ação de fatores físicos e tempos de exposição diferenciados, logo, caracterizou-se o meio de reação para cada tipo de pré-tratamento empregado. As características físicas e químicas dos meios de reação estão apresentadas na Tabela 30.

Tabela 30 - Caracterização física e química de cada meio de reação utilizado no teste de biodegradabilidade para se conhecer a influência do pré-tratamento e do tempo de exposição na biodegradabilidade da FORSD.

Variáveis	Resultados				
	Controle	Térmico 30 min	Térmico 90 min	Ultrassom 30 min	Ultrassom 90 min
pH	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
TU (%)	97,4 ± 0,18	97,31 ± 0,03	97,29 ± 0,03	97,55 ± 0,08	97,67 ± 0,28
ST (mg/L)	26660 ± 368	26580 ± 255	26810 ± 156	24240 ± 764	23060 ± 2828
STV (mg/L)	12350 ± 495	13510 ± 608	13840 ± 339	11780 ± 962	11630 ± 1202
AT. (mg CaCO ₃ /L) ¹	1537	1496	1431	1150	1443
AGV (mg Hác./L) ¹	455	391	327	381	435
NTK (mg N-NH ₃ /L) ¹	825	967	771	711	683
PT (mg P-PO ₄ ³⁻ /L)	158 ± 0,3	158 ± 10	165 ± 4	153 ± 4	151 ± 3
DQOt (mg/L)	21817 ± 118	22733 ± 1414	24650 ± 118	23456 ± 918	20983 ± 1768

Fonte: Autor, 2015.

Nota 1: parâmetros analisados sem replicata devido a disponibilidade dos equipamentos laboratoriais. Demais parâmetros analisados em duplicata.

Na Tabela 31 segue os resultados que mostram a remoção de matéria orgânica, em termos de STV e DQO, para cada tipo de pré-tratamento aplicado.

Tabela 31 – STV e DQO do meio de reação no início e final de operação dos ensaios de pré-tratamentos.

Parâmetro	Controle	Térmico 30 min	Térmico 90 min	Ultrassom 30 min	Ultrassom 90 min
STVi (mg O ₂ /L)	12350 ± 495	13510 ± 608	13840 ± 339	11780 ± 962	11630 ± 1202
STVf (mg O ₂ /L)	8600 ± 198	8030 ± 580	8350 ± 523	9340 ± 311	8870 ± 240
Eficiência (%)	30,4	40,6	39,7	20,7	23,7
DQOi (mg O ₂ /L)	21817 ± 118	22733 ± 1414	24650 ± 118	23900 ± 707	20983 ± 1768
DQOf (mg O ₂ /L)	10733 ± 0,0	10011 ± 79	11678 ± 79	11067 ± 471	10150 ± 356
Eficiência (%)	50,8	56,0	52,6	53,7	51,6

Fonte: Autor, 2015.

Em relação à remoção de STV, o substrato submetido ao tratamento térmico deteve melhores resultados, não sendo observada variação significativa pelo tempo de exposição, a eficiência foi 40,6% para o tempo de 30 minutos e 39,7% para o tempo de 90 minutos. Observou-se ainda que o tratamento ultrassônico apresentou uma baixa eficiência na remoção de STV, inclusive, com valor bastante inferior ao teste controle que teve uma remoção de 30,4%.

Apesar da baixa remoção de STV deste estudo, Silva (2012) realizando ensaios de biodegradabilidade da FORSU, com características experimentais similares aos desta pesquisa, obteve teores de remoção de STV bem abaixo com uma média de degradação da matéria orgânica de 15%, que segundo o autor pode ter sido ocasionado devido a não estabilização da degradação anaeróbia, confirmado pelos valores de pH e pelos baixos índices de remoção de DQO total (que situou-se entre 8 e 45%).

Já na remoção de DQO, o melhor desempenho operacional foi no teste de tratamento térmico de 30 min que removeu 56% (média de DQO_{removida} = 12.722 mgO₂/L) da matéria orgânica oxidável, seguido do pré-tratamento ultrassônico de 30 min que apresentou uma remoção de 53,7% (média de DQO_{removida} = 12.833 mgO₂/L). Em termos de remoção de DQO, notou-se que o tempo de 30 minutos de exposição influenciou na biodegradabilidade do resíduo, mostrando, portanto, a viabilidade de se aplicar um período mais curto de exposição física do resíduo e garantindo como vantagem o menor custo energético pelo uso do processo de autoclavagem.

Forster-Carneiro, Perez e Romeiro (2007) obtiveram uma eficiência de DQO de 59,3% em um reator anaeróbio de 5,0 L, tratando FORSU (sem qualquer tipo de pré-tratamento) com inóculo de lodo anaeróbio, remoção um pouco superior ao valor determinado no ensaio de

pré-tratamento térmico 30 minutos. Isto pode ser explicado pela faixa de temperatura utilizada na digestão anaeróbia por esses autores, que se encontrava numa faixa termofílica (55°C).

Para Chae *et al.* (2008) e Esposito *et al.* (2012), temperaturas mais elevadas implicam, geralmente, em maiores taxas de produção de metano ocorrendo em um intervalo mais curto de operação dos sistemas anaeróbios. Entretanto, deve-se atentar que a elevação da temperatura pode afetar algumas espécies de bactérias anaeróbias, que são mais sensíveis a variação de temperatura, diminuindo a eficiência do processo de biometanização.

Tabela 32 - pH, ALcT. e AGV de início e fim de ensaio de pré-tratamento.

Parâmetro	Controle	Térmico 30 min	Térmico 90 min	Ultrassom 30 min	Ultrassom 90 min
pHi	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20
pHf	7,14	7,12	7,06	7,04	7,15
AT.i (mg CaCO ₃ /L)	1537	1496	1431	1150	1443
AT.f (mg CaCO ₃ /L)	2153	2130	2208	2075	2176
AGVi (mg Hác./L)	455	391	327	381	435
AGVf (mg Hác./L)	368	392	392	356	320
Relação AGV/AT.i	0,30	0,26	0,23	0,33	0,30
Relação AGV/AT.f	0,17	0,18	0,18	0,17	0,15

Fonte: Autor, 2015.

Conforme exposto na Tabela 32, durante todos os processos, a relação AGV/AT esteve dentro do recomendado, corroborando assim os valores estáveis de pH que se mantiveram neutros para as diferentes circunstâncias analisadas. Tais fatos asseguraram uma boa condição de estabilidade da digestão anaeróbia nesses ensaios.

FERNÁNDEZ *et al.* (2005), também encontrou uma elevada estabilidade em um reator anaeróbio mesofílico de escala piloto utilizado no co-tratamento da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos mais gordura de origem animal, sendo atribuído a boa estabilidade do reator às reduzidas concentrações de AGVs (< 0,1g/L), acompanhado de valores de pH estáveis e da condição de tamponamento do sistema.

Diante dos resultados de AME revelados na Figura 45, observa-se que as técnicas de pré-tratamento térmicas e ultrassônicas influenciaram na biodegradabilidade da FORSD. Mostrando assim o efeito do pré-tratamento na ruptura da estrutura orgânica mais complexa em moléculas mais simples, o que tornou a fonte de matéria orgânica mais prontamente disponível ao consórcio anaeróbio existente e, conseqüentemente, potencializou a conversão de DQO em gás metano (GASHAW, 2014). Tal afirmativa corrobora-se pelos resultados médios de AME obtidos, onde todos os frascos que continham substrato exposto ao pré-tratamento apresentaram valores

superiores ao do ensaio de controle que teve uma atividade de 0,9335 gDQO-CH₄/gSTV.d, deparando-se, com uma AME de 0,9815 gDQO-CH₄/gSTV.d para o tratamento térmico de 90 min, de 0,9949 gDQO-CH₄/gSTV.d para o ultrassom de 30min e de 0,9741 gDQO-CH₄/gSTV.d para ultrassom 90min. Destaca-se que a melhor AME foi no teste do pré-tratamento térmico de 30 min que registrou uma atividade de 1,0777 gDQO-CH₄/gSTV.d.

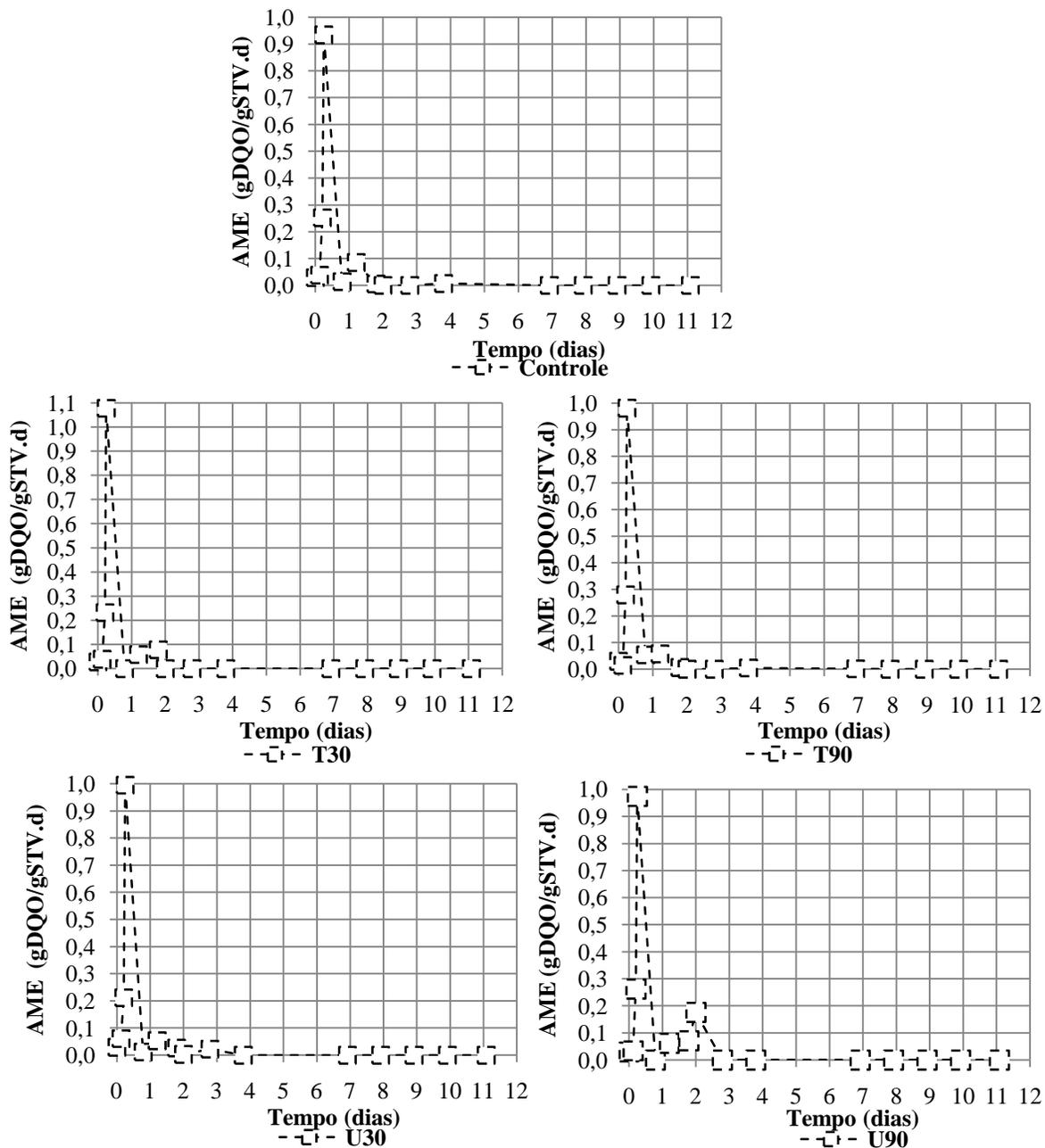
BRAÚNA (2012) estudando o efeito do pré-tratamento térmico, ultrassônico, ácido e alcalino na co-digestão anaeróbia de tortas de oleaginosas (resíduos da produção do biodiesel como algodão e mamona) afirmou que “todos os reatores com pré-tratamentos tiveram maiores valores de AME que o reator controle”, sendo que o reator alimentado com torta de algodão e submetido ao pré-tratamento térmico apresentou maior valor de AME de 3,43 gDQO-CH₄/gSTV.d.

Machado (2012) também avaliando a influência do pré-tratamento térmico na co-digestão anaeróbia de microalgas e glicerol residual do biodiesel, em circunstâncias idênticas de pré-tratamento empregadas neste estudo, concluiu que o efeito térmico por autoclave e 30 minutos de exposição das microalgas promoveram melhores resultados na produção de metano.

Quanto ao tempo de exposição do substrato ao pré-tratamento térmico, a condição ideal deparada neste estudo está em concordância com os resultados apresentados por Azeitona (2012), que analisando o efeito do pré-tratamento térmico à 122°C e tempos de exposição de 20, 35 e 55 minutos, por autoclavagem na biodigestão de resíduos de casca de batata em condições termofílicas, obteve os melhores resultados médios de produção acumulada de metano nos tempos de 35 e 55 min com valores de 3580 mL e 3932 mL, respectivamente, estando mais elevados do que a produção acumulada do ensaio de controle que teve um volume de metano igual a 3034 mL.

Azeitona (2012) considera que o tratamento térmico de 35minutos mostra-se como a condição mais viável de pré-tratamento, justificando-se pelos fatos de maior praticidade operacional e menor gasto energético com o processo de autoclavagem, e ainda por apresentar uma produção acumulada de metano com resultados bem semelhantes ao valor obtido no tempo de 55min, já que a diferença entre ambas as condições é relativamente baixa (8,95%).

Figura 45 - Atividade metanogênica específica dos ensaios com diferentes pré-tratamentos e tempos de exposição.



Fonte: Autor, 2015.

A composição do biogás e a produção acumulada de metano para analisar a influência do pré-tratamento físico e dos diferentes tempos de exposição empregados À FORSD estão descritos na Tabela 33.

Tabela 33 – Resultados da composição do biogás obtidos nos ensaios de biodegradabilidade para analisar a influência do pré-tratamento físico e dos diferentes tempos de exposição empregados à FORSD.

Composição (%)	Controle	Térmico 30 min	Térmico 90 min	Ultrassom 30 min	Ultrassom 90 min
AR	20,3%	18,2%	16,3%	21,6%	17,4%
CH ₄	58,5%	57,6%	59,8%	59,2%	60,7%
CO ₂	21,1%	24,1%	23,9%	19,2%	22,0%
V_{CH₄} médio	25,30mL	27,30mL	27,75mL	25,65mL	26,30mL

Fonte: Autor, 2015.

Os resultados de composição de biogás, demonstrado na Tabela 33, apontam teores elevados de metano com uma variação entre 58,5% e 60,7%, não possuindo uma diferença significativa entre as condições adversas avaliadas. Já na produção acumulada de metano, o pré-tratamento térmico da FORSD registrou os melhores resultados com 27,30 mL, no tempo de 30 min, e 27,75mL no tempo de 90min, com valores que não apresentam diferença significativa entre estas condições.

Estes resultados de composição se assemelham ao relatado por Fantozzi e Buratti (2011), que provaram que em condições experimentais de avaliação do potencial de biometanização da FORSU, onde foi controlado o pH na partida do sistema com diluição e inoculação com esterco de pocilga, foi atingida uma percentagem média de 59,7%, que se mostra compatível aos teores deparados neste estudo.

Na Tabela 34 está descrito os resultados estatísticos do teste de normalidade para os ensaios experimentais dos pré-tratamentos aplicados.

Tabela 34 - Resultados do teste de normalidade Shapiro-Wilk para os ensaios de pré-tratamento.

Parâmetro	W_(0,05;5)	W_{calc}	P-valor
VCH ₄	0,762	0,9361	0,5102
Remoção DQO	0,762	0,9195	0,3529

Fonte: Autor, 2015.

Constatou-se que a estatística do W calculado para ambas as variáveis foi acima do valor crítico [W_(0,05;5)] que é igual a 0,762 e os resultados de p-valor foram de $\alpha = 0,5102$ para o volume acumulado de metano e de $\alpha = 0,3529$ para a eficiência na remoção de DQO, portanto admitindo-se a hipótese de nulidade já que o nível de significância é $\alpha = 0,05$. Deste modo, confirma-se que os dados experimentais seguem a uma distribuição normal.

Para constatar se um ou mais dos testes empregados possuíam variância estatisticamente significativa foi aplicado o teste de Anova. Os dados estatísticos de Anova estão apontados na Tabela 35.

Tabela 35 - Análise estatística de variância (ANOVA) dos resultados dos ensaios de biodegradabilidade com diferentes pré-tratamentos e tempo de exposição da FORSD.

Variável	Soma quadrado	Quadrado médio	Estatística F	p-valor
VCH₄	8,794	2,199	3,857	0,0856
Resíduo	2,85	0,57	-	
Remoção DQO	31,88	7,971	3,257	0,114
Resíduo	12,24	2,448	-	

Fonte: Autor, 2015.

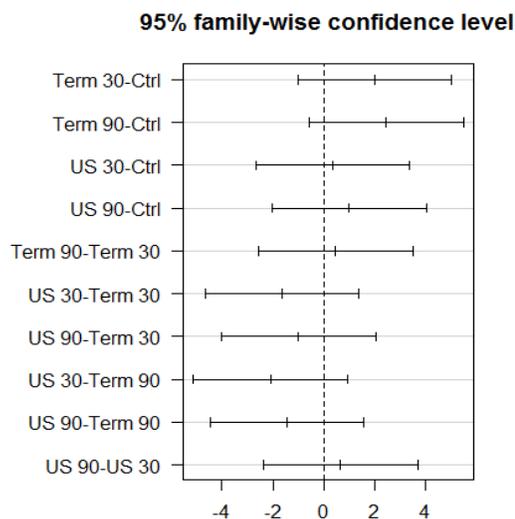
Observa-se na Tabela 35 que para as variáveis VCH₄ e remoção de DQO (%), em um intervalo de confiança de 95%, não se aceita a rejeição da hipótese nula. Este cenário é confirmado pelos resultados do teste de Tukey, indicados na Tabela 36, que comprovam que a diferença entre as médias dos intervalos de confiança não são expressivas, pois todos os dados estatísticos dos níveis de confiança mantiveram-se acima do nível de significância adotado (0,05). Nas Figuras 46 e 47, nota-se claramente que todos os intervalos de confiança sobrepõem à diferença igual a zero.

Tabela 36 - Resultados de Tukey para comparação das médias dos ensaios de pré-tratamento.

Variável	Nível	Centro	Limite Inferior	Limite Superior	p-valor
VCH ₄	Term30-Ctrl	2,00	-1,0286	5,0286	0,1949
	Term90-Ctrl	2,45	-0,5786	5,4786	0,1055
	US30-Ctrl	0,35	-2,6786	3,3786	0,9877
	US90-Ctrl	1,00	-2,0286	4,0286	0,6912
	Term90-Term30	0,45	-2,5786	3,4786	0,9698
	US30-Term30	-1,65	-4,6786	1,3786	0,3152
	US90-Term30	-1,00	-4,0286	2,0286	0,6912
	US30-Term90	-2,10	-5,1286	0,9286	0,1698
	US90-Term90	-1,45	-4,4786	1,5786	0,4109
	US90-US30	0,65	-2,3786	3,6786	0,8999
Remoção DQO	Term30-Ctrl	5,09	-1,1891	11,3628	0,1048
	Term90-Ctrl	1,82	-4,4530	8,0989	0,7703
	US30-Ctrl	2,90	-3,3725	9,1794	0,4374
	US90-Ctrl	0,73	-5,5501	7,0017	0,9877
	Term90-Term30	-3,26	-9,5398	3,0120	0,3486
	US30-Term30	-2,18	-8,4593	4,0925	0,6552
	US90-Term30	-4,36	-10,6369	1,9149	0,1688
	US30-Term90	1,08	-5,1954	7,3565	0,9502
	US90-Term90	-1,10	-7,3730	5,1788	0,9476
	US90-US30	-2,18	-8,4536	4,0983	0,6570

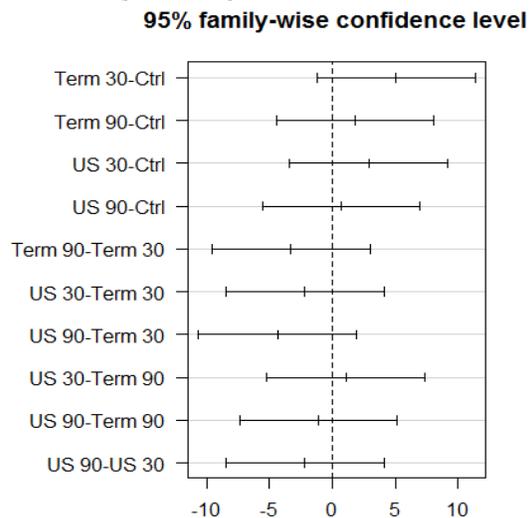
Fonte: Autor, 2015. Legenda: Ctrl = controle.

Figura 46- Gráfico do teste de Tukey para o volume acumulado de CH₄ (%).



Fonte: Autor, 2015.

Figura 47 - Gráfico do teste de Tukey para remoção de DQO.



Fonte: Autor, 2015.

Apesar dos melhores resultados obtidos no ensaio de pré-tratamento térmico de 30 minutos para as variáveis VCH₄ e remoção de DQO (%), observou-se por intermédio da análise estatística de Anova e de Tukey, a um nível de significância de 5%, que não houve dispersão significativa entre as médias dos pré-tratamentos empregados à FORSD e o ensaio de controle. Portanto, sugere-se realizar ensaios de pré-tratamento em escalas maiores para avaliar se o emprego do pré-tratamento da FORSD proporciona um custo energético viável em contrapartida da maior eficiência no tratamento e na produção de biogás.

6 CONCLUSÃO

A aplicação do questionário socioambiental mostrou-se como uma ferramenta imprescindível para o conhecimento da área e contato com o público alvo, facilitando assim as ações posteriores de EA com o intuito de se tornar habitual a segregação da FORSD na origem.

Os residentes do bairro Pici, Fortaleza-CE, amostrados nesta pesquisa, apresentaram características socioeconômicas que podem ter contribuído para uma participação representativa neste projeto, isso devido à maior parte das residências ter uma condição moradia estável, com tempo disponível para realizar a segregação e acondicionamento dos resíduos em função de sua ocupação profissional e pela possibilidade de haver no mínimo um dos residentes no local.

Os RSD analisados possuíram uma elevada geração *per capita*, contendo teor médio de MO de 55,9%, que demonstra a atratividade de se implantar um sistema de coleta e reaproveitamento da FORSD. Vale destacar que durante o processo de quarteamento dos RSD foram encontrados resíduos perigosos, apontando a necessidade de ações para ensinar a população a descartar corretamente esses resíduos.

Foi possível uma participação em potencial, no final do programa da coleta seletiva da FORSD, de 61% das residências, com a contribuição efetiva de 33% dos domicílios, doando uma massa estimada de cerca de 121 Kg, quantidade esta que foi satisfatória para a finalidade deste projeto. Se fosse estendido aos demais dias da coleta sistemática seria viável a estruturação um sistema piloto de tratamento da FORSD via biodigestão anaeróbia. Informa-se ainda que a partir da 3ª coleta a FORSD já estava limpa, sem a interferência de materiais indesejáveis.

A quantidade de desistentes atingiu um patamar 40%, indicando a necessidade de se intensificar as ações de sensibilização. A expansão das ações de EA teve algumas interferências devido às limitações de recursos humanos e de materiais disponíveis para assegurar maior participação e cobertura das residências no programa de coleta seletiva da FORSD.

Conclui-se também que a FORSD analisada mostrou-se ser altamente biodegradável, e rica em nutrientes, estando apta ao tratamento via biodigestão anaeróbia. Porém, sendo preciso a correção do pH e adequação da razão C/N. Na análise estatística, a composição do resíduo foi bastante heterogênea, exigindo caracterização prévia antes da alimentação em reatores anaeróbios para atender aos requisitos operacionais e ambientais definidos no tratamento.

Nos ensaios de biodegradabilidade, sob a perspectiva de analisar as melhores condições de agitação e dosagens de alcalinidade, foram encontrados melhores resultados de AME, produção e composição de biogás e remoção de DQO nos frascos incubados a uma rotação de 150 rpm e com adição de alcalinizante numa concentração de 1g/L.

As técnicas de pré-tratamento térmicas e ultrassônicas influenciaram positivamente na biodegradabilidade da FORSD, sendo justificado pelos resultados de AME que estiveram superiores aos frascos de controle. Todavia, o tipo de pré-tratamento e o tempo de exposição que proporcionou maior biodegradabilidade da FORSD foi o térmico submetido a 30 minutos no processo de autoclavagem. Entretanto, recomenda-se realizar ensaios de pré-tratamento em escalas maiores buscando avaliar se a relação custo/benefício do emprego do pré-tratamento da FORSD torna-se viável. Em caso positivo, destaca-se que a condição de pré-tratamento térmico durante 30 minutos pode oferecer vantagens de maior praticidade operacional, custo energético reduzido, e, ainda, melhores resultados de remoção da matéria orgânica e produção de biogás.

Ressalta-se também que em todos os ensaios de biodegradabilidade cerca de 60% ou mais do biogás era composto por metano. Outra informação importante é que nenhum dos testes de biodegradabilidade foi suplementado solução de macro e micronutrientes, verificando que apenas a co-digestão do resíduo (sem o incremento adicional de nutrientes) com lodo anaeróbio de cervejaria proporcionou bons níveis de estabilidade operacional e ambiental do processo.

7 RECOMENDAÇÕES

Diante dos resultados desta pesquisa, propõe-se como recomendações:

- a) Reforçar as ações de EA, visando ampliar a participação de maior número de residências na segregação não apenas para a coleta seletiva da FORSD, mas também dos materiais recicláveis. Deve se atentar para a conscientização da população na gestão dos resíduos sólidos, incorporando de forma habitual as boas práticas de destinação ambientalmente adequada;
- b) Criar parcerias com entidades públicas e privadas a fim de se ampliar a proposta desenvolvida para as demais regiões, garantindo assim o desenvolvimento sustentável de sistemas de coleta e tratamento dos resíduos orgânicos;
- c) Assegurar a inclusão social dos catadores pelo envolvimento e beneficiamento dos mesmos na coleta e triagem dos RSD. Vale salientar que os catadores da região necessitam estar envolvidos em associações ou cooperativas de agentes de material reciclagem para oferecer melhores condições de trabalho e higiene ocupacional, além do incremento com a renda familiar pelo reaproveitamento dos resíduos assim como prevê a PNRS;
- d) Para os ensaios de digestão anaeróbia da FORSD, torna-se necessário realizar experimentos em escala piloto e real para avaliar a melhor relação custo/benefício do emprego dessa tecnologia no tratamento dos resíduos orgânicos. Reforça-se também o emprego da co-digestão anaeróbia da FORSD com lodos anaeróbios oriundos de estações de tratamento de esgoto sanitários para avaliar o desempenho e o potencial da biodigestão nesse caso e, ao mesmo tempo, propondo-se uma solução viável para o problema de destinação de lodos das estações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, A. L. M. B. M. *et al.* Proposta alternativa para a coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos na cidade de Campo Grande/MS, valorizando a participação dos catadores. *In:* Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 25., 2000, Porto Alegre. **Anais...** ABES: Porto Alegre, 2000.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil/2011.** 9º ed. Abrelpe, 2011.

_____. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil/2013.** 11º ed. Abrelpe, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:** apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002a.

_____. **NBR 6023:** referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002b.

_____. **NBR 6024:** numeração progressiva das seções de um documento. Rio de Janeiro, 2003a.

_____. **NBR 6027:** sumário. Rio de Janeiro, 2003b.

_____. **NBR 6028:** resumos. Rio de Janeiro, 2003c.

_____. **NBR 10004:** Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

_____. **NBR 10007:** Amostragem de Resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004b.

AGUIAR, A.; PHILIPPI Jr., A. A estruturação de programas de coleta seletiva. *In:* Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 21, 2001, João Pessoa/PB. **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

ALCÂNTARA, A. J. O. 2010. **Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos e Caracterização Química do Solo da Área de Disposição Final do Município de Cáceres – MT.** Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado do Mato Grosso, Cáceres – MT, 2010.

AMARAL, F. L. M. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos sólidos urbanos: um panorama tecnológico atual.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental/Área de Concentração: Mitigação de impactos ambientais) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, 2004. 107p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIRONMENT FEDERATION – WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 21ed. Washington D C: APHA, 2005, 1155p.

ANDRADE, R. M. **Globalização e Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.**

Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental/Área de Concentração: Tratamento e destino final de resíduos sólidos) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, 2008. 98p.

ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. **Rede: Revista Eletrônica do Prodema**, v. 6, p. 7-22, 2011.

ANDREOLI, C.V. *et al.* Secagem e higienização de lodos com aproveitamento de biogás. *In*: Sérgio Túlio Cassini (Org.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás** / Sérgio Túlio Cassini (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 210 p. : Il. Projeto Prosab.

ANGELIDAKI, I. *et al.* Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays. **Water Science and Technology**, v. 53, p. 927-934, 2009.

AQUINO, S. F., *et al.* O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.2, p.192-201. 2007.

AQUINO, Sergio Francisco de; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 10, n.2, p. 152-161, 2005.

AYRES, M. **Aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas.** 5º ed. Belém-Pará-Brasilm 2007.

AZEITONA, D. C. L. **Efeitos de Pré-tratamentos Térmicos na Digestão Anaeróbia Termófila de Resíduos de Casca de Batata.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Setembro, 2012.

BARBOSA, Gisele S. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. **Visões** (Rio de Janeiro. Impresso), v. 4, p. 63-72, 2008.

BARBOSA, M. S.; GUARDAGNIN, M. R. Estudo de caso de implantação de coleta seletiva porta-a-porta no bairro São José -Sombrio - SC. *In*: Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 7, 2010, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2010.

BARREIRA, L. P. ; PHILIPPI JUNIOR, A. ; RODRIGUES, M. S. Usinas de compostagem do Estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Engenharia Sanitária e Ambiental** , v. 11, p. 385-393, 2006

BARROS JÚNIOR, C. Modelo de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – estudo para o município de Maringá, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Technology**, v. 25, n. 1, p. 17-23, 2003.

BARROS, F. J. R.; FERNANDES, F. Sistema alternativo de coleta de resíduos sólidos domiciliares em município de médio porte, visando incrementar a reciclagem de inertes e facilitar a compostagem da fração orgânica: caso de Ibiporã – PR. *In*: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 26, 2011, Porto Alegre/RS. **Anais...** Porto Alegre: ABES, 2011.

BARROS, R. T. B. **Elementos de gestão de resíduos sólidos** / Raphael Tobias de Vasconcelos Barros. Belo Horizonte: Tessitura, 2012. 424 p. : il.

BERLINGUER, G. Globalização e saúde global. **Estudos avançados**, 13 (35), 1999.

BERNARDES, Márcio de Souza. Os desafios para a efetivação da política nacional de resíduos sólidos frente a figura do consumidor-gerador. *In*: I Congresso Internacional de Direito Ambiental e Ecologia Política e III Simpósio Ecologia Política e Direito na América Latina, 2012, Santa Maria. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**. Santa Maria: Editora da UFSM, 2012. p. 193-204.

BESEN, G. R. *et al.* Resíduos sólidos: vulnerabilidades e perspectivas. *In*: SALDIVA P. *et al.* **Meio ambiente e saúde: o desafio das metrópoles**. São Paulo: Ex Libris, 2010.

BESEN, G. R. Gestão Sustentável de resíduos sólidos na região metropolitana de São Paulo. *In*: Maria Cecília Loschiavo dos Santos, Sylmara Lopes Francelino Gonçalves Dias. (Org.). **Resíduos Sólidos Urbanos e seus impactos socioambientais**. 1ed. São Paulo: IEE/USP, 2012, v., p. 55-60.

BOLZONELLA, D. *et al.* **Mesophilic, Thermophilic And Temperature Phased Anaerobic Digestion Of Waste Activated Sludge**. Icheap-9: 9th International Conference on Chemical and Process Engineering, 2009, Pts 1-3 , 17 , 385–390.

BORGES, E. S. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Efeito do tratamento térmico de lodo anaeróbio sobre as características de biodegradabilidade da fração orgânica. **Eng Sanit Ambient** | v.14 n.4 | out/dez 2009 | 489-498.

BRAGA, F. S; NÓBREGA, C. C.; HENRIQUES, V. M. Estudo da composição dos resíduos sólidos domiciliares em Vitória – ES. 2000. **Revista Limpeza Pública**, v. 55, p.11-17, 24, 2000.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Data da legislação: 31/08/1981 - **Publicação DOU**, de 02/09/1981.

_____. Lei de Nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a Educação Ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. Data da legislação: 27/04/1999 - **Publicação DOU**, de 28/04/1999.

_____. Lei Nº11.107, de 06 de abril de 2005 - Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. Brasília, 6 de abril de 2005; 184º da Independência e 117º da República. **Publicado no DOU** em 07.04.2005.

_____. Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007 - Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis Nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. **Publicado no Diário Oficial da União** em 08.01.2007.

_____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento (PMSS). **Instrumentos das políticas e da gestão dos serviços públicos de saneamento básico** / coord. Berenice de Souza Cordeiro. – Brasília: Editora, 2009. 239p. (Lei Nacional de Saneamento Básico: perspectivas para as políticas e gestão dos serviços públicos.; v.1).

_____. Presidência da República. 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. **Publicada no D.O.U.**, Seção 1, de 3 de agosto de 2010.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **Guia para elaboração dos Planos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília - DF, 2011.

BRAÚNA, C. H. C. **Co-digestão anaeróbia de tortas de oleaginosas visando à produção de metano**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2012. 157 p.

BRINGHENTI, J. R. ; GUNTHER, W. M. R. Participação Social em Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental** , v. 16, p. 421-430, 2011.

BRUSA, A. B. S. D. ; LUCA, Sérgio J. de ; CLARKE, Robin Thomas . Índice de Impacto dos Resíduos Sólidos Urbanos na Saúde Pública (IIRSP): Metodologia e Aplicação. **Engenharia Sanitária e Ambiental JCR**, Rio de Janeiro, v. 9, n.4, p. 329-334, 2004.

BUSS, P. M. Globalização, pobreza e saúde. **Ciência e Saúde Coletiva (Impresso) JCR**, v. 12, p. 1575-1589, 2007.

CAMPOS, HELIANA KÁTIA TAVARES. Renda e evolução da geração per capita de resíduos sólidos no Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental JCR**, v. 17, p. 171-180, 2012.

CANTELMO, N. F.; FERREIRA, D. F. Desempenho de testes de normalidade multivariados avaliado por simulação Monte Carlo. **Ciênc. agrotec.**, Lavras.31, n6p.30-1, nov./dez., 2007.

CANTERI, M. G. *et al.* Sasm-Agri - sistema para análise e separação de médias em experimentos agrícolas pelos métodos Scott-Knott, Tukey e Duncan. **Revista Brasileira de Agrocomputação**, v.1 n.2, p.18-24, Dez.2001.

CARNEIRO, P. H.; SOUTO, G. D. B.; POVINELLI, J. Digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos em sistema de duas fases utilizando mistura de percolado de aterro sanitário e lodo anaeróbio como inóculo. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23., 2005, Campo Grande. **Anais... 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 1. p. 064-074.

CARNEIRO, P. M. **Remoção de BTEX em biorreatores anaeróbios sob condições Metanogênicas, desnitrificantes e sulfetogênicas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Fortaleza, 2012.

CASSINI, S. T., *et al.* Hidrólise e atividade anaeróbia em lodos. *In: Sérgio Túlio Cassini (Org.). Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás / Sérgio Túlio Cassini (coordenador)*. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 210 p. : II. Projeto Prosab.

CEARÁ. Governo do Estado do Ceará. Lei Nº13.103, de 24 de janeiro de 2001 - Da Política Estadual de Resíduos Sólidos. **Palácio do Governo do Estado do Ceará**, em Fortaleza, 24 de janeiro de 2001.

CEMPRE. COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. 2014. **Composto urbano**/Artigos e publicações, Fichas Técnicas. Disponível em: <<http://www.cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/10/composto-urbano>>. Acesso em: 09 set. 2014.

_____. **CEMPRE CICLOSOFT 2012: Radiografando a coleta seletiva**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ciclosoft_2012.php>. Acesso em: 10 set. 2014

CHAE, J. *et al.* The effects of digestion temperature and temperature shock on the biogas yields from the mesophilic anaerobic digestion of swine manure, **Bioresour. Technol.**, vol. 99, pp. 1-6, 2008.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 1997.

CINQUETTI, H. S. Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos. **Educar**, Curitiba, n. 23, p. 307-333, 2004. Editora UFPR.

CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO (CNMAD) (1992: Rio de Janeiro). **Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento**: de acordo com a Resolução.JP! 44/228 da Assembléia Geral da ONU, de 22-12-89, estabelece uma abordagem equilibrada e integrada das

questões relativas a meio ambiente e desenvolvimento: a Agenda 21 - Brasília: Câmara dos Deputados, Coordenação de Publicações, 1995. 472p. - (Série ação parlamentar; n. 56).

COPOLA, G. **A Política Nacional de Resíduos Sólidos**. JAM Jurídica (Salvador), v. 8, p. 12, 2011.

CRISOSTIMO, A. L. Educação Ambiental, Reciclagem de Resíduos Sólidos e Responsabilidade Social: formação de educadores ambientais. **Revista Conexão**, UEPG, v. 7, p. 88-95, 2011.

CRUZ, M. L. F. R. **A caracterização de resíduos sólidos no âmbito da sua gestão integrada**. 2005. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente - Qualidade Ambiental). Universidade do Minho, Braga – Portugal. 2005.

DANTAS, C. P. B. A questão da competência para a prestação do serviço público de saneamento básico no Brasil. *In*: Cristiana Fortini; Juliana Picinin. (Org.). **Saneamento básico: estudos e pareceres à luz da Lei nº 11.445/2007** / Organizadores: Juliana Picinin; Cristina Fortini; prefácio: Carlos Ari Sundfeld. Belo Horizonte: Fórum, 2009. 310 p.

DIAS, D. M. *et al.* Modelo para estimativa da geração de resíduos sólidos domiciliares em centros urbanos a partir de variáveis socioeconômicas conjunturais. **Engenharia Sanitária e Ambiental JCR**, v. 17, p. 325-332, 2012.

EMBRAPA. **Plano Nacional de Agroenergia 2006-2011** / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Secretaria de Produção e Agroenergia. 2. ed. rev. - Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 2006. 110 p.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Method 9045 D: Soil and Waste pH**. United States, 2004. 65. Disponível em:
<<http://www.epa.gov/wastes/hazard/testmethods/sw846/pdfs/9045d.pdf>>. Acesso em: jul. 2013.

ESPOSITO, G. *et al.* Bio-Methane Potential Tests To Measure The Biogas Production From The Digestion and Co-Digestion of Complex Organic Substrates. **The Open Environmental Engineering Journal**, 2012, 5, 1-8.

FACCHIN, V. *et al.* Batch and Continuous Mesophilic Anaerobic Digestion of Food Waste: Effect of Trace Elements Supplementation. **Chemical engineering transaction**, VOL. 32, 457-462, 2013, DOI: 10.3303/CET1332077.

FACUNDO, A. A. C.; SANTOS, G. O. Potencial Econômico dos Materiais Recicláveis de Fortaleza - Ceará. *In*: Congresso Norte - Nordeste de Pesquisa e Inovação CONNEPI, 5., 2010, Maceió. **Anais...** Maceió – AL: IFAL, 2010.

FAGUNDES BUENO, Diana C. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio-SP. **Sociedade & Natureza** (UFU. Impresso), v. 21, p. 159-180, 2009.

FANTOZZI, F., BURATTI, C., 2011. Anaerobic digestion of mechanically treated OFMSW: experimental data on biogas/methane production and residues characterization. **Bioresour. Technol.** 102, 8885–8892.

FELIZOLA, C. S. ; LEITE, V. D. ; PRASAD, S. . Estudo do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás. **Agropecuária Técnica** (UFPB), v. 27, p. 53/1-62, 2006.

FERNÁNDEZ, A. *et al.* Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. **Biochemical Engineering Journal** 26 (2005) 22–28.

FERREIRA, J. A. ; ANJOS, L. A. . Aspectos de Saúde Coletiva e Ocupacional Associados à Gestão dos Resíduos Sólidos Municipais. **Cadernos de Saúde Pública** (FIOCRUZ) **JCR**, Rio de Janeiro, v. 17, n.3, p. 689-696, 2001.

FIGUEIREDO, F. F. O desenvolvimento da indústria da reciclagem dos materiais no Brasil: motivação econômica ou benefício ambiental conseguido com a atividade. Scripta Nova. **Revista electrónica de geografía y ciencias sociales**. Universidadde Barcelona. I ISSN:1138-9788. Depósito Legal:B. 21. 741-98 Vol.X VI , núm. 387, 1 de enero de 2012.

FIRMEZA, S. M. **A caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares de Fortaleza como fator determinante do seu potencial reciclável**. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, CE, 2005.

FORESTI, E.; *et al.* Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. *In*: José Roberto Campos. (Org.). **Sistemas Anaeróbios para Tratamento de Esgoto Doméstico**. 1ed. Rio de Janeiro: ABES, 1999, v. , p. 29-52.

FORSTER-CARNEIRO, T., PEREZ, M., ROMERO, L.I., SALES, D. Dry-thermophilic anaerobic digestion of organic fraction of the municipal solid waste: focusing on the inoculum sources. **Bioresource Technology** 98, 3195–3203, 2007.

FORTINI, C.; ROCHA, R. B. Consórcios públicos, contratos de programas e a Lei de Saneamento. *In*: Cristiana Fortini; Juliana Picinin. (Org.). **Saneamento básico: estudos e pareceres à luz da Lei nº 11.445/2007** / Organizadores: Juliana Picinin; Cristina Fortini; prefácio: Carlos Ari Sundfeld. Belo Horizonte: Fórum, 2009. 310 p.

FREIRE, Estevão; Lopes, G. B. . Implicações da Política Nacional de Resíduos Sólidos para as práticas de gestão de resíduos no setor de confecções. **Revista Design, Inovação e Gestão Estratégica** - REDIGE, v. 4, p. 1-21, 2013.

GAO, W. J. *et al.* Effects of temperature and temperature shock on the performance and microbial community structure of a submerged anaerobic membrane bioreactor. **Bioresource Technology** 102 (2011) 8733–8740.

- GASHAW, A. Anaerobic co-digestion of biodegradable municipal solid waste with human excreta for biogas production: A review. **American Journal of Applied Chemistry** 2014; 2(4): 55-62.
- GIL, ANTONIO CARLOS. **Métodos e técnicas de pesquisa social** / Antonio Carlos Gil. - 6. ed. - São Paulo : Atlas, 2008.
- GIRARDI; L. H.; CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L. Erro tipo I e poder de cinco testes de comparação múltipla de médias. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.27, n.1, p.23-36, 2009.
- GODECKE, MARCOS VINICIUS; Figueiredo, João Alcione Sganderla; Naime, R. H. O consumismo e a geração de resíduos sólidos urbanos no Brasil. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, p. 1700-1712, 2013.
- GONÇALVES, Manuel Souteiro. **Gestão de resíduos orgânicos**. Editora SPI – Sociedade Portuguesa de Inovação Consultadoria Empresarial e Fomento da Inovação, S.A. Porto • 2005 • 1.ª edição.
- GOOGLE. **Dados cartográficos Google (2014)/Google Fusion**. Elaborado pelo Autor, 2015.
- GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência e Saúde Coletiva (Impresso) JCR**, v. 17, p. 1503-1510, 2012.
- GRASSO, Domenic. 1993 Livro **Hazardous waste site remediation source control**. 1993.
- GRIMBERG, E. **Abrindo os sacos de “lixo”: um novo modelo de gestão de resíduos está em curso no país**. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://amaivos.uol.com.br/amaivos09/noticia/noticia.asp?cod_noticia=9105&cod_canal=49>. Acesso em: 01 set. 2014.
- IBAM. Instituto Brasileiro de Administração Municipal. **Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos** / José Henrique Penido Monteiro. [et al.]; coordenação técnica Victor ZularZveibil. Rio de Janeiro: IBAM, 2001. 200 p.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a.
- _____. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b.
- IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: relatório de pesquisa**. IPEA: Brasília, 2012.
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégica Econômica do Ceará. **Mapa das Regionais de Fortaleza**. IPECE, 2013.

JACOBI, Pedro Roberto; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados** (USP. Impresso), v. 25, p. 135-158, 2011.

KHALID, A. *et al.* The anaerobic digestion of solid organic waste. Reproduced from **Waste Management**, 31: 1737-1744 (2011).

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem? Maturação e qualidade do composto**. Piracicaba USP, 1998. 171p.

LEITE, V. D. *et al.* Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Eng. sanit. ambient.** Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, 280-284.

_____. *et al.* Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.13, n.2, p.190–196, 2009.

LETTINGA, G.; REBAC, S.; ZEEMAN, G. Challenge of psychrophilic anaerobic wastewater treatment. **TRENDS in Biotechnology**. Vol.19, Nº.9, September 2001.

LIBÂNIO, Paulo Augusto Cunha. **Avaliação da eficiência e aplicabilidade de um sistema integrado de tratamento de resíduos sólidos urbanos e de chorume** / Paulo Augusto Cunha Libânio. – 2002. 156f. : il.

LIMA, Luiz Mário Queiroz. **Lixo: tratamento e biorremediação**. 3 ed., Revista e Ampliada, 2004.

LIMA, Jose Dantas de. **Sistemas integrados de destinação final de resíduos sólidos urbanos**. 1. ed. João Pessoa: José Dantas de Lima, 2005. v. 1000. 277p .

LINO, F. A. M.; ISMAIL, F. A. R. Energy and environmental potential of solid waste in Brazil. **Energy Policy**, 39 (2011) 3496–3502.

LIRA, W. S *et al.* Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Quim. Nova**, Vol. 33, No. 7, S1-S2, 2010.

LIU, Y. TAY, J. (2004). State of tger Art Biogranulation Technology for Wastewater Treatment. **Biotechnology Advances** 22: 533-563.

LIU, X. *et al.* Pilot-scale anaerobic co-digestion of municipal biomass waste: Focusing on biogás production and GHG reduction. **Renewable Energy** 44 (2012) 463-468.

LIXÕES a céu aberto resistem, apesar do fim do prazo para substituí-los por aterros sanitários. **Agência Senado**, Senado Federal - Praça dos Três Poderes - Brasília DF, 01 agosto 2014. Disponível em: <<http://www12.senado.gov.br/noticias/materias/2014/08/01/lixoes-a-ceu-aberto-resistem-apesar-do-fim-do-prazo-para-substitui-los-por-aterros-sanitarios>>. Acesso em: 02 set. 2014.

LOPES, Wilton Silva ; LEITE, V. D. ; SOUSA, José Tavares de . Avaliação do Processo de Biodigestão anaeróbia de Resíduos Sólidos. *In*: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27., **Anais...** Porto Alegre, 2000.

LOPES, Luciana. **Gestão e Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos: alternativa para pequenos municípios**. Dissertação (Mestrado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo (USP), 2006.

LOPES, W. S. *et al.* Influência da Umidade na Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos. *In*: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitaria y Ambiental, 28., **Anais...** Cancun, Mexico, 2002.

MACHADO, F. L. O. **Co-digestão anaeróbia de microalgas e de glicerol residual do biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, 2012. 108f.

MAGNI, A. A. C.; GÜNTHER, W. M. R. Cooperativas de catadores de materiais recicláveis como alternativa à exclusão social e sua relação com a população de rua. **Saúde Soc.** São Paulo, v.23, n.1, p.146-156, 2014. DOI 10.1590/S0104-12902014000100011

MANSOR *et al.* São Paulo (Estado) Secretaria do Meio Ambiente. **Resíduos Sólidos** / Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental; autores: Mansor, Maria Teresa C.; Camarão, Teresa Cristina R. Costa; Capelini, Márcia; Kovacs, André; Filet, Martinus; Santos, Gabriela de A.; Silva, Amanda Brito - - São Paulo : SMA, 2010. 76 p. : 15 x 23 cm. (Cadernos de Educação Ambiental, 6).

MASSUKADO, L. M. **Sistema de Apoio a Decisão: Avaliação de cenários de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Brasil, 2004. 230p.

MAYER, Mateus Cunha. Estudo da influência de diferentes inóculos no tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos. [manuscrito] / Mateus Cunha Mayer. – 2013. 34 f. : il. color.

MESQUITA JÚNIOR, José Maria de. **Gestão integrada de resíduos sólidos** / José Maria de Mesquita Júnior. Coordenação de Karin Segala. – Rio de Janeiro: IBAM, 2007. 40 p. 21 cm. (Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos).

MINGOTI, S. A. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. Belo Horizonte: Editora: UFMG, 2005. 295p.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos** / Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano – Brasília: MMA, out., 2010.

____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Versão preliminar para Consultoria Pública. Brasília: MMA, set. 2011.

____. **Responsabilidade Socioambiental: a política dos 5R's**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/item/9410-a-pol%C3%ADtica-dos-5-r-s>>. Acesso em: 01. set. 2014.

MOISÉS, M. *et al.* A política federal de saneamento básico e as iniciativas de participação, mobilização, controle social, educação em saúde e ambiental nos programas governamentais de saneamento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 15, p. 2581-2591, 2010.

MONTEGGIA, L. Proposta de metodologia para avaliação do parâmetro Atividade Metanogênica Específica. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19., Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: ABES, 1997.

MORAES, Luciana de Mattos. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lodos de esgoto provenientes de reatores anaeróbios seqüenciais** / Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Luciana de Mattos Moraes.--Campinas, SP: [s.n.], 2005.

MORAES, J. L. Os consórcios públicos e a gestão integrada de resíduos sólidos em pequenos municípios do estado do Ceará, Brasil. **REVISTA GEONORTE**, Edição Especial, V.3, N.4, p. 1171-1180, 2012.

MOTA, S. **Introdução a Engenharia Ambiental**/Suetônio Mota: 4. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 388p.: il.,

____. **Introdução à Engenharia Ambiental**/Suetônio Mota: 4 ed. Rio de Janeiro: Expressão Gráfica, 2010.

MOYSÉS, G. L. R.; MOORI, R. G. Coleta de dados para a pesquisa acadêmica: um estudo sobre a elaboração, a validação e a aplicação eletrônica de questionário. *In*: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 27., **Anais...** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 2007.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade e Natureza**, v. 20, Uberlândia, p. 111-113, jun. 2008.

NAGASHIMA, L. A. *et al.* Gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – uma proposta para o município de Paranavaí, Estado do Paraná, Brasil. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 1, p. 39-47, 2011.

NASCIMENTO NETO, PAULO ; MOREIRA, T. A. . POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS: reflexões a cerca do novo marco regulatório nacional. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 15, p. 10-19, 2010.

NAPOLEÃO, D. C. *et al.* Avaliação da Qualidade dos Afluentes e Efluentes de ETE de Indústria Farmacêutica Utilizando Análise de Componentes Principais. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2011, 26., Porto Alegre. **Anais...** Abes, 2011.

OLIVEIRA, Luciano Basto ; ROSA, Luiz Pinguelli. Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economics benefits. **Energy Policy**, Inglaterra, v. 31, n.14, p. 1-16, 2003.

OLIVEIRA, Francisco Nelsieudes Sombra. **Uso da compostagem em sistemas agrícolas orgânicos** / Francisco Nelsieudes Sombra Oliveira, Hermínio José Moreira Lima, João Paulo Cajazeira. - Fortaleza : Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 17 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 89).

OLIVEIRA, G. S.; MOTA, F. S. B. Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Fortaleza/CE Dispostos no Aterro Sanitário de Caucaia/CE. **Revista Tecnologia**, 31(1), p. 39-50, Fortaleza, jun. 2010.

ONU. **A ONU e a população mundial / ONU Brasil**, 2014. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-em-acao/a-onu-e-a-populacao-mundial>>/ Acesso em: 20 de junho de 2014a.

_____. **Organização das Nações Unidas Brasil**. A ONU e o meio ambiente. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/a-onu-em-acao/a-onu-e-o-meio-ambiente/>>. Acesso em: 21/08/2014b.

PARANÁ. **Governo do Estado do Paraná. Síntese dos conteúdos da Agenda 21 Global e da Agenda 21 Brasileira**. Paraná, 20--.

PARFITT, J. P.; BRIDGWATER, E. Municipal waste composition – what is still in the residual bin and what can we get out? Proceedings Waste 2010: **Waste and Resource Management** – Putting Strategy into Practice Stratford-upon-Avon, Warwickshire, England, 28-29 September 2010 © Crown copyright 2010

PAULA JUNIOR, D. R. *et al.* Estabilização anaeróbia de lodos. *In: Sérgio Túlio Cassini (Org.) Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás* / Sérgio Túlio Cassini (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. 210 p. : Il. Projeto ProSab.

PEREIRA JÚNIOR, José de Sena. **Aplicabilidade da Lei N° 11.445/2007 – Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico**. Estudo Julho/2008. Câmara dos Deputados, Editora: Biblioteca Digital Câmara, 2008.

PEREIRA-RAMIREZ, O. *et al.* Influência da Recirculação/Alcalinidade no Desempenho de um Reator UASB no Tratamento de Efluente de Suinocultura. *In: Taller y Simpósio Latinoamericano Sobre Digestión Anaeróbia*, 7., **Anais...** 2002, Mérida.

PEREIRA, S. S. ; CURI, R. C. . Modelos de gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos: a importância dos catadores de material reciclável no processo de gestão ambiental. **Engenharia Ambiental (Online)**, v. 9, p. 118-138, 2012.

PICANÇO, A. P. **Influência da recirculação de percolado em sistemas de batelada de uma fase híbrido na digestão da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos**. 2004. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004. 135 f.

PHILIPPI JR., A. **Saneamento, Saúde e Ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, SP: Manole, 2005. (Coleção Ambiental; 2). 842 p.

PMF. Prefeitura Municipal de Fortaleza. **Câmara Municipal**. Lei nº 8.408, de 24 de dezembro de 1999. Estabelece normas de responsabilidade sobre a manipulação de resíduos produzidos em grande quantidade, ou de naturezas específicas, e dá outras providências. 1999: 6p.

_____. **Prefeitura Municipal de Fortaleza**. Mapa da criminalidade e da violência em Fortaleza/Perfil da SER III. Fortaleza, 2011.

_____. **Plano de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos de Fortaleza**. Fortaleza, 2012.

_____. **Regional III**. Fortaleza, 2014a. Acesso em: 20.set.2014. Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/regionais/regional-III>

_____. **Desenvolvimento humano, por bairro, em Fortaleza**. Fortaleza, 2014b.

PORTO, M.F.S. *et al.* Lixo, trabalho e saúde: um estudo de caso com catadores em um aterro metropolitano no Rio de Janeiro, Brasil. **Cad Saúde Pública** 2004; 20(6):1503-1514.

POLAZ, Carla Natacha Marcolino ; Teixeira, Bernardo Arantes do Nascimento . Indicadores de sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 411-420, 2009.

PRADO FILHO, J. F. ; SOBREIRA, Frederico Garcia . Desempenho operacional e ambiental de unidades de reciclagem e disposição final de resíduos sólidos domésticos financiadas pelo ICMS Ecológico de Minas Gerais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, p. 52-61, 2007.

RAO, M. S.; SINGH, S. P. Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimization. **Bioresource Technology**, v. 95, n. 2, p. 173-185, 2004.

RAPOSO, F. *et al.* Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 16 (2011a) 861–877.

RAPOSO, F., *et al.*, 2011b. Biochemical methane potential (BMP) of solid organic substrates: evaluation of anaerobic biodegradability using data from an international interlaboratory study. **J. Chem. Technol. Biotechnol.** 86, 1088–1098.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013

REDCLIFT, Michael R. Sustainable development (1987-2005) – an oxymoron comes of age. **Horizontes Antropológicos**, Porto Alegre, ano 12, n. 25, p. 65-84, jan./jun. 2006.

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

REIS, Alexandro dos Santos. **Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio** / Alexandro dos Santos Reis. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Núcleo de Tecnologia, 2012.– Recife: O autor, 2012. 63f.. : il. ; 30 cm.

RESENDE, J. H. *et al.* Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Eng Sanit Ambient** | v.18 n.1 | jan/mar 2013 | 1-8.

RIBAS, M. M. F.; MORAES, E. M.; FORESTI, E. Avaliação da acurácia de diversos métodos para determinação de ácidos graxos voláteis e alcalinidade a bicarbonato para monitoramento de reatores anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, nº. 3, p. 240-246, 2007.

RIBEIRO, Livia Maria Pádua . **Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos: Ação Coletiva e Racionalidade dos Atores Sociais - A Experiência de Carmo do Rio Claro, Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Brasil. Título:, Ano de Obtenção: 2006.

RIBEIRO, Wladimir António. **Cooperação Federativa e a Lei de Consórcios Públicos**. – Brasília DF: CNM, 2007. 72 p.

ROCHA, M.A.G. *et al.* Avaliação e comparação entre a atividade metanogênica específica de esgotos doméstico e industrial. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENG. SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., J. Pessoa, **Anais...** João Pessoa: ABES, 2001.

ROCHA, I. L.; AGUIAR, M. I. Análise comparativa de estudos sobre a caracterização física dos resíduos sólidos urbanos gerados em diferentes municípios brasileiros. *In*: Connepi., 7., **Anais...** 2012.

SANTIAGO, LEILA SANTOS ; DIAS, SANDRA MARIA FURIAM. Matriz de indicadores de sustentabilidade para a gestão de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitária e Ambiental JCR**, v. 17, p. 203-212, 2012.

SAITO, MARIA LÚCIA. **O uso do lodo de esgoto na agricultura: precauções com os contaminantes orgânicos** / Maria Lúcia Saito. – Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007. 35 p. : il. — (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, ; 64).

SÃO PAULO (ESTADO), SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Resíduos Sólidos**/Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Coordenadoria de Planejamento Ambiental; autores: Mansor, Maria Teresa C.; Camarão, Teresa Cristina R. Costa; Capelini, Márcia; Kovacs, André; Filet, Martinus; Santos, Gabriela de A.; Silva, Amanda Brito - - São Paulo : SMA, 2010. 76 p. : 15 x 23 cm. (Cadernos de Educação Ambiental, 6).

SCHMIT, K.H., ELLIS T. G. Comparison of temperature phased and other stage of the art process for anaerobic digestion of municipal solid waste. **Water Environ Res** 2001; 73:314–21.

SCUDINO, P. A. **A utilização de alguns testes estatísticos para análise da variabilidade do preço do mel nos municípios de Angra dos Reis e Mangaratiba, Estado do Rio de Janeiro.** Monografia (Licenciado e Bacharel em Matemática). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro: Seropédica, 2008.

SGORLON, J. G. Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas. **Maringá**, v. 33, n. 4, p. 421-424, 2011.
DOI:10.4025/actascitechnol.v33i4.8259

SILVA, W. R. **Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais** (Tése) Química/ Wellington Regis Silva.- João Pessoa, 2009. 159f. : il.

SILVA, C. L. *et al.* A cadeia de biogás e a sustentabilidade local: uma análise socioeconômica ambiental da energia de resíduos sólidos urbanos do aterro da Caximba em Curitiba. **Innovar** (Universidad Nacional de Colombia) **JCR**, v. 19, p. 83-98, 2009a.

SILVA, M. M. P. *et al.* Tratamento aeróbio conjugado de lodos de tanque sépticos e resíduos sólidos orgânicos domiciliares. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science?** V. 4, n.3, 2009b.

SILVA, C. B.; LIPORONE, F. Deposição irregular de resíduos sólidos domésticos em Uberlândia: algumas considerações. **Observatorium: Revista eletrônica de Geografia**, v.2, n.6, 2011.

SILVA, G. A. **Estimativa da geração de biogás no aterro sanitário metropolitano de João Pessoa através do teste bmp.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, 2012.

SIQUEIRA, M. M.; MORAES, M. S. Saúde coletiva, resíduos sólidos urbanos e os catadores de lixo. **Ciência & Saúde Coletiva**, 14(6):2115-2122, 2009.

SIMONETTO, E. O.; BORENSTEIN, Denis . Gestão operacional da coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos - abordagem utilizando um sistema de apoio à decisão. **Gestão e Produção** (UFSCar), v. 13, p. 449-461, 2006.

SNIS. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental/Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: **diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos** – 2012.– Brasília: MCIDADES.SNSA, 2014.143 p.: gráficos, tabelas.

SOUSA, A. N. L. Globalização: Origem e Evolução. **Caderno de Estudos Ciência e Empresa** (FAETE), v. 08, p. ---, 2011.

SOUZA, M. T. S. ; PAULA, M. B. ; SOUZA-PINTO, H. . O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. **RAE Eletrônica** (Online), v. 52, p. 246-262, 2012.

SPEECE, Richard E. **Anaerobic Biotechnology for Industrial Watewaters**. Vanderbilt University. Published by Archae Pr., Tennessee, 1996.

STRAUCH, M.; ALBUQUERQUE, P. P. **Resíduos: como lidar com recursos naturais**. /Organizadores Manuel Strauch, Paulo Peixoto de Albuquerque - São Leopoldo: Oikos, 2008. 220 p.; il.; 16 x 23 cm.

SUZUKI, J. A. N.; GOMES, J. Consórcios intermunicipais para a destinação de RSU em aterros regionais: estudo prospectivo para os municípios no Estado do Paraná. **Eng Sanit Ambient** | v.14 n.2 | abr/jun 2009 | 155-158.

TROMBIN, D. F. *et al.* A relação C/N dos resíduos sólidos orgânicos do bairro universitário da cidade de Criciúma – SC. *In: Encontro Nac. de Eng. de Produção*, 25, **Anais...** – Porto Alegre, RS, Brasil, 29 out a 01 de nov de 2005.

TORMAN, V. B. L.; COSTER, R.; RIBOLDI, J. Normalidade de variáveis: métodos de verificação e comparação de alguns testes não-paramétricos por simulação. **Revista HCPA**. 2012;32(2):227-234.

UNITED NATIONS. **Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future**. New York: United Nations; 1987.

VAVILIN, V. A. *et al.* Distributed Model of Solid Waste Anaerobic Digestion: Effects of Leachate Recirculation and pH Adjustment. **2BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING**, VOL. 81, NO. 1, JANUARY 5, 2003.

VAVILIN, V. A. *et al.* Hydrolises kinetics in anaerobic degradation of particulate organic material. **Waste Management**, 28(6): 939-951. 2007.

VANDEVIVERE P.; DE BAERE L.; VERSTRAETE W. Types of anaerobic digesters for solid wastes. *In: Biomethanization of the organic fraction of municipal solid waste*. **IWA**. 336p. 2002.

VEEKEN, A. *et al.* Effect of pH and VFA on hydrolysis of organic solid waste. **Journal of Environmental Engineering**, Vol. 126, No. 12, December, 2000.

VERMA, Shefali. (2002). **Anaerobic Digestion of Biodegradable Organics in Municipal Solid Wastes**. M.S. Thesis, Fu Foundation School of Engineering and Applied Science, Columbia University.

VESILIND, P. ARNE. Introdução à engenharia ambiental / P. Arne Vesilind, Susan M. Morgan; revisão técnica Carlos Alberto de Moya Figueira Netto, Lineu Belico dos Reis. – São Paulo: **Cengage Learning**, 2011. 2º ed. norte-americana.

VIEIRA, A. C. M. *et al.* Análise da Política Nacional de Resíduos Sólidos, no Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos Domiciliares no Município de Pindamonhangaba. *In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 9. **Anais...** 2012.

VILHENA, André. **Guia da coleta seletiva de lixo/texto e coordenação**. André Vilhena; ilustrações Sandro Falsetti — São Paulo: CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem, 2013.

VINDIS, P. *et al.* The impact of mesophilic and thermophilic anaerobic digestion on biogas production. **Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering**. Volume 36, Issue 2 October 2009.

VOSS, B.L. ; PFITSCHER, E. D. ; ROSA, F. S. ; RIBEIRO, M. S. . Evidenciação ambiental dos resíduos sólidos de companhias abertas no Brasil potencialmente poluidoras*. **Revista Contabilidade & Finanças** (Online), v. 24, p. 125-141, 2013.

WANGEN, D. R. B.; FREITAS, I. C. V. Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos. **Rev. Bras. de Agroecologia**. 5(2): 81-88 (2010). Uberlândia, 2010.

WASTESWORK; AEA. **The composition of municipal solid waste in Scotland**. ZERO WASTE SCOTLAND/natural Scotland. Final Report. Project code: EVA098-001. Research date: March to December 2009. Date: April 2010.

WWF-Brasil. World Wide Fund For Nature Brasil. **O que é desenvolvimento sustentável?**. Disponível em:

<http://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/> Acesso em 21 ago. 2014.

ZANETI, I. C. B. B.; Sá, M. L. M. B. . A educação ambiental como forma de mudanças na concepção de gestão dos resíduos sólidos domiciliares e na preservação do meio ambiente. *In: CD-rom -Associação Nacional de pesquisa e pós-graduação sociedade e meio ambiente- ANPPAS, 2002, CAMPINAS. Anais...* I Seminário da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação de Sociedade e Ambiente, 2002.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Parte I: versão final do questionário socioambiental aplicado com a população do bairro Pici – Fortaleza-CE.

VERSÃO FINAL DO QUESTIONÁRIO SOCIOAMBIENTAL APLICADO COM A POPULAÇÃO AMOSTRADA DO BAIRRO PICI – FORTALEZA-CE.

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL	
---	---	---

QUESTIONÁRIO						
Responsável:		Data:		Hora:		
Dados do entrevistado						
Nome:						
Endereço:						
Contato:						
Perguntas						
1) Sexo:						
<input type="checkbox"/> Feminino			<input type="checkbox"/> Masculino			
2) Estado civil						
<input type="checkbox"/> Solteiro(a)		<input type="checkbox"/> Casado (a)		<input type="checkbox"/> Divorciado (a)		<input type="checkbox"/> Viúvo (a)
3) Que tipo de atividade profissional você está atuando?						
4) Em que situação de ocupação se encontra sua moradia?						
<input type="checkbox"/> Alugada		<input type="checkbox"/> Própria		<input type="checkbox"/> Financiada		<input type="checkbox"/> Outros
Em caso de outras, citar o tipo de ocupação:						
5) Quantas pessoas residem em seu domicílio?						
<input type="checkbox"/> 1 pessoa	<input type="checkbox"/> 2 pessoas	<input type="checkbox"/> 3 pessoas	<input type="checkbox"/> 4 pessoas	<input type="checkbox"/> 5 pessoas	<input type="checkbox"/> 6 pessoas	<input type="checkbox"/> Mais de 6 pessoas
6) Você se preocupa com a proteção do meio ambiente?						
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não			
7) Que medidas você pratica para ajudar na preservação do meio ambiente na sua moradia?						
<input type="checkbox"/> Economiza água		<input type="checkbox"/> Destina o lixo adequadamente		<input type="checkbox"/> Realiza coleta seletiva	<input type="checkbox"/> Participa de programas que estão voltados à conservação do meio ambiente	<input type="checkbox"/> Outras
Em caso de outras, citar as medidas:						
8) Você costuma fazer separação do lixo em seu domicílio?						
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não			

APÊNDICE

APÊNDICE B – Parte II: versão final do questionário socioambiental aplicado com a população do bairro Pici – Fortaleza-CE.

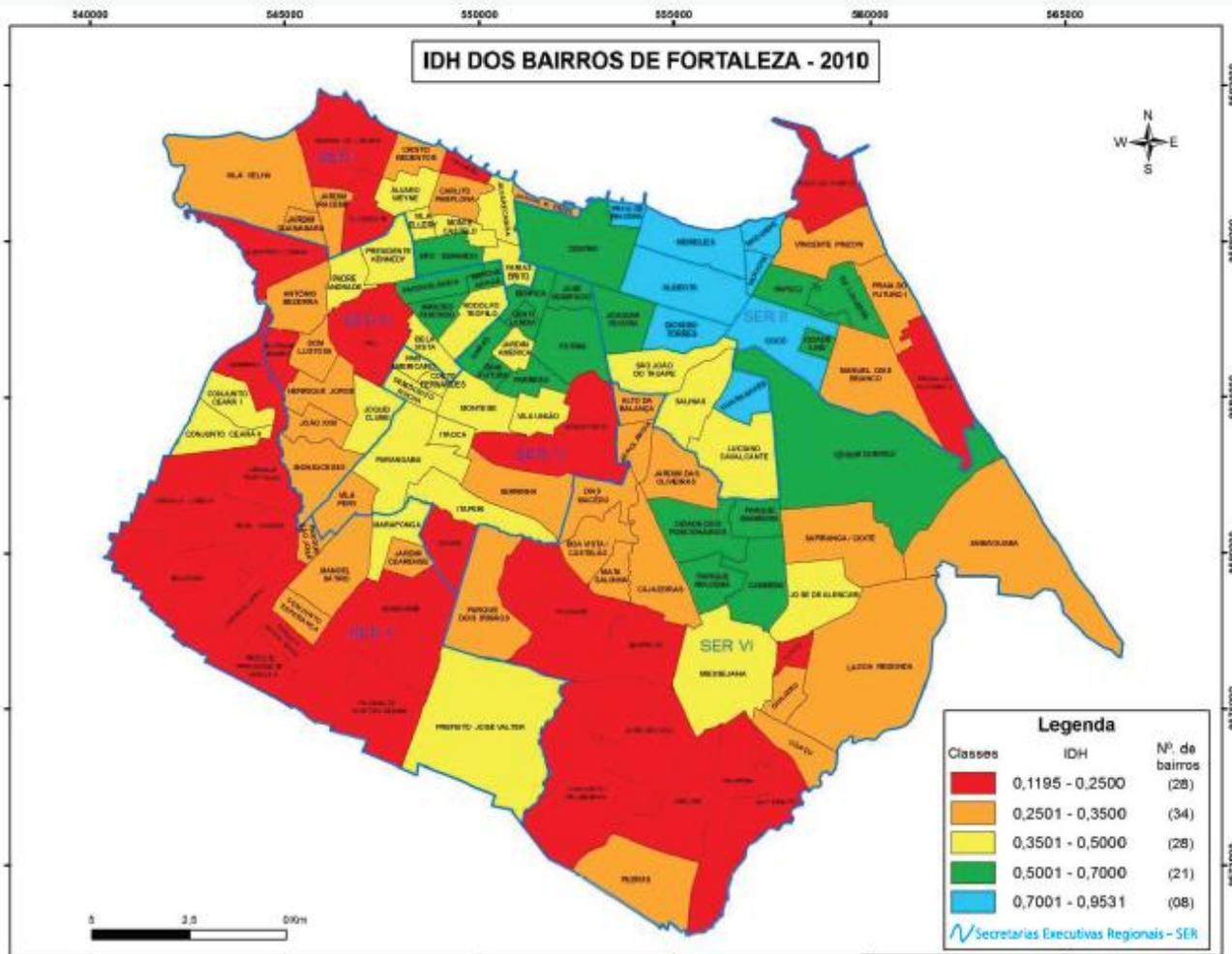
VERSÃO FINAL DO QUESTIONÁRIO SOCIOAMBIENTAL APLICADO COM A POPULAÇÃO AMOSTRADA DO BAIRRO PICI – FORTALEZA-CE (Conclusão).

	UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE TECNOLOGIA CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL MESTRADO EM SANEAMENTO AMBIENTAL	
---	---	---

9) Em caso da resposta anterior positiva, o que você faz com o lixo segregado?						
<input type="checkbox"/> Associação cooperativa de catadores de lixo ou catador individual	<input type="checkbox"/> Postos de entrega voluntária –PEVs	<input type="checkbox"/> Postos de troca de lixo	<input type="checkbox"/> Reaproveitamento	<input type="checkbox"/> Outros		
Em caso de outros, citar o destino:						
10) Qual o destino que você dá ao lixo produzido em sua residência?						
<input type="checkbox"/> Sistema de limpeza pública municipal	<input type="checkbox"/> Queima	<input type="checkbox"/> Terrenos baldios	<input type="checkbox"/> Corpos d'água - rios, riachos, lagoas, etc.	<input type="checkbox"/> Outros		
Em caso de outros, citar o destino:						
11) Em caso da resposta anterior ser o sistema de limpeza pública municipal, com que frequência semanal o transporte público realiza a coleta?						
<input type="checkbox"/> 1 vez	<input type="checkbox"/> 2 vezes	<input type="checkbox"/> 3 vezes	<input type="checkbox"/> 4 vezes	<input type="checkbox"/> 5 vezes		
12) Quais os dias da semana que o transporte público realiza a coleta do lixo?						
<input type="checkbox"/> Domingo	<input type="checkbox"/> Segunda-feira	<input type="checkbox"/> Terça-feira	<input type="checkbox"/> Quarta-feira	<input type="checkbox"/> Quinta-feira	<input type="checkbox"/> Sexta-feira	<input type="checkbox"/> Sábado
13) Qual o horário que o caminhão costuma coletar o lixo em seu domicílio?						
14) Você se compromete a participar da doação do seu lixo para ajudar na execução deste projeto?						
<input type="checkbox"/> Sim			<input type="checkbox"/> Não			
15) Qual seu grau de alfabetização?						
<input type="checkbox"/> Sem escolaridade	<input type="checkbox"/> 1º Grau Incompleto	<input type="checkbox"/> 1º Grau Completo	<input type="checkbox"/> 2º Grau Incompleto	<input type="checkbox"/> 2º Grau Completo	<input type="checkbox"/> Ensino superior completo	<input type="checkbox"/> Outros
Em caso de outros, citar a formação escolar:						
16) Qual é a sua renda familiar mensal?						
<input type="checkbox"/> 1 salário mínimo	<input type="checkbox"/> 2 a 3 salários mínimos	<input type="checkbox"/> 3 a 4 salários mínimos	<input type="checkbox"/> 4 a 5 salários mínimos	<input type="checkbox"/> 5 a 6 salários mínimos	<input type="checkbox"/> 6 a 7 salários mínimos	<input type="checkbox"/> Mais de 7 salários mínimos

ANEXO

ANEXO A – IDH dos bairros de Fortaleza – 2010.



Fonte: PMF, 2014b.