



Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento
- PPGRHS -



**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE
MACEIÓ-AL**

JIMY CARTER LIMA TAVARES

Maceió – AL

Março/2008

Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Centro de Tecnologia – CTEC
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS

**CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE
MACEIÓ-AL**

JIMY CARTER LIMA TAVARES

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento – PPGRHS da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento.

Orientadora:

Prof^a Dra. Nélia Henriques Callado

Maceió – AL

Março/2008

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale

T231c Tavares, Jimmy Carter Lima.
Caracterização dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió-AL / Jimmy Carter Lima Tavares. – Maceió, 2008.
x, 98 f. : il., grafs., tabs.

Orientadora: Nélia Henriques Callado.
Dissertação (mestrado em Engenharia : Recursos Hídricos e Saneamento) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Maceió, 2008.

Bibliografia: f. 91-97.
Anexos: f. 98.

1. Resíduos sólidos urbanos – Maceió (AL). 2. Composição gravimétrica.
3. Composição físico-química. I. Título.

CDU: 628.4.032(813.5)



Universidade Federal de Alagoas
Centro de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento



Membros da **BANCA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO** de Mestrado do Engenheiro Civil **JIMY CARTER LIMA TAVARES**, tendo como título: "CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE MACEIÓ – AL" apresenta ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas a versão final da dissertação, cuja defesa ocorreu no dia 14 de março de 2008, na sala de aula de mestrado do PPGRHS/CTEC/UFAL.

MEMBROS DA BANCA:

Prof.^a.dr.^a. Nélia Henriques Callado

Orientadora – CTEC/UFAL

CPF: 396878214-34

Prof. Dr. Márcio Gomes Barboza/UFAL

CPF: 310.136.864-20

Prof. Dr. José Daltro Filho/UFS

CPF: 098752475-53

A vida pode ser resumida a uma batalha sem fim...

Mas não há o que temer quando se pode viver sem ter medo de lutar.

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a:

Minha esposa e a Lucas meu filho que é a minha maior riqueza.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, ser todo poderoso e pai de toda misericórdia, em segundo aos colaboradores desta obra, dos quais se destacam Nélia Henriques Callado orientadora e amiga, e aos professores do programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas, que direta ou indiretamente contribuíram para a realização dos trabalhos. Meus agradecimentos à Quitéria Maria L. Pinheiro, Severino Daniel dos Santos, Amario Joaquim, João Floriano e Darei da Silva Filho, os funcionários da Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió – SLUM que participaram diretamente das atividades de campo. Meus agradecimentos ao apoio da LIMPEL e Viva Ambiental, empresas responsáveis pela coleta dos resíduos sólidos em Maceió, por terem dado total apoio à pesquisa.

RESUMO

CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DA CIDADE DE MACEIÓ-AL

Jimmy Carter Lima Tavares

Este trabalho apresenta e discute a caracterização dos resíduos sólidos urbanos gerados em Maceió-AL, por meio de ensaios de campo e de laboratório, buscando contribuir para melhorias operacionais no sistema de limpeza urbana da cidade. Os resíduos foram coletados mensalmente a partir de rotas previamente definidas, no período de um ano, em oito bairros diferentes, representando cada um destes uma região administrativa e classe sócio-econômica existente no município. No total foram realizadas sessenta e nove coletas, de março de 2006 a fevereiro de 2007. Nos ensaios de campo, realizados no lixão de Maceió, foram avaliados os parâmetros peso específico e composição gravimétrica; e no laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Alagoas foram realizados os seguintes parâmetros físico-químicos: pH, sólidos (fixos, voláteis e totais) e teor de umidade. Os dados obtidos demonstraram que a composição gravimétrica média dos resíduos sólidos é de 56,6 % de matéria orgânica, 8,9% de papel/papelão, 13,5% de plástico, 1,7% de metais, 1,3% de vidros, 1,5% de madeira/couro/borracha e 2,6% de trapos e 13,8% de terras e similares. A composição físico-química média para a matéria orgânica apresentou pH igual a 4,8, umidade 75,0%, sólidos voláteis igual a 77,7%, e sólidos fixos de 22,3%. Conclui-se que os resíduos sólidos urbanos de Maceió apresentam 56,6% de matéria orgânica putrescível, com potencial para ser utilizada na compostagem, e 25,4% de materiais potencialmente recicláveis, correspondentes a papel/papelão, plásticos, metais e vidros, possibilitando o poder público implantar um programa de coleta seletiva para reciclagem desses materiais.

Palavras chave: caracterização de resíduos sólidos urbanos, composição gravimétrica, composição físico-química.

ABSTRACT

CHARACTERIZATION OF THE URBAN SOLID RESIDUES OF THE MACEIÓ-AL CITY

Jimmy Carter Lima Tavares

This work presents and argues the characterization of the urban solid residues generated in Maceió-AL, by means of laboratory and field assays, searching to contribute for operational improvements in the system of urban cleanness of the city. The residues had been collected monthly from routes previously defined, in the period of one year, in eight different quarters, representing each one of these an administrative region and existing partner-economic classroom in the city. In the total sixty and nine collections had been carried through, of March of 2006 the February of 2007. In the field assays, carried through in the landfill of Maceió, specific weight and gravimetric composition had been evaluated the parameters; in the laboratory (LSA) of the Federal University of Alagoas had been carried through the following parameters physicist-chemistries: pH, solids (fixed, volatile and total) and text of humidity. The gotten data had demonstrated that the average gravimetric composition of the solid residues is of 56,6% of organic substance, to 8.9% of paper/cardboard, 13.5% of plastic, 1.7% of metals, 1.3% of glasses, wooden 1.5% leather/rubber and 2.6% of rags and 13.8% of lands and similes. The composition average physicist-chemistry for the organic substance presented pH equal the 4,8, volatile humidity of 75,0%, solids equal 77.7%, and fixed solids of 22,3%. It is concluded that the urban solid residues of Maceió present of 56,6% of organic substance, with potential to be used in the compostagem, and 25,4% of material potentially you recycle, correspondents the paper/cardboard, plastics, metals and glasses, making possible the public power to implant a program of selective collection for recycling of these materials.

Words key: characterization of urban solid residues, gravimetric composition, chemical physicist composition.

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1.	Classificação dos resíduos sólidos segundo diversos estudos.	11
QUADRO 2.	Formas de acondicionamento para pequenos volumes.	14
QUADRO 3.	Formas de acondicionamento para grandes volumes.	15
QUADRO 4.	Resumos das definições dos tipos de coleta.	16
QUADRO 5.	Tipo de coleta seletiva, características, vantagens e desvantagens.	18
QUADRO 6.	Vantagens e desvantagens da compostagem.	23
QUADRO 7.	Fatores que influenciam a composição gravimétrica dos RSU.	30

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.	Principais benefícios gerados por tonelada de material reciclado.....	20
TABELA 2.	Principais índices de reciclagem no Brasil e outros países.	21
TABELA 3.	Descrição dos processos de compostagem utilizados no Brasil.	22
TABELA 4.	Índices de aplicação da compostagem no Brasil e outros países.....	23
TABELA 5.	Incineração em países desenvolvidos.	24
TABELA 6.	Disposição final dos RSU em diversos países.....	25
TABELA 7.	Elementos de caracterização dos RSU.	26
TABELA 8.	Estimativa da geração de RSU no Brasil.....	27
TABELA 9.	Geração <i>per capita</i> de RSU.....	27
TABELA 10.	Porcentagens típicas dos componentes dos RSU.	33
TABELA 11.	Composições gravimétricas dos RSU em diferentes países (%).	34
TABELA 12.	Composições gravimétricas dos RSU de cidades brasileiras (%).	34
TABELA 13.	Composições gravimétricas dos RSU de Maceió (% base úmida).....	35
TABELA 14.	Valores típicos de peso específico de RSU.	36
TABELA 15.	Umidade dos componentes dos RSU.....	38
TABELA 16.	Composição típica do líquido percolado de aterros sanitários.	40
TABELA 17.	Populações urbanas observadas no período 1950/2000.	47
TABELA 18.	Principais elementos da infra-estrutura operacional utilizados em Maceió. .	48
TABELA 19.	Bairros selecionados e suas principais características.....	51
TABELA 20.	Calendário de obtenção de amostras, Mar/2006– Fev/2007.	51
TABELA 21.	Componentes dos RSU e suas características com a respectiva ordem de separação. 56	
TABELA 22.	Composição gravimétrica média mensal de Maceió (mar/06-ago/07).....	59
TABELA 23.	Composição gravimétrica média mensal de Maceió (set/06-fev/07)	60
TABELA 24.	Composição gravimétrica média dos RSU das RAs (% base úmida).	68
TABELA 25.	Dados comparativos de pesquisas anteriores e da pesquisa atual.	77
TABELA 26.	Potencial de reciclagem e compostagem das regiões administrativas.....	82
TABELA 27.	Médias mensais dos parâmetros físico-químicos dos RSU de Maceió	83
TABELA 28.	Parâmetros físico-químicos dos RSU das regiões administrativas.....	87

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.	Classificação dos RSU segundo a origem.	9
FIGURA 2.	Diagrama de Amostragem dos RSU.....	32
FIGURA 3.	Localização da área de estudo (OLIVEIRA, 2004).....	43
FIGURA 4.	Cidade de Maceió, bairros e regiões administrativas.	44
	Fonte: Prefeitura Municipal de Maceió.	44
FIGURA 5.	Precipitações médias mensais observadas no período de 1972 a 1996.	45
FIGURA 6.	Fotografia aérea do vazadouro de Cruz das Almas.	49
FIGURA 7.	Recipiente adotado para determinação do peso específico.	53
FIGURA 8.	Rompimento dos sacos plásticos.	53
FIGURA 9.	Homogeneização da amostra.	54
FIGURA 10.	Divisão da amostra em 4 partes, com aproximadamente 100kg cada.	54
FIGURA 11.	Primeiro quarteamento, retirada de duas partes restando 200kg.	54
FIGURA 12.	Mistura das duas partes do primeiro quarteamento, cerca de 200kg.	55
FIGURA 13.	Variação do percentual da matéria orgânica ao longo do período de estudo.	60
FIGURA 14.	Variação do percentual de Papel ao longo do período de estudo.	61
FIGURA 15.	Variação do percentual de Papelão ao longo do período de estudo.	62
FIGURA 16.	Variação do percentual de Plástico rígido ao longo do período de estudo.	63
FIGURA 17.	Variação do percentual de Plástico flexível ao longo do período de estudo.	63
FIGURA 18.	Variação do percentual de Latas ao longo do período de estudo.	64
FIGURA 19.	Variação do percentual de Vidro ao longo do período de estudo.	64
FIGURA 20.	Variação percentual de terras e similares ao longo do período estudado.	65
FIGURA 21.	Variação do percentual de Madeira ao longo do período de estudo.	66
FIGURA 22.	Variação do percentual de Couro ao longo do período de estudo.	66
FIGURA 23.	Variação do percentual de Borracha ao longo do período de estudo.	66
FIGURA 24.	Variação do percentual de Trapos ao longo do período de estudo.	67
FIGURA 25.	RA-01, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	68
FIGURA 26.	RA-02, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	69

FIGURA 27.	RA-03, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	70
FIGURA 28.	RA-04, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	71
FIGURA 29.	RA-05, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	72
FIGURA 30.	RA-06, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	73
FIGURA 31.	RA-07, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	74
FIGURA 32.	RA-08, bairro representativo e principais componentes dos RSU.	74
FIGURA 33.	Composição gravimétrica média dos RSU de Maceió.	75
FIGURA 34.	Composição gravimétrica média dos RSU de Maceió e do Brasil.	76
FIGURA 35.	Latas separadas e coletadas pelos catadores.	80
FIGURA 36.	Uso de barra de metal como guincho para coleta de latas pelos catadores. ..	81
FIGURA 37.	Potencial de reciclagem das regiões administrativas.	82
FIGURA 38.	Potencial de compostagem das regiões administrativas.	83
FIGURA 39.	Variação do Peso específico ao longo do período de estudo.	84
FIGURA 40.	Variação do teor de Umidade ao longo do período de estudo.	84
FIGURA 41.	Variação do pH ao longo do período de estudo.	85
FIGURA 42.	Variação de Sólidos voláteis (SV) ao longo do período de estudo.	86
FIGURA 43.	Variação de Sólidos Fixos (SF) ao longo do período de estudo.	86

LISTA DE ABREVIATURAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
ASME	American Society of Mechanical Engineers
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CH ₄	Metano
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CO ₂	Dióxido de Carbono
EPA	Environmental Protection Agency
FIBGE	Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
LSA	Laboratório de Saneamento Ambiental
NBR	Norma Brasileira Registrada
N ₂	Nitrogênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
PEV's	Pontos de Entrega Voluntária
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RA	Região Administrativa
RSD	Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SF	Sólidos Fixos
SLUM	Superintendência de Limpeza Urbana da Maceió
SO ₂	Dióxido de Enxofre
SV	Sólidos Voláteis

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
LISTA DE QUADROS	iii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral	3
2.2 Objetivos específicos.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. Evolução Histórica	4
3.2. Definição dos resíduos sólidos	5
3.2.1. Diferenciação entre os termos resíduos sólidos e lixo.....	6
3.2.2. Definições empregadas para resíduos sólidos	6
3.3. Classificação dos resíduos sólidos.....	7
3.3.1. Classificação quanto ao grau de periculosidade	7
3.3.2. Classificação quanto à origem.....	8
3.3.3. Classificação segundo a área de estudo.....	11
3.4. Limpeza urbana – Ciclo dos RSU da origem à disposição final	12
3.4.1. Histórico	12
3.4.2. Acondicionamento.....	13
3.4.3. Coleta.....	15
3.4.4. Coleta seletiva	17
3.4.5. Reciclagem	19
3.4.6. Compostagem	22
3.4.7. Incineração	24
3.4.8. Disposição final	24

3.5. Caracterização de resíduos sólidos urbanos	26
3.5.1. Geração <i>per capita</i>	27
3.5.2. Composição gravimétrica	28
3.5.2.1. Métodos de determinação da composição gravimétrica.....	30
3.5.2.2. Composição gravimétrica no Brasil e no Mundo	33
3.5.3. Peso específico	36
3.5.4. Teor de umidade	37
3.5.5. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	39
3.5.6. Série de Sólidos	41
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA.....	43
4.1. Localização.....	43
4.2. Características físicas da cidade	45
4.3. Características socioeconômicas	46
4.4. Aspectos da limpeza urbana	48
4.5. Geração e Coleta de lixo.....	48
4.6. Disposição final de lixo	49
5. METODOLOGIA.....	50
5.1. Seleção dos bairros de estudo.....	50
5.2. Determinação do período e frequência de coleta e da realização de ensaios	51
5.3. Realização dos ensaios de campo.....	52
5.3.1. Peso específico aparente.....	52
5.3.2. Composição gravimétrica.....	53
5.4. Realização dos ensaios de laboratório.....	57
5.4.1. Teor de umidade	57
5.4.2. Sólidos fixos e voláteis	58
5.4.3. Potencial hidrogeniônico (pH)	58
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	59
6.1. Composição gravimétrica média mensal dos RSU de Maceió.....	59
6.2. Composição gravimétrica dos RSU por região administrativa de Maceió.....	67
6.3. Variação da composição gravimétrica média dos RSU.....	75
6.4. Avaliação dos componentes potencialmente recicláveis dos RSU de Maceió.....	78

6.5. Parâmetros físico-químicos dos RSU de Maceió	83
7. CONCLUSÕES	88
7.1. Em relação à composição gravimétrica média dos RSU de Maceió	88
7.2. Em relação à composição gravimétrica dos RSU das regiões administrativas	88
7.3. Em relação à variação da composição média mensal dos RSU	89
7.4. Em relação ao aspecto evolutivo da composição gravimétrica	89
7.5. Em relação aos parâmetros físico-químicos	89
7.6. Em relação à reciclagem e compostagem.....	90
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXO	99

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos representam uma das maiores preocupações do mundo moderno. Grande parte do problema relaciona-se com o modelo econômico mundial que tem como característica principal o crescimento global, ocorrendo por meio do consumo e da produção sempre crescentes. Como consequência, os resíduos gerados nesse processo têm provocado poluição ambiental e o comprometimento de vários aspectos sanitários em diversos países.

No caso do Brasil, a problemática dos resíduos sólidos também apresenta aspectos bastante desfavoráveis. Nas cidades brasileiras o crescimento populacional, a falta de infraestrutura e de planejamento dos grandes centros são fatores que têm dificultado o gerenciamento dos resíduos. A consequência do gerenciamento inadequado dos resíduos tem sido: o detrimento à saúde pública, degradação do meio ambiente e comprometimento estético das cidades, prejudicando o turismo e afetando a qualidade de vida da população. Para se entender melhor a gravidade do problema, basta observar os dados relacionados com o tema. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2000), 68,5% dos resíduos sólidos gerados em municípios com até 20 mil habitantes são depositados em locais inadequados, sendo esse percentual equivalente a 73% da população total do país.

Dessa forma, no Brasil lamentavelmente a maior parte do lixo ainda é disposta a céu aberto, envolvendo pobreza, foco de vetores, desmoronamentos, falta de cidadania e queixas de problemas ligados à saúde. Analisando-se os índices, percebe-se que existe pouca ou nenhuma preocupação sanitária no abandono do lixo, mais evidenciado junto à população carente.

Outro aspecto preocupante ligado aos resíduos sólidos é a questão social. Devido ao desemprego e a miséria, muitas famílias têm tentado sobreviver dos grandes depósitos de lixo das cidades. O trabalho de famílias em locais de lançamento desordenado de lixo é completamente insalubre e impróprio, no entanto, isso tem sido uma dura realidade a ser enfrentada pela sociedade brasileira.

Nesse contexto, percebe-se que é imprescindível a criação e aplicação de medidas de gerenciamento para os resíduos produzidos. Contudo, muitas das iniciativas desenvolvidas para solucionar o problema têm enfrentado grandes dificuldades. Os principais elementos que dificultam o gerenciamento dos resíduos são: a falta de

conhecimento sobre os resíduos que são produzidos nas cidades, a aplicação insuficiente de investimentos na área de saneamento e a falta de campanhas de conscientização para a importância da participação da sociedade no gerenciamento dos resíduos.

A primeira etapa para viabilizar o gerenciamento dos resíduos sólidos é o conhecimento detalhado da qualidade e quantidade dos resíduos que são produzidos diariamente. Tal conhecimento consiste em uma caracterização de como, onde e qual lixo é produzido nas diversas áreas de uma determinada cidade.

A caracterização dos resíduos sólidos é de fundamental importância, pois possibilita o estudo do comportamento físico dos elementos que compõe os resíduos podendo-se, portanto compreender melhor a massa como um todo. As características dos resíduos influenciam a umidade, o peso específico seco, o peso específico úmido, a compressibilidade e a resistência das células nos aterros de lançamento final (FARIAS & BRITO, 2000). Além de influenciar também no tipo de equipamento de coleta e na escolha de um processo de tratamento mais adequado à realidade local, sendo determinante na forma como os resíduos serão reutilizados, tratados e dispostos.

Caracterizar os resíduos, entretanto, não é uma tarefa fácil, pois ocorrem variações nas características dos resíduos de lugar para lugar, dependendo muito da situação econômica, cultural e social da área estudada. Além disso, as características dos resíduos podem também sofrer influência da sazonalidade e do clima da região de estudo. Assim, os dados encontrados na literatura a respeito do assunto em uma determinada localidade dificilmente podem ser generalizados para qualquer região, necessitando-se o desenvolvimento de estudos específicos para cada local avaliado.

Tendo ciência dessa conjuntura, nesta pesquisa pretende-se caracterizar os resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió e analisar a variação temporal destes ao longo de um ano, além de estudar os fatores que interferem em suas características.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O presente projeto tem como objetivo geral a caracterização dos resíduos sólidos urbanos (RSU) produzidos na cidade de Maceió, ao longo de um ano.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar a composição gravimétrica média mensal dos RSU de Maceió, utilizando o método do quarteamento, ao longo de um ano para verificar a influência da sazonalidade e eventos festivos;
- Avaliar a composição gravimétrica média dos RSU, por região administrativa (RA), em relação a fatores sociais, econômicos e culturais;
- Analisar os resíduos potencialmente recicláveis encontrados nos RSU de Maceió, a fim de fornecer subsídios para implantação de coleta seletiva e melhorias na coleta, acondicionamento, tratamento e disposição final desses resíduos;
- Examinar as características físico-químicas da fração dos RSU, através de análises de pH, sólidos totais, fixos e voláteis, e teor de umidade;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Evolução Histórica

Avaliando-se historicamente a questão dos resíduos sólidos, pode-se entender melhor a relação dos mesmos, com as diversas atividades humanas e a degradação ambiental. Relatos históricos confirmam que a ligação da humanidade, seus resíduos e as primeiras poluições provocadas por estes, é antiga (HAROUEL, 1990).

Segundo PHILIPPI JR (1997) apud BROLLO (2001), existem registros que mostram que desde a idade média o homem já lidava com as conseqüências do lançamento de seus resíduos. A disposição inadequada dos resíduos levou as cidades da época a exalar maus odores, por isso as comunidades optavam em lançar seus rejeitos em locais distantes. As regiões de lançamento eram locais que pudessem cheirar mal, sujar e atrair doenças. Ocorrem relatos semelhantes do lançamento a céu aberto, em corpos d'água, e do uso de fogo para restos inaproveitáveis.

De acordo com BROLLO (2001), a partir da urbanização das cidades, a história dos resíduos sólidos se relacionou ainda mais com a história do homem. Um dos aspectos fundamentais da urbanização foi o estabelecimento do homem em locais fixos, e conseqüentemente a modificação na produção dos resíduos, em decorrência de novos hábitos de vida.

Contudo, o período histórico mais marcante em relação às ações antrópicas e a degradação ambiental, segundo a maioria dos estudiosos do assunto, foi o final do século XVIII, no início da chamada revolução industrial. A revolução industrial foi um marco em relação a ascensão da geração dos resíduos. A partir desse momento histórico começava um período de forte crescimento dos setores produtivos, e conseqüentemente a produção desordenada de resíduos. Segundo MASSUKADO (2004), antes da revolução industrial, os resíduos eram basicamente orgânicos e produzidos em pequenas quantidades. A partir da criação das atividades industriais, ocorreram mudanças na quantidade e no tipo de resíduo produzido. Os materiais passaram a ser mais heterogêneos, o que acentuou a influência negativa das atividades humanas sobre o meio ambiente.

Tendo em vista o consumo desordenado dos recursos naturais, iniciado na revolução industrial, o setor produtivo começou a despertar para uma realidade até então desconsiderada, a possibilidade de escassez de certas matérias-primas. Segundo LOPES (2003), na década de 40 os primeiros avanços na reutilização de certos resíduos

começaram a ser criados, sendo o petróleo o primeiro produto de interesse para a reutilização devido a sua importância comercial e ao fato deste ser um bem não renovável.

Apesar do nascimento da reutilização de matérias ter-se dado na década de 40, a preocupação no que diz respeito ao meio ambiente e a questão dos resíduos sólidos começaram de fato a serem discutidas apenas na década de 70. Tal período ficou marcado na história devido à realização da conferência de Estocolmo. A conferência foi decisiva na criação das primeiras políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos, sendo estas inicialmente voltadas para a coleta e disposição final adequadas.

Na década seguinte, desenvolveram-se ações no sentido de destruição e pré-tratamento dos materiais (BROLLO, 2001). Nos anos 90, outros passos importantes foram dados na questão dos resíduos no âmbito internacional, dentre eles pode-se apontar como marco da década de 90 a Conferência das Nações Unidas, que ocorreu em 1992 no Rio de Janeiro, denominada ECO-92. Nela mais de 160 países discutiram e estabeleceram metas diversas em relação ao meio ambiente. No que diz respeito aos resíduos sólidos, a ECO-92 propôs o esforço conjunto de toda a sociedade. O objetivo principal era desenvolver formas adequadas para lidar com os resíduos, propondo a ação conjunta dos Governos, Indústrias e a Sociedade em geral, para redução da geração e do uso de descartáveis.

Dessa forma, toda a história dos resíduos sólidos e dos avanços relacionados ao assunto ao longo dos anos demonstra que tem crescido a preocupação do homem quanto ao gerenciamento dos resíduos por ele gerado. Contudo, apesar dos progressos desenvolvidos, a questão dos resíduos sólidos e suas conseqüências ao homem, bem como ao meio ambiente ainda permanecem preocupantes. Assim, representa ainda um desafio à sociedade o desenvolvimento de novos valores, culturais e éticos, de maneira a transformar estruturas econômicas e reorientar o estilo de vida dos consumidores, através de: Revalorização, Reestruturação, Redistribuição, Redução, Reutilização e Reciclagem.

3.2. Definição dos resíduos sólidos

O primeiro passo para se compreender e lidar com resíduos sólidos é defini-los. Entretanto definir resíduos sólidos não é uma tarefa fácil, pois se trata de um material variável, que sofre alterações ao longo dos anos (BIDONE, 2001). A seguir será feito a distinção entre os termos resíduos sólidos e lixo, como também será apresentado a evolução das definições empregadas para resíduos sólidos.

3.2.1. Diferenciação entre os termos resíduos sólidos e lixo

De acordo com MANCINI (1999), inicialmente o termo lixo era utilizado no lugar do termo técnico “resíduos sólidos” havendo, portanto desordem quanto à definição e o emprego dos termos. Dessa forma, para se definir resíduos sólidos cabe salientar inicialmente que existe uma grande diferença entre os termos “resíduos sólidos” e “lixo”. A palavra lixo vem de *lix* do latim que significa cinzas, na língua portuguesa a palavra lixo significa coisa imprestável. O Dicionário de Aurélio Buarque de Holanda descreve que “lixo é tudo aquilo que não se quer mais e se joga fora; coisas inúteis, velhas e sem valor”. Já o termo “resíduos sólidos” refere-se a componentes agregados que podem ser separados, reciclados ou reaproveitados, com um potencial econômico agregado respeitável. Dessa forma, percebe-se a incompatibilidade entre os dois termos sendo apropriado o uso do termo “resíduos sólidos” aos resíduos produzidos pelo homem, já que estes são materiais que têm valor agregado (OLIVEIRA, 1998).

3.2.2. Definições empregadas para resíduos sólidos

Ao longo das últimas décadas vários conceitos foram utilizados para definir resíduos sólidos. Para se entender melhor como o conceito de resíduos sólidos se modificou ao longo dos anos apresentam-se, a seguir, uma série de definições empregadas para o termo desde a década de 70.

Na década de 70, SEWELL (1978), definiu resíduos sólidos como:

Materiais indesejáveis pelo homem que não podem fluir diretamente para os rios ou se elevar imediatamente para o ar. Todo resíduo que gerado do uso de materiais, manufatura, construção, preparo de alimentos, recreação, agricultura e de diversas atividades que usam os materiais e posteriormente deles se descartam. Dependendo de que tipo de material se trata e de onde estão essas sobras são denominadas de refugo, sucatas, entulhos, restos e esgotos. Já o termo resíduo sólido é utilizado para sobra de matérias, refugo e detritos, resíduos sólidos ou líquidos de atividades industriais, comerciais, minerativas, agrícolas e comunitárias, excluindo material sólido ou dissolvido presente no esgoto doméstico.

Na mesma década, a comunidade Européia também apresentou uma definição na qual estabeleceu resíduo como “toda a substância ou objeto cujo detentor se desfaz ou tem a obrigação de se desfazer, em virtude de disposições nacionais em vigor” (BIDONE, 2001).

Em 1993 GIROD definiu resíduos sólidos como “todo resíduo de um processo de produção, de transformação ou utilização, toda a substância, matéria, produto, ou mais

geralmente todo bem móvel abandonado ou que seu proprietário o destina ao abandono” esta definição teve como base a legislação francesa na lei de número 75-633, de 15 de julho de 1975.

A Organização Mundial de Saúde - OMS definiu lixo como “Qualquer coisa que o proprietário não quer mais, em certo momento, e que não apresenta um valor comercial corrente ou percebido” (BIDONE, 2001). LIMA (1995) expôs a definição dos resíduos sólidos como difícil e complexa, em decorrência dos diversos fatores que interferiam na composição do mesmo. Contudo, o autor o definiu como “todo e qualquer resíduo que resulta das atividades diárias do homem na sociedade”. PHILIPPI JR (1997) determinou resíduos sólidos como “qualquer mistura heterogênea de materiais ou restos destes, oriundos dos mais diversos tipos de atividades antrópicas que são descartados por não apresentarem utilidade quanto ao uso previsto”.

Na atualidade, a definição mais utilizada pelos pesquisadores é a da ABNT (NBR 10.004/04). De acordo com a ABNT, os resíduos sólidos são:

... resíduos em estado sólido ou semi-sólidos que, resultam da atividade da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Foram incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como alguns líquidos cujas peculiaridades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas ou economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.

3.3. Classificação dos resíduos sólidos

No Brasil existem diversas classificações para os resíduos sólidos, cada uma delas estabelece um parâmetro classificatório. A seguir serão expostas tais classificações e o parâmetro classificatório de cada uma delas.

3.3.1. Classificação quanto ao grau de periculosidade

A norma da ABNT – NBR 10.004/04 propôs uma classificação para os resíduos sólidos tomando como critério de divisão o grau de periculosidade, em relação à saúde pública e ao meio ambiente. A classificação propõe dois grupos, sendo o segundo subdividido em dois, A e B:

- **Resíduos de Classe I – Perigosos:** são aqueles que possuem uma ou mais das seguintes características: inflamabilidade, reatividade, corrosividade, patogenicidade e

toxicidade. Podendo, devido as suas características, apresentar riscos à saúde pública e/ou ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada. São exemplos de resíduos de classe I os resíduos industriais e hospitalares.

- **Resíduos de Classe II – A - não perigosos – não Inertes:** são os resíduos sólidos que podem apresentar combustibilidade, biodegradabilidade, ou solubilidade em água como características. Enquadram-se nessa classe os resíduos sólidos domiciliares – RSD.
- **Resíduos de Classe II – B – não perigosos - Inertes:** são resíduos sólidos que quando submetidos ao teste de solubilização não apresentam nenhum de seus constituintes solubilizados em concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, excetuando-se os padrões: espectro, cor, turbidez e sabor. Nessa categoria enquadram-se os resíduos de demolição e construção, tais como madeira e vidro.

É importante salientar que a propriedade inflamabilidade presente na classe I refere-se à capacidade dos resíduos em se converter em chamas. Já na classe II – A, encontra-se a propriedade combustibilidade, referente à condição do resíduo de propagar fogo (MASSUKADO, 2004).

3.3.2. Classificação quanto à origem

Outra forma muito utilizada para classificar os resíduos sólidos é a classificação segundo a origem. Essa forma de classificação é tida como crucial, pois a partir dela é possível identificar o gerador e avaliar as medidas de manejo e a responsabilidade pelo gerenciamento (MASSUKADO, 2004). Está apresentado na Figura 1 o diagrama de barras com essa classificação.

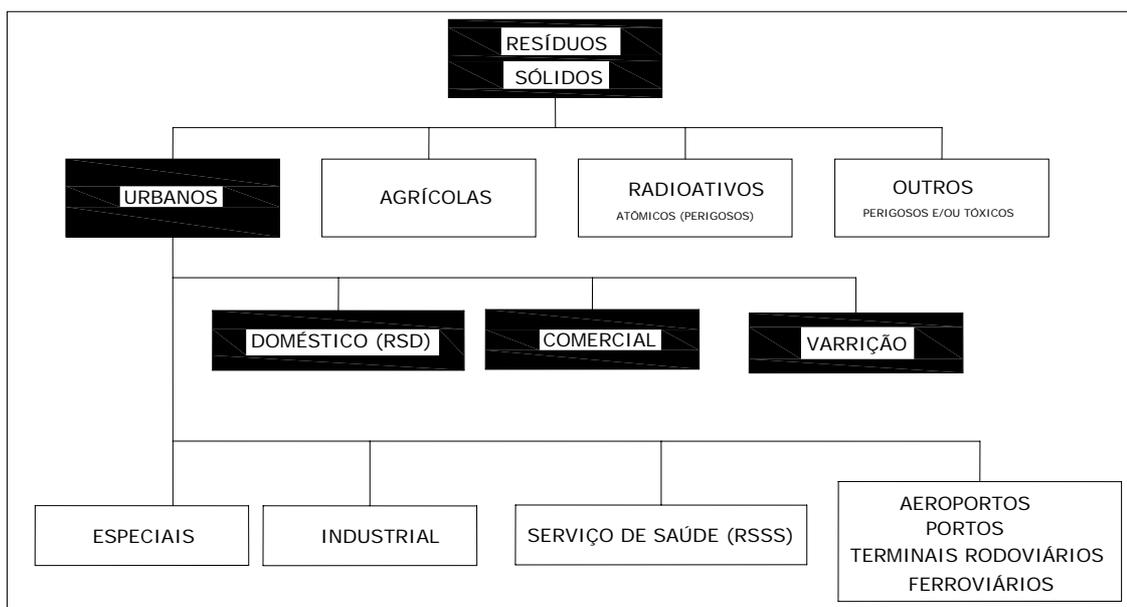


FIGURA 1. Classificação dos RSU segundo a origem.
Fonte: OLIVEIRA (1998).

Como visto na Figura 1 em destaque, os resíduos sólidos urbanos nessa dissertação são classificados quanto à origem em doméstico, varrição e comercial. Apresenta-se abaixo uma descrição mais detalhada de cada uma das classes.

- a) **Domiciliar** – Os resíduos domiciliares são normalmente decorrentes das atividades diárias das edificações residenciais, ou seja: trapos, garrafas, papéis, resíduos de asseio, plásticos, latas, cascas de frutas, legumes, podendo existir alguns resíduos considerados tóxicos como: tintas, lâmpadas, baterias, frascos de aerossóis, inseticidas, remédios e outros. Existe também uma subárea específica para a os resíduos domiciliares, além dos citados anteriormente, denominados como domiciliares especiais, sendo estes: entulhos de obras, baterias, pneus, lâmpadas fluorescentes e pilhas (IBAM, 2001). É importante observar que do total de resíduos urbanos produzidos no Brasil, uma parcela de aproximadamente 90.000 toneladas diária é de resíduos sólidos domésticos – RSD (algo em torno de 26 milhões de toneladas por ano). Em relação à geração estima-se que em países subdesenvolvidos a taxa média é de aproximadamente 0,5kg/hab.dia (OLIVEIRA, 1998).
- b) **Varrição** – São resíduos provenientes das praças, galerias, logradouros, podas de árvores, feiras livres, limpeza das praias, eventos, varrição das vias públicas e outros.

Além daqueles descartados indevidamente pela população, como entulhos, bens considerados inservíveis, papéis, restos de embalagens e alimentos. O resíduo público é o que mais se relaciona ao aspecto estético das cidades (IBAM, 2001).

- c) **Comerciais** – São os originados dos diversos estabelecimentos comerciais, bancos, e outros. Podendo-se citar entre eles: papéis, plásticos, resíduos de asseios e embalagens em geral.
- d) **Resíduos Sólidos Especiais** - São os provenientes de indústrias, dos serviços de saúde e cemitérios. O gerenciamento desses resíduos é específico, de forma que os riscos inerentes não tragam prejuízos ambientais à saúde pública. A destinação final dos resíduos radioativos é determinada por normas técnicas especiais sob responsabilidade da Comissão Nacional de Energia Nuclear – CMEN.
- e) **De Serviços de saúde** - São produzidos em hospitais, clínicas, laboratórios, farmácias, clínicas veterinárias, postos de saúde. São eles: agulhas, seringas, sangue coagulado, gases, bandagens, algodão, órgãos e tecidos removidos, meios de culturas e animais usados em testes, filmes fotográficos de raios X.
- f) **Cemitérios** - São resíduos provenientes da operação de cemitérios municipais, acumulados em focos de microrganismos, cinzas, excreções humanas, resíduos de operação de necrópoles, roupas, calçados, cadáveres, restos de caixões, varrição, flores, além de resíduos de matéria orgânica em decomposição.
- g) **Industrial** - São aqueles resíduos oriundos das atividades industriais, bastante diversificados, e geralmente considerados tóxicos. Podemos citar: cinzas, lodos, óleos, resíduos alcalinos ou ácidos, plásticos, papéis, madeiras, fibras, borracha, metal escórias, vidros, cerâmicas.
- h) **Portos, Aeroportos, Terminais Rodoviários** - Constituem os resíduos sépticos, pois podem conter microrganismo patogênicos que veiculam doenças provenientes de outras cidades, estados, e países citando-se: restos de alimentos, material de higiene e asseio pessoal. O destino final dos resíduos provenientes de portos, aeroportos, terminais ferroviários e rodoviários, necessitam de cuidados especiais, como medidas preventivas e de controle da introdução de agentes promotores de doenças ou epidemias (D'AGUILA, 2003).

- i) **Resíduos das áreas Rurais – Agrícolas** - São resíduos sólidos das atividades pecuárias, agrícolas, embalagens de adubos, defensivos agrícolas, restos de colheita, ração, esterco animal, embalagens de agro-químicos diversos e outros.
- j) **Radioativos** - Consistem em resíduos que liberam continuamente partículas minúsculas dotadas de intensa energia, que provocam interações nos cromossomos das células dos seres vivos passando características deficientes na hereditariedade. São provenientes de usinas e submarinos atômicos ou fábricas que empregam substâncias radioativas os quais devem procurar manter esse lixo em compartimentos seguros e isolados. O Brasil ainda não estabeleceu depósito final para esses resíduos, ficando parte em tambores a céu aberto, e parte em piscinas de concreto para esse fim.

3.3.3. Classificação segundo a área de estudo

Além das classificações citadas, existem outras formas de classificação, todas em função de uma área específica de estudo (LOPES, 2003). Dessa forma, estão expostas no Quadro 1 as diferentes classificações em função de diversos critérios de estudo.

QUADRO 1. Classificação dos resíduos sólidos segundo diversos estudos.

CRITÉRIO	TIPOS DE CLASSIFICAÇÃO			
	Seco		Molhado	
Segundo a natureza física				
Segundo o grau de biodegradabilidade	Facilmente degradáveis: materiais de origem biogênica.	Moderadamente degradáveis: papel, papelão e outros produtos celulósicos.	Difícilmente degradáveis: trapos, couro, borracha e madeira.	Não - degradáveis: vidros, metal, plástico.
Segundo o grau de Reciclagem	Reciclável	Reutilizável	Não reciclável (Inservível)	Compostável

Fonte: Adaptado de GOMES (1989) e OLIVEIRA (1998).

3.4. Limpeza urbana – Ciclo dos RSU da origem à disposição final

3.4.1. Histórico

Os primeiros relatos sobre a limpeza pública no Brasil vêm do século XVI. O Brasil - Colônia colocava o lixo em pequenos barris, e assim os senhores e também escravos achavam que o ideal era livrar-se deles nas águas dos rios e beiras de praias, pois assim iriam embora mais rápido (CUNHA, 2005).

Outros aspectos relativos às primeiras medidas públicas de gerenciamento do lixo podem ser vistos no texto de D'AGUILA (2003), onde o autor relata que no Município do Rio de Janeiro, além das águas, os resíduos também eram deixados em uma grande vala que atravessava a cidade; nas épocas de chuvas, trazia grandes transtornos à população, pois ao transbordarem, lixos e detritos se espalhavam aumentando as ocorrências de vetores e surtos epidêmicos, conduzindo aos graves transtornos à Saúde Pública. Com o decorrer dos anos agravaram-se os problemas de saneamento que assolavam o centro do Município. Dessa forma, resolveu-se não mais usar para despejos as praias ou o Campo de Santana, interessando-se então em 1865, pelas Ilhas do Governador e de Sapucaia como indicados para o despejo do lixo. Já na década de 1930, no Rio de Janeiro, onde a sociedade se aglomerava, resolveu-se montar um aterro na ponta do Caju, local de praia, onde D. João VI, em estada pelo Rio de Janeiro, costumava banhar-se, cuja área local era conhecida como Balneário Imperial. Com o tempo, foi observado que esses lugares eram impróprios, pois a grande quantidade de lixo gerado pela cidade, ressaltado pela deficiência do transporte pelo mar, provocavam poluição das águas da Baía de Guanabara.

O cenário caótico em relação à disposição do lixo levou a criação do primeiro serviço de limpeza urbana que ocorreu apenas 25 de Novembro de 1880, na cidade de São Sebastião do Rio de Janeiro, sendo esta a capital do Império. Na época, D. Pedro II assinou o Decreto nº 3024, dando início ao contrato de limpeza para a cidade a ser executado por Aleixo Gary e continuado por Luciano Francisco Gary, advindo do sobrenome a palavra gari popularmente utilizada em relação aos trabalhadores coletores (IBAM, 2001).

O primeiro diagnóstico, em nível nacional sobre o sistema de limpeza urbana implantado no Brasil foi realizado em 1982, a instituição responsável pelo levantamento foi a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, que pesquisou um universo de 367 cidades, sendo dois terços em áreas urbanas e um terço em áreas rurais, que abrigavam, na época, cerca de 60 por cento da população urbana do País

(JUCÁ, 2002a). Como resultado, o primeiro relatório apontou deficiências graves dos setores responsáveis pelo gerenciamento dos RSU em quase todas as cidades pesquisadas.

Logo em seguida, no ano de 1983, a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – FIBGE realizou a primeira Pesquisa Nacional sobre Saneamento Básico, conhecida como PNSB. Ao longo dos anos a pesquisa se desenvolveu tornando-se em 1989, uma referência nacional e fonte principal de fornecimento de dados de todos os trabalhos, palestras e avaliações sobre a gestão de resíduos sólidos e limpeza urbana em nível nacional e regional (JUCÁ, 2002a).

Os diagnósticos realizados, deste então, vêm revelando que a questão do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos é um dos maiores problemas das administrações públicas. A questão tem se agravado devido à crescente produção de resíduos, decorrente do acentuado crescimento populacional, aumento da concentração urbana, do desenvolvimento industrial e tecnológico (BIDONE, 2001).

Acrescentam-se ainda aos fatores mencionados, o consumo exagerado e o desperdício, sendo todas essas características comuns ao ambiente urbano. De fato, todos esses elementos vêm acarretando efeitos indesejáveis e muitas das vezes irreversíveis do ponto de vista sanitário e ambiental nos centros urbanos (RIBEIRO, 2000).

Segundo JUCÁ (2002a), naquela época o problema do gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no Brasil já assumia uma magnitude alarmante. Levando em consideração apenas os resíduos urbanos e públicos, o que se percebe é uma ação generalizada das administrações públicas locais ao longo dos anos em apenas tentar manter longe das zonas urbanas o resíduo coletado, destinando-o na maioria das vezes em locais absolutamente impróprios, como encostas, manguezais, rios, baías e vales. O autor cita que 80% dos municípios vazam seus resíduos em locais a céu aberto, em cursos d'água ou em áreas ambientalmente protegidas, a maioria com a presença de catadores, entre eles crianças, delatando os problemas sociais que a ingerência dos resíduos sólidos podem acarretar.

3.4.2. Acondicionamento

O acondicionamento dos resíduos sólidos é a etapa que segue a geração e tem por objetivo propor um meio seguro para o armazenamento do lixo até que este seja coletado. Para o IBAM (2001), acondicionar os resíduos implica em prepará-los para coleta de forma sanitariamente adequada e, de maneira compatível com a quantidade e tipo de resíduo. De acordo com BARROS & MÖLLER (1995) acondicionar significa dar ao lixo uma

‘embalagem’ adequada, cujos tipos dependem de suas características e da forma de remoção, aumentando assim a segurança e eficiência do serviço.

Assim, é de fundamental importância para o serviço de limpeza pública que os resíduos coletados estejam acondicionados de forma apropriada. Isso facilita a coleta, diminui a proliferação de vetores e minimiza o impacto visual e olfativo. Contudo, para que os resíduos sejam acondicionados de forma adequada, devem ser empregados embalagens ou recipientes que ofereça bom desempenho, de forma a promover segurança e higiene. Recomenda-se que a escolha do recipiente seja feita de acordo com o volume do resíduo, separando estes em pequenos ou grandes volumes. Nos Quadros 2 e 3 estão expostos os principais recipientes utilizados para o acondicionamento do lixo em pequenos e grandes volumes, respectivamente, e suas principais características.

QUADRO 2. Formas de acondicionamento para pequenos volumes.

Recipientes	Características principais
Cestos coletores de calçada	São recipientes colocados em logradouros públicos, tais como: ruas, praças, calçadas, parques e praias para receber o lixo dos transeuntes. Nas ruas de grande movimentação, os cestos devem ser instalados a cada 50m no máximo. Podem ser metálicos ou de material plástico e devem facilitar a remoção dos resíduos por parte do varredor.
Recipientes Basculantes	É recipiente que possuem um sistema basculante para remoção do lixo, promovendo menor esforço na remoção. Recomenda-se o uso de um sistema para captação de líquido e para saída de gás, caso o recipiente seja utilizado para armazenar matéria orgânica.
Recipientes basculantes e carrinhos	Especialmente destinados à varrição de ruas e áreas públicas. São recipientes vinculados a carrinhos, geralmente de duas rodas, podendo dispor de portas-vassoura e compartimento para conveniência do varredor.
Tambores	Tambores de 200 litros ou menores podem ser usados como recipientes para lixo. Para tanto, devem ser adaptados com alças de manuseio e tampa, impedindo a dispersão de odor e entrada de animais. O tambor deve reter líquido e ser de material resistente à corrosão, como aço galvanizado ou plástico.
Sacos Plásticos	É o material mais utilizado para acondicionamento do lixo, oferece como vantagens em relação aos recipientes rígidos a impermeabilidade e a diminuição da poluição sonora. Seus padrões de classificação, especificação, resistência à queda e capacidade volumétrica são dados respectivamente pelas normas NBR 9190, 9191, 9195 e 13055 todas de 1993.

Fonte: Adaptado do IPT (2000) e MASSUKADO (2004).

QUADRO 3. Formas de acondicionamento para grandes volumes.

Recipientes	Características principais
Contêineres Coletores Basculantes Estacionários	São os recipientes com basculantes na lateral e na parte de trás do veículo que são utilizados para a descarga dos resíduos. Em geral possuem capacidade de 0,7 a 2,0m ³ .
Contêineres Intercambiáveis	São recipientes móveis que quando cheios são removidos e substituídos por recipientes vazios. Os veículos que os transportam possuem chassi dotado de equipamento de levantamento. Têm capacidade de 2,5 a 30m ³ . De forma alternativa o transporte pode ser realizado por carreta com tração ou por micro-trator.

Fonte: Adaptado do IPT (2000) e MASSUKADO (2004).

Vale salientar que a responsabilidade do acondicionamento dos resíduos é do cidadão. Mas cabe ao serviço público, na figura da administração municipal exercer as funções de regulamentação, educação e fiscalização (inclusive dos estabelecimentos de saúde), visando assegurar condições sanitárias e operacionais adequadas (CUNHA, 2005).

3.4.3. Coleta

Coleta é o ato de recolher e transportar resíduos sólidos quaisquer, utilizando para isso veículos e equipamentos apropriados. A coleta de lixo regular, dentre as demais atividades de limpeza pública, é a que mais interage com a população, pois quando a mesma funciona de forma inadequada pode gerar diversos problemas à saúde pública, tais como: Proliferação de vetores (ratos, insetos, aves), problemas respiratórios, entre outras doenças, além de causar também prejuízos estéticos em geral.

Dessa forma, é de suma importância para uma cidade, a fim do bem estar público como também da proteção da saúde pública, que os trabalhos de coleta dos resíduos sólidos sejam executados com economia, eficiência e higiene.

Em relação ao aspecto normativo destaca-se a norma NBR 12980 (1993) da ABNT onde se encontram os parâmetros relativos à terminologia da coleta, varrição e acondicionamento dos resíduos. Já a NBR 13463 (1995) refere-se à classificação dos mesmos (IPT & CEMPRE 2000, apud MASSUKADO, 2004). Está apresentado no Quadro 4 um resumo das definições da ABNT quanto aos tipos coleta.

QUADRO 4. Resumos das definições dos tipos de coleta.

Tipos de coleta	Definição
Domiciliar	Formada por resíduos gerados em residências, estabelecimentos comerciais, industriais, públicos e de prestação de serviços, cujos volumes e características sejam compatíveis com a legislação municipal vigente.
Ambulatorial	Coleta regular dos resíduos produzidos nas farmácias, centros de saúde, laboratórios, ambulatórios, clínicas veterinárias e estabelecimentos congêneres, executada por veículos apropriados.
Especial	Coleta destinada a remover e transportar resíduos especiais não recolhidos pela coleta regular, em virtude de suas características próprias, tais como: origem, volume, peso e quantidade. Enquadram-se nesse caso: móveis velhos; monturos; restos de limpeza e de poda de canteiros, praças e jardins: entulhos, animais mortos de pequeno, médio e grande porte e similares.
Hospitalar externa	Coleta regular que remove resíduos provenientes de estabelecimentos que apresentem riscos de contaminação, tais como: presídios, portos, aeroportos internacionais e similares.
Particular	Coleta de qualquer tipo de resíduo sólido urbano pela quais pessoas físicas ou empresas, individualmente ou em grupos limitados, executam ou pagam a terceiros para executá-la.
De feiras, praias e calçadões.	Coleta regular dos resíduos oriundos da limpeza e varrição de feiras, praias e calçadões.
De serviços de saúde	Coleta dos resíduos de serviços de saúde gerados em estabelecimentos hospitalares. Essa coleta é executada por veículos exclusivos, de forma a não ocorrerem problemas de espalhamento de resíduos e derramamento de líquidos na via pública ou problema de contato manual.
Seletiva	Coleta que remove os resíduos previamente separados pelo gerador, tais como: papéis, latas, vidros e outros.
Varredura	Coleta regular dos resíduos oriundos da varrição de vias e logradouros públicos.

Fonte: IPT & CEMPRE (2000) apud MASSUKADO (2004).

Segundo D'AGUILA (2003) a coleta do lixo e o seu transporte para áreas de tratamento ou destinação final são ações que cabem ao serviço público municipal, sendo os resíduos transportados mecanicamente do ponto de geração até a disposição final. Esse serviço caracteriza-se pelo envolvimento dos cidadãos, que devem acondicionar o lixo adequadamente e apresentá-lo em dias, locais e horários pré-estabelecidos.

3.4.4. Coleta seletiva

Segundo o IPT (2000), coleta seletiva é definida como um sistema de recolhimento diferenciado de resíduos, sendo estes segregados na sua fonte geradora. A coleta seletiva é o ponto inicial para se implantar um projeto de reciclagem, e também é o mais oneroso. Nele se buscam os materiais com utilidade na fonte produtora, ou seja, nos domicílios residenciais e comerciais, além de indústrias e repartições públicas específicas. Para que seja realizada de forma viável se faz necessário à montagem de uma estrutura organizada, combinando transportes, calendário, divulgação e direcionamento, resultando no menor custo possível. Nesse contexto, uma primeira classificação deve ser feita pela própria população, através de separação entre os materiais orgânicos e os inorgânicos.

Cabe salientar, que a forma de segregação empregada na coleta seletiva está ligada diretamente com os custos envolvidos no processo de reciclagem. Quanto mais eficiente e minuciosa for a separação dos componentes do lixo, menor os custos de reciclagem. Entretanto, quanto mais eficiente for a segregação, maior também serão os custos de coleta, já que o tempo de realização desta torna-se maior, o que acarreta num investimento inicial elevado para implantação do sistema (LOGAREZZI, 2002).

Os benefícios provenientes da coleta seletiva não se restringem exclusivamente ao processo de reciclagem. Ocorrem também benefícios diretos aos aterros sanitários, já que estes recebem quantidades menores de materiais o que aumenta a vida útil do mesmo. Além disso, a coleta seletiva representa um ganho social, pois incentiva a cidadania promovendo ganho mútuo entre sociedade, meio ambiente e cooperativa de catadores, gerando novos postos de trabalho e renda.

Existem basicamente quatro formas de coletas seletivas: porta-a-porta, pontos de entrega voluntária - PEV's, postos de trocas e coleta informal (Realizada na maioria dos casos por catadores). O Quadro 5 apresenta um resumo sobre as principais características de cada modalidade de coleta seletiva bem como suas vantagens e desvantagens.

Em geral, para que um sistema de coleta seletiva seja empregado de forma eficaz, recomenda-se que se inicie com a aplicação de um projeto piloto. Este deve ser desenvolvido em bairros específicos, geralmente aqueles que ofereçam melhores condições sociais, políticas e de conscientização, escolhendo entre os que possuam essencialmente domicílios residenciais. À medida que o montante recolhido for aumentando e que a adesão da população for se solidificando, essa prática pode ser estendida a outros bairros, órgãos públicos e empresas (IPT, 2000).

QUADRO 5. Tipo de coleta seletiva, características, vantagens e desvantagens.

Tipo de coleta	Características	Vantagens	Desvantagens
Porta-a-porta	Modelo de coleta no qual o resíduo é separado em frações pré-estabelecidas e colocado em vias públicas para posterior coleta por caminhão coletor.	Como a coleta é realizada porta-a-porta é possível associar a essa campanha de conscientização dos moradores por meio dos próprios agentes de coleta.	O sistema apresenta como ponto negativo o alto custo inicial, e baixa relação entre recepção de carga e quilometragem percorrida pelo veículo coletor.
PEV's	Sistema de coleta no qual se empregam instalações simples onde os resíduos são depositados separados e acumulados até a realização da coleta. Nesse modelo a população se encarrega de conduzir os resíduos até um local específico estabelecido pelo poder público.	Oferece viabilidade em locais onde existem grande número de pessoas ou grande quantidade de resíduos. Pode ser utilizado para aliviar o armazenamento doméstico semanal.	Em muitas situações esse sistema requer uma segunda triagem em decorrência de depósitos de resíduos de forma incorreta pela população.
Postos de troca	Consiste na troca do resíduo por algum tipo de bem, tais como vale transporte, alimentos, entre outros.	Atrai maior atenção devido à valorização do resíduo, podendo atrair maior adesão popular.	Esse sistema necessita investimento imediato, podendo não oferecer garantia em relação a custos e benefícios.
Coleta informal	É aquela exercida pela ação de catadores autônomos, no qual o resíduo coletado é geralmente encaminhado a sucateiros que têm condições de acondicioná-los, acumulá-los e comercializá-los para indústrias.	Apesar de ser uma atividade informal, o trabalho dos catadores representa um impacto considerável sobre a coleta, transporte, tratamento e disposição final dos resíduos e diminui significativamente os gastos públicos.	Por ser uma atividade informal, os trabalhadores não têm direitos trabalhistas, e muitas vezes o trabalho é desenvolvido de forma insalubre.

Fonte: Adaptado de LOGAREZZI (2002) e MASSUKADO (2004)

É essencial também para o sucesso do sistema de coleta seletiva que exista tecnologia para as diversas etapas do processo (coleta, separação e reciclagem), como também é fundamental que exista um mercado consumidor (IPT, 2000).

A principal dificuldade em relação à implantação da coleta seletiva no lugar da coleta convencional ainda é o custo. Segundo pesquisa realizada pelo CEMPRE apud MASSUKADO (2004), em 1994, o custo da coleta seletiva era 10 vezes maior que a coleta convencional. A boa notícia é que com o passar dos anos a relação de custo entre os dois modelos tem diminuído, estima-se que essa relação seja de 6 para 1 na atualidade, sendo o custo da coleta seletiva de R\$ 350,00/t. Espera-se que com a criação de novas tecnologias e com o avanço das pesquisas, o custo da coleta seletiva diminua ainda mais.

3.4.5. Reciclagem

A reciclagem é um processo industrial que converte o lixo descartado (matéria-prima secundária) em produto semelhante ao inicial ou outro, e surgiu como uma maneira de reintroduzir no sistema uma parte da matéria (e da energia), que se tornaria lixo. Uma vez desviados, os resíduos são coletados, separados e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, os quais eram feitos anteriormente com matéria-prima virgem. Dessa forma, os recursos naturais ficam menos comprometidos.

A origem do termo reciclagem ocorreu no final da década de 80, quando foi constatado que as fontes de petróleo e outras matérias-primas não renováveis estavam se esgotando. Em 22 de abril de 1970, ao se comemorar em todo o mundo o primeiro “Dia da Terra”, o dilema quanto à disposição de resíduos sólidos já se destacava. Em 1976, nos Estados Unidos, a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos enfatizava a reciclagem como a alternativa preferencial para o gerenciamento de resíduos sólidos. Cada vez mais, havia uma demanda por parte do público, e da legislação, pela reciclagem. Em 1990, no Dia da Terra, a reciclagem foi o tema dominante (BUENO e MOUSINHO, 1994).

A reciclagem é importante, pois pode trazer vários benefícios, entre eles: Contribui para diminuir a poluição do solo, água e ar; melhora a limpeza da cidade e a qualidade de vida da população; prolonga a vida útil de aterros sanitários; melhora a produção de compostos orgânicos; gera receita com a comercialização dos recicláveis; estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens; contribui para a valorização da limpeza pública e para formar uma consciência ecológica; preserva os recursos naturais; economiza energia; diminui os impactos ambientais; possibilita a

abertura de novos negócios; gera empregos diretos e indiretos. Estão apresentadas na Tabela 1 as principais economias geradas pela reciclagem.

TABELA 1. Principais benefícios gerados por tonelada de material reciclado.

Resíduo reciclado	Economia de água (%)	Economia de energia (%)	Economia de matéria-prima (%)	Redução da poluição da água (%)	Redução da poluição do ar (%)
Alumínio	-	90 – 97	5 ton de bauxita	97	95
Papel	58	23 – 74	20 pés de eucalipto	35	74
Plástico	-	78	50% de petróleo	-	-
Vidro	50	4 – 32	1,2 ton de MP virgem	50	20
Aço	40	47 – 74	-	76	85

Fontes: ABRE (2006).

A grande limitação da reciclagem diz respeito à necessidade de um mercado consumidor, deve ficar claro que a possibilidade de reciclar materiais só existe se houver demanda por produtos gerados pelo processamento destes. Assim, antes de um município decidir se vai estimular ou implantar a segregação de materiais, visando a sua reciclagem, é importante verificar se há esquemas pelos quais possa haver escoamento desses materiais (venda ou doação). Vale ressaltar, também, que os lucros financeiros imediatos com a venda dos recicláveis não devem ser esperados. Um programa como esse exige gastos que podem ser diminuídos à medida que o projeto cresça e tenha um bom gerenciamento (NEDER, 1995).

Diversos materiais podem ser reciclados, tais como: papel (papel de escritório, papelão, jornal), plástico (rígido, flexível, embalagens PET), vidro, metais, latas de alumínio, resíduos orgânicos, aparas de madeira, entulho, pneus, pilhas e baterias, aparas de jardim, eletrodomésticos (liquidificador, geladeira, fogão, lavadora, etc.). Estão expostos na Tabela 2 os principais índices sobre a reciclagem de diversos materiais no Brasil e em alguns países do mundo.

Outro fator limitador da implantação da reciclagem, não menos importante, é a necessidade de adesão popular. Embora muitas vezes não seja fácil perceber, a iniciativa pessoal tem um grande peso nesse assunto. Se cada cidadão fizer a sua parte nas etapas de separação e acondicionamento, não estará apenas preservando o que resta da natureza - estará contribuindo, também, para a melhoria da qualidade de vida. O processo de

reciclagem necessariamente começa com o indivíduo. Portanto, ele deve possuir educação e motivação suficientes para participar na resolução da crise de disposição final do lixo.

TABELA 2. Principais índices de reciclagem no Brasil e outros países.

País	plástico	Papel/Papelão	Metal	Vidro	Alumínio
Brasil	17,5%	44% - papel cartão 73% - papelão ondulado	45% - latas em geral 78% - latas de aço de bebidas	44%	87%
Argentina, Uruguai e Paraguai	5%	10%	15%	-	60%
Chile	< 5%	-	10%	5%	-
Alemanha	60%	-	-	-	97%
Espanha	17%	53%	45%	-	-
França	15%	45%	-	-	20%
República Tcheca	27%	62%	35%	57%	-
Bélgica	28,5%	-	96,5%	-	-
Polônia	7%	38%	-	13%	15
Suécia	17,6%	43,7%	62%	87,5%	-
Luxemburgo	28%	85%	-	-	-
Estados Unidos	13,5% - PET água, leite, refrigerante	55%	59% - latas de aço	22%	49
Colômbia	6%	35%	-	16%	38
México	-	60%	-	50%	-
Noruega	-	51%	-	87,2%	60
Portugal	-	16 %	-	-	7
Peru, Bolívia e Equador	-	-	25%	-	-

Fontes: ABRE (2006).

Nesse contexto, um estudo conduzido nos Estados Unidos revelou por que algumas pessoas não participam da reciclagem: 30% dizem que toma muito tempo; 19% perguntam por que deveriam participar; 12% dizem que não sabem como fazer; 8% dizem que causa muita bagunça; 8% dizem não possuir um sistema de coleta seletiva onde moram; 23% dão outras razões (BUENO e MOUSINHO, 1994).

A motivação para reciclar pode ser influenciada por numerosos componentes, tais como: a credibilidade de quem informa sobre reciclagem ou solicita que ela seja executada; o contexto dentro do qual as informações são repassadas; a frequência de repasse das informações; a natureza dos incentivos (social ou financeira) e a predisposição do indivíduo a mudar de atitude.

Os caminhos para se atingir essa mudança de atitude são vários, e as iniciativas nesse sentido devem ser estudadas e planejadas cuidadosamente. Embora todos os segmentos da sociedade devam participar desse processo, cabe ressaltar, de imediato, o fundamental papel a ser desempenhado pelas instituições voltadas para a Educação. A formação do indivíduo deve contemplar, desde o início e ao longo de toda sua vida, elementos que contribuam para a construção de um cidadão atento às questões sociais e ambientais, locais e globais.

3.4.6. Compostagem

A compostagem é uma forma de tratamento e reciclagem aplicada aos resíduos orgânicos. Ela é definida como um processo biológico, necessariamente aeróbio, desenvolvido por uma população mista de microrganismos, efetuada em duas fases distintas: degradação ativa e humificação ou maturação (PEREIRA NETO, 1997).

No Brasil, a compostagem é realizada utilizando basicamente três processos os quais estão descritos na Tabela 3. A eficiência de qualquer um dos processos depende principalmente da qualidade do material que chega para ser compostado. O material deve ainda atender a algumas exigências normativas relacionadas às características do material a ser compostado. A portaria do Ministério da Agricultura - MA 84/82 estabelece a ausência de agentes patogênicos, fitotóxicos, metais pesados, agentes poluentes e pragas (MASSUKADO, 2004).

TABELA 3. Descrição dos processos de compostagem utilizados no Brasil.

Processo	Descrição
Método natural	<ul style="list-style-type: none"> • Resíduos triados, moídos, umidificados e dispostos em leiras para digerir e compostar; • Leiras reviradas periodicamente para facilitar a decomposição biológica; • Custos de implantação e manutenção menores; • Indicados para cidades de pequeno e médio porte; • A operação é afetada por fatores climáticos; • Tempo para que o processo se complete é de 3 a 4 meses.
Sistema DANO	<ul style="list-style-type: none"> • Constituído de sete etapas: recepção, triagem manual, seleção eletromagnética, bioestabilização, peneiramento, cura do composto, beneficiamento, descarga no pátio de maturação primária, encaminhamento ao pátio de maturação secundária e beneficiamento; • Indicado para cidade de grande porte; • Menor tempo gasto na bioestabilização, comparado aos outros sistemas; • Altos custos de implantação e manutenção.

Método acelerado	<ul style="list-style-type: none"> • Compostagem com insuflamento de ar no material a ser compostado; • Tempo total de compostagem acelerada de 2 a 3 meses.
------------------	--

Fonte: BIDONI & POVINELLI (1999), LIMA (1995) apud MASSUKADO (2004).

Em relação à aplicação do composto gerado no processo podem-se destacar: o uso em hortos e viveiros, parques, jardins e em programas de reflorestamento e paisagismo. Estão expostos na Tabela 4 alguns índices sobre a aplicação da compostagem no Brasil e em alguns países.

TABELA 4. Índices de aplicação da compostagem no Brasil e outros países.

País	Índice de compostagem
Brasil	1,5%
Argentina, Uruguai e Paraguai	Menos que 5%
Estados Unidos	59,3%

Fonte: ABRE (2006).

O processo de compostagem ainda necessita de expansão de sua aplicação no cenário mundial. Os custos envolvidos no processo se apresentam como um forte agente limitador. Segundo CEMPRE (2002) as usinas de compostagem que aplicam o método natural com capacidade de 50t/dia têm um custo em torno de 6 a 10US\$/ton. Entretanto, uma pesquisa realizada nos Estados Unidos demonstrou que o processo de compostagem seria inviável sob o aspecto econômico, visto que o custo da aplicação do processo em grande parte dos países estaria em torno de 50US\$/ton (MASSUKADO, 2004). As principais vantagens e desvantagens do processo de compostagem podem ser vistas no Quadro 6.

QUADRO 6. Vantagens e desvantagens da compostagem.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> . Eliminação de agentes patogênicos; . Geração de composto natural que pode diminuir a utilização de fertilizantes; . Economia no tratamento de efluentes; . Redução da quantidade de resíduo a ser aterrado. 	<ul style="list-style-type: none"> . Necessidade de pré-seleção para eliminar impurezas presentes no material a ser compostado; . Necessidade de mercado consumidor específico;

Fonte: Adaptado de MASSUKADO (2004); PEREIRA NETO (1996); RENKOW & RUBIN (1998).

3.4.7. Incineração

A incineração é definida como o processo de combustão controlada onde ocorrem a redução de peso e volume do lixo, sendo reduzido aproximadamente 70% massa e 90% do volume inicial. Os remanescentes do processo de incineração são geralmente gases, tais como dióxido de carbono (CO₂); dióxido de enxofre (SO₂); nitrogênio (N₂), furanos, dioxinas entre outros, além de sólidos como cinzas e escórias que constituem os metais ferrosos, vidros e pedras (LIMA, 1995).

O processo de incineração é considerado um procedimento polêmico, grande parte da discussão do processo diz respeito às suas vantagens e desvantagens. O modelo tem como vantagens a diminuição do volume, a eliminação de patogênicos, o uso de pequeno espaço operacional e o aproveitamento energético do calor gerado na queima. Todavia, ele também apresenta como desvantagens o elevado custo de implantação e manutenção, necessidade de mão-de-obra especializada para manter o funcionamento e controle do sistema, e a possibilidade de poluição da atmosfera por emissão de gases (dioxinas, furanos).

Um consenso em relação a esse método de tratamento é que o mesmo deve ser adotado quando as demais soluções já estejam esgotadas ou quando a localidade não ofereça espaço suficiente para a implantação de aterros sanitários. Estão expostos na Tabela 5 dados sobre incineração em países desenvolvidos que adotaram essa forma de tratamento.

TABELA 5. Incineração em países desenvolvidos.

País	População (milhões)	Lixo (milhões.ton/ano)	Número de incineradores	Quantidade incinerada (%)
Suíça	7	2,9	29	79
Japão	123	44,5	1893	72
Dinamarca	5	2,6	32	65
Suécia	9	2,7	21	59
França	56	18,5	100	41
Holanda	15	7,1	9	39
Alemanha	61	40,5	51	22

Fonte: ASME (2005).

3.4.8. Disposição final

Atualmente, um dos grandes problemas das cidades, em grande parte do mundo, é não dispor de áreas adequadas para depositar o lixo urbano coletado. A questão dos

resíduos sólidos nunca foi planejada e encarada como problema de saúde pública e de risco ambiental. Passou a ter importância somente quando veio a disputar as áreas urbanas com a ocupação espacial e territorial da cidade, passando a representar um obstáculo à expansão urbana.

Nesse contexto, o processo mais recomendado para disposição final dos resíduos sólidos de forma adequada ainda é o aterro, podendo ser adotado dois tipos: o aterro controlado e o aterro sanitário (IBAM, 2001). O primeiro tipo de aterro é definido como uma técnica de confinar o lixo, porém, sem realizar coleta e tratamento do chorume e a coleta e queima do gás (ABNT 8849, 1983). Já o aterro sanitário é um método onde o resíduo é confinado em valas impermeabilizadas denominadas de células, sendo estas cobertas com material inerte, geralmente solo, e providas de meios de drenagem de gás e chorume (ABNT 8419, 1992).

A grande vantagem dos aterros é que estes representam uma forma de disposição final de resíduos sólidos no solo em que se garante um confinamento seguro em termos de poluição ambiental, proteção à saúde pública, sendo também o de menor custo dentre todos os métodos de destinação sanitária de resíduos sólidos. As desvantagens do processo dizem respeito à necessidade de grandes áreas para a implantação, o longo período necessário para a estabilização das células e a influência de fatores climáticos na sua operação, principalmente a precipitação. Na Tabela 6 estão expostos dados sobre os tratamentos e disposição final dos resíduos sólidos em alguns países do mundo.

TABELA 6. Disposição final dos RSU em diversos países.

País	Aterros	Incineração e recuperação de energia	Compostagem	Reciclagem
Brasil	90% aterros ou lixões	-	1,5%	8%
México	97,6% aterros ou lixões	-	-	2,4%
Estados Unidos	55,4%	15,5%	29,1%	-
Alemanha	50%	30%	5%	15%
França	48%	40%	12%	-
Suécia	40%	52%	5%	3%
Austrália	80%	Menos de 1%	Insignificante	20%
Israel	87%	-	-	13%
Grécia	95% aterros ou lixões	-	-	5%
Itália	80%	7%	10%	3%

Reino Unido	83%	8%	1%	8%
Holanda	12%	42%	7%	39%
Suíça	13%	45%	11%	31%
Dinamarca	11%	58%	2%	29%

Fonte: ABRE (2006).

No Brasil, o problema da disposição final dos resíduos sólidos continua sendo motivo de preocupação. Na grande maioria das cidades brasileiras o que mais ocorre, é a disposição do lixo a céu aberto em locais geralmente não apropriados.

Segundo JUCA (2003), apenas 13,5% dos municípios brasileiros dispõe seus resíduos em aterros sanitários, 18,3% dispõe em aterros controlados e 68,3% depositam seus resíduos em locais inadequados denominados lixões.

Os índices sobre disposição dos resíduos sólidos no Brasil demonstram uma situação precária em relação ao gerenciamento por parte das municipalidades, e a necessidade de maiores investimentos e ações no sentido de prover a manutenção do meio ambiente e da qualidade da saúde pública.

3.5. Caracterização de resíduos sólidos urbanos

Segundo o IBAM (2001), a caracterização dos resíduos sólidos de uma região compreende um conjunto de informações a respeito das características dos mesmos, obtidas através de diversos ensaios. Esses ensaios vão desde a determinação da composição gravimétrica dos resíduos, até a identificação de suas características biológicas.

O objetivo principal da caracterização é identificar os principais componentes e propriedades (Tabela 7) dos resíduos sólidos urbanos, e é de vital importância para o gerenciamento dos mesmos. Conhecer os resíduos, mediante a sua caracterização, é a primeira atitude a ser tomada, a fim de tornar possível a segregação, o acondicionamento diferenciado, a coleta, o transporte, o tratamento e a disposição final adequados.

TABELA 7. Elementos de caracterização dos RSU.

Características Físicas	Características Físico-químicas	Características Biológicas
Geração per capita	Potencial Hidrogeniônico (pH)	População microbiana, e agentes patogênicos.
Composição Gravimétrica	Sólidos fixos e voláteis	

Peso específico aparente	Relação Carbono/Nitrogênio	
Teor de Umidade	Poder calorífico	
Compressividade	Composição química	

Fonte: IBAM (2001).

3.5.1. Geração *per capita*

A geração dos resíduos sólidos urbanos – RSU é um fenômeno inevitável que ocorre diariamente em quantidades e composições que dependem do tamanho da população e do desenvolvimento econômico de cada localidade (OLIVEIRA, 1998).

No Brasil, a geração de resíduos sólidos chega a aproximadamente 228.413ton/dia, sendo 125.258 toneladas referentes aos resíduos domiciliares. Esses valores equivalem a uma média de 700g/hab.dia (JUCÁ, 2002a). Os números citados acima consideram o resíduo residencial e comercial, excluindo os grandes geradores que a municipalidade pode ou não atender, variando em função da legislação local.

Para se entender melhor a questão da geração de RSU no Brasil, está exposta na Tabela 8, dados sobre a distribuição regional da população brasileira associando a mesma quantidade de resíduos sólidos gerados diariamente por pessoa e por região. Estão expostos na Tabela 9, como informações complementares, os valores de geração *per capita* dos resíduos no Brasil e em outros países do mundo.

TABELA 8. Estimativa da geração de RSU no Brasil.

Região	População		Geração de resíduos (Toneladas/dia)		Geração <i>per capita</i> (kg/hab.dia)
	Valor	Percentual (%)	Valor	Percentual (%)	
Brasil	169.799.170	100	228.413	100	1,35
Norte	12.900.704	7,6	11.067	4,8	0,86
Nordeste	47.741.711	28,1	41.588	18,2	0,87
Sudeste	72.412.411	42,6	141.617	62,0	1,96
Sul	25.107.616	14,8	19.875	8,7	0,79
Centro-Oeste	11.636.728	6,9	14.297	6,3	1,23

Fonte: PNSB (IGBE, 2000).

TABELA 9. Geração *per capita* de RSU.

País	kg/hab.dia
Brasil	0,70
Uruguai	0,90
México	0,87
Estados Unidos	2,00

Canadá	1,70
Alemanha	0,90
Suécia	0,90

Fontes: Adaptado de CEMPRE (1997) e Environment Protection Agency - EPA (2007).

Em relação ao contexto brasileiro, os principais fatores que estimularam a geração de resíduos nos últimos anos foram: a estabilização da moeda brasileira e o alargamento gradativo do poder aquisitivo das faixas de baixa renda. Tais acontecimentos geraram reflexos diretos em diversas regiões do país. Para exemplificar, a *per capita* da cidade de São Paulo cresceu de 0,82kg/hab.dia em 1991 para 1,01kg/hab.dia em 1996. Em países desenvolvidos tal taxa pode chegar a 2,0kg/hab.dia (CEMPRE, 1997).

3.5.2. Composição gravimétrica

Segundo CARVALHO (1999), é possível afirmar que, em termos de composição, os resíduos sólidos urbanos são meios multifásicos, sendo constituídos pelas fases sólida, líquida e gasosa. Inicialmente, os resíduos são formados basicamente pela parte sólida, com a passar do tempo ocorrem os processos de biodegradação, surgindo as fases líquida (percolado) e gasosa (gás metano e outros).

A fase sólida dos resíduos apresenta grande heterogeneidade e porosidade. Os poros presentes nessa fase podem estar ou não preenchidos por biogás e/ou líquido percolado. As fases líquida e gasosa, por sua vez, estão diretamente relacionadas aos processos de decomposição sofridos pelos resíduos ao longo do tempo, os quais estão associados diretamente ao teor de umidade, conteúdo orgânico e as condições climáticas (GRISOLIA & NAPOLEONI 1996; CARTIER & BALDIT, 1983).

Nesse contexto, o ensaio de determinação da composição gravimétrica é a ferramenta utilizada para analisar a fase sólida. Nesse processo de análise é feita a separação, identificação e quantificação dos materiais que compõem o resíduo, através da determinação da massa destes em relação à massa total.

A composição gravimétrica é importante, pois indica a possibilidade de aproveitamento tanto das frações recicláveis, quanto da matéria orgânica para produção de composto orgânico, ambos podendo ser utilizados para comercialização. Quando realizada por regiões da cidade, esta ajuda a efetuar um cálculo mais justo da tarifa de coleta e destinação final (IBAM, 2001).

Os principais fatores que influenciam na quantidade e composição gravimétrica dos resíduos são as condições sociais, as atividades econômicas predominantes (indústrias,

turismo, serviços, entre outros), valores culturais e condições climáticas e geográficas do local (BARROS & MÖLLER, 1995; BIDONI & POVINELLI, 1999; IBAM, 2001). O Quadro 7 apresenta esses fatores e sua interferência na composição dos resíduos.

QUADRO 7. Fatores que influenciam a composição gravimétrica dos RSU.

Fatores		Interferência
Épocas especiais	Feriados	Aumento da quantidade de plástico.
	Férias	Aumento da quantidade produzida em função de imigração ou migração.
Sócio econômico	Cultura	O nível cultural aumenta diretamente a produção de descartáveis.
	Poder aquisitivo	Promove variações nos componentes dos resíduos em função de variações na renda.
	Desenvolvimento tecnológico	Promove variações no peso específico dos resíduos, além de modificação no próprio tipo de resíduo produzido em função de novas tecnologias.
	Comércio	Promove variações nos componentes dos resíduos em função de promoções e vendas.
	Campanhas de conscientização	Altera os componentes do resíduo aumentando o número de materiais biodegradáveis.
Climático	Outono	Aumento da quantidade de resíduos provenientes de podas (galhos, folhas).
	Verão	Aumento da quantidade de embalagens de bebidas.

Fonte: IBAM (2001).

3.5.2.1. Métodos de determinação da composição gravimétrica

Diversos métodos já foram propostos e utilizados para a realização da composição gravimétrica dos resíduos sólidos. Dentre eles, estão os métodos aplicados por: KIEHL (1980), OLIVEIRA (1998), GALVÃO (1997), COSTA (2000), FARIAS & BRITO (2000), JUCÁ (2002b) e CUNHA (2005). Para a maioria dos autores citados o processo inicia-se com a retirada das amostras dos caminhões de coleta, seguido da pesagem da amostra e homogeneização prévia do resíduo. Em todos os métodos realiza-se a triagem e pesagem dos componentes por classe de material, sendo estes: vidro, papel, papelão, plástico mole, plástico duro, matéria orgânica, madeira, couro, borracha metais, terra/similares e outros.

As principais distinções entre as metodologias empregadas pelos autores ocorrem basicamente na escolha do local de coleta, no modo de executar a separação, na homogeneização e na retirada da amostra.

- **Método gravimétrico segundo KIEHL (1980)**

O processo testado e adequado por KIEHL (1980) consiste em coletar diariamente amostras no lugar de disposição final das mesmas (aterros sanitários, lixões). As amostras

são retiradas no momento de entrada dos resíduos nos aterros, após descarga do veículo coletor, anotando-se hora, dia mês e ano, bem como o circuito percorrido pelo transporte coletor e as condições climáticas.

No final do dia, todas as porções coletadas devem ser misturadas e trituradas. A massa triturada é separada em quatro partes iguais, sendo duas partes descartadas e as duas restantes novamente quarteadas, separando-se sempre as partes vis-à-vis. A operação é repetida até restarem de 3 a 5kg de lixo, os quais devem ser encaminhados ao laboratório para que se proceda a análise.

No laboratório, as amostras sofrem um processo de triagem e peneiramento, onde os componentes da massa são gradualmente separados e pesados em relação à massa total, obtendo-se no final dos ensaios a composição física do lixo.

- **Método gravimétrico segundo OLIVEIRA (1998)**

Segundo OLIVEIRA (1998), as caracterizações devem ser executadas no local de destino final dos resíduos sólidos (aterros sanitários, lixões). As amostras devem ser retiradas em função de setores específicos da localidade estudada, considerados mais representativos. O processo consiste em três etapas:

1. Inicialmente, descarrega-se o conteúdo do caminhão em local determinado;
2. Em seguida, molda-se uma leira quadrada, onde será colocado todo o volume relativo à capacidade do caminhão. A leira é dividida em 16 quadrantes com capacidade de volume de 1m³ cada, onde se escolhem, aleatoriamente, dois quadrantes representativos.
3. A seguir, os resíduos dos quadrantes escolhidos são retirados, manualmente, da leira e colocados sobre uma lona plástica preta. As amostras (sacos de acondicionamento de resíduos) são rompidas, manualmente, e os materiais são triados conforme o tipo.

O diagrama da amostragem e composição gravimétrica empregada por OLIVEIRA (1998) é mostrado na Figura 2.

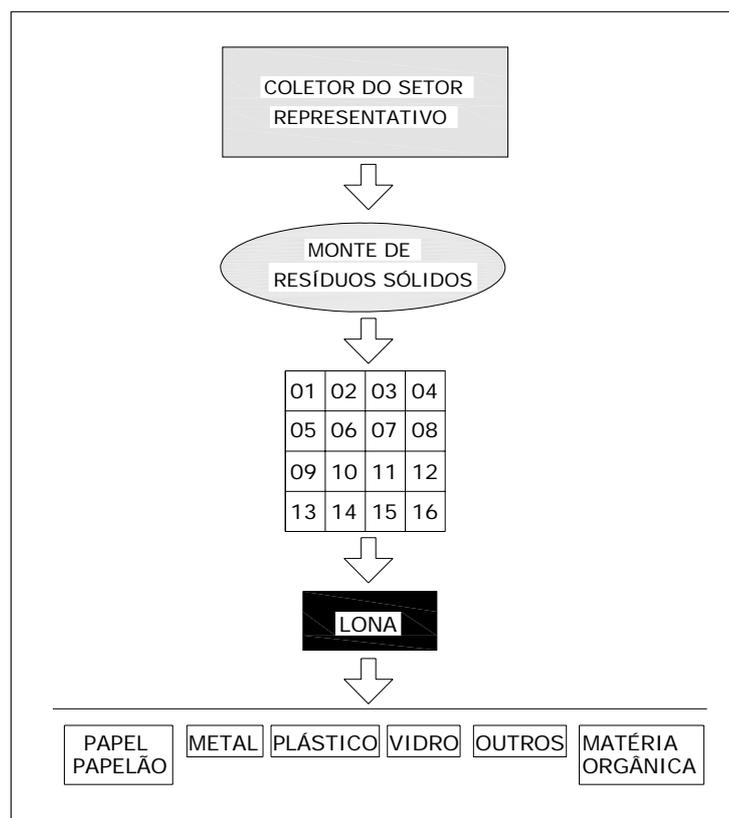


FIGURA 2. Diagrama de Amostragem dos RSU.
Fonte: OLIVEIRA (1998).

- **Método gravimétrico segundo COSTA (2000)**

COSTA (2000) realizou uma caracterização utilizando para as coletas recipientes deixados em locais distintos e específicos. Os recipientes empregados tinham volume pré-definidos de 100L cada. Os dias de realização das análises foram fixos, as amostras encontradas nos recipientes eram pesadas após a triagem de suas frações, sendo anotado o tipo e a quantidade de cada fração.

- **Método gravimétrico segundo FARIAS & BRITO (2000)**

No caso de FARIAS & BRITO (2000) a composição gravimétrica foi obtida através de ensaios com amostras de material já enterrado. Esse ensaio consistiu em: escavar até uma profundidade desejada, coletar certa quantidade de material, homogeneizar e separar através de quarteamento apenas a percentagem necessária para o ensaio, realizar a segregação de cada material existente na amostra e pesá-los separadamente. Esse tipo de procedimento é usualmente empregado para determinar a composição gravimétrica de

resíduos antigos No estudo feito por FARIAS & BRITO (2000) foram analisadas células com idade de 6 meses a 1 ano.

- **Método gravimétrico segundo GALVÃO (1997), JUCÁ (2002b) e CUNHA (2005)**

Nesse processo, as amostras são retiradas do caminhão coletor na chegada deste ao aterro, através da descarga do conteúdo do mesmo. Depois, a amostra coletada é levada para uma lona, onde são efetuados dois quarteamentos seguidos da triagem e pesagem dos componentes. Como esse método foi utilizado nessa dissertação, maiores detalhes sobre esse processo podem ser encontrados no tópico 5 que descreve a Metodologia empregada.

3.5.2.2. Composição gravimétrica no Brasil e no Mundo

Usualmente os ensaios de determinação da composição gravimétrica têm demonstrado que o RSU é uma mistura de materiais de diferentes tipos, formas e dimensões, tais como, papel, plástico, resíduos alimentares, papelão, tecidos, borracha, entulhos, madeira, metais entre outros. A Tabela 10 apresenta as principais características e porcentagens típicas de cada constituinte dos resíduos em estudos desenvolvidos nos Estados Unidos (SOWERS, 1973).

TABELA 10. Porcentagens típicas dos componentes dos RSU.

Componentes	Porcentagem (massa)
Resíduos orgânicos	10-20
Papel e pano	10-40
Resíduos de poda	10-20
Plásticos	1-2
Instrumentos de Metal	5-15
Metal maciço	1
Borracha	5-10
Vidro	5-15
Madeiras	0-5
Entulho	0-10
Cinzas e escórias	0-5

Fonte: SOWERS (1973).

A quantidade de cada um desses materiais varia significativamente em função de práticas de reciclagem, incineração e hábitos de desperdício do local estudado (COWLAND & KOOR, 1995), como também se relaciona com o nível econômico, sanitário e cultural dessas regiões (CARTIER & BALDIT 1983, FARIAS & BRITO,

2000). Os resíduos podem ainda sofrer variações devido a aspectos de sazonalidade, climáticos, influências regionais e temporais (IPT, 2000).

As Tabelas 11 e 12 apresentam as composições gravimétricas percentuais médias de RSU em algumas cidades do Mundo e do Brasil, respectivamente.

TABELA 11. Composições gravimétricas dos RSU em diferentes países (%).

	Matéria Orgânica	Papel papelão	Plástico	Metal	Vidro	Borracha couro	Têxteis	Outros
Alemanha (média país)	61,20	10,40	3,80	5,80	18,80	-	-	-
Holanda (média país)	50,30	14,50	6,70	6,00	22,50	-	-	-
EUA (média país)	35,60	8,20	8,70	6,50	41,00	-	-	-
EUA (New York)	20,0	22,0	-	5,0	6,0	3,0	-	46,0
Tailândia (Bangkok)	44,0	25,0		1,0	1,0	7,0	3,0	19,0
China (Pekin)	45,0	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	-	46,0
Kenia (Nairobi)	74,0	12,0	5,0	3,0	4,0	-	-	2,0
Japão (Hong Kong)	15,0	3,0	-	3,0	10,0	7,0	10,0	22,0
Turquia (Istambul)	61,0	10,0	3,0	2,0	1,0	6,0	3,0	14,0
Grécia (Atenas)	59,0	19,0	7,0	4,0	2,0	4,0	-	5,0
Brasil (média país)	60	25	3,00	4,00	3,00	-	-	5,00
Bolívia (Cocha Bamba)	71,0	2,0	3,0	1,0	1,0	1,0	-	21,0

Fonte: Adaptado de MANASSERO (1997) e IBAM (2001).

TABELA 12. Composições gravimétricas dos RSU de cidades brasileiras (%).

Cidades (ano)	Componente					
	Matéria orgânica	Papel papelão	Plástico	Vidro	Metal	Outros
Botucatu/SP (1997)	74,11	7,61	8,41	1,99	3,86	4,02
São Carlos/SP (1989)	56,7	21,3	8,5	1,4	5,4	6,7
Rio Claro/SP (1985)	62,8	15,2	5,5	2,1	3,5	10,9
Porto Alegre/RS (1983)	74,4	10,6	6,0	1,4	4,2	3,4
Curitiba/PR (1993)	66,0	3,0	6,0	2,0	2,0	21,0
Rio de Janeiro/RJ (1993)	22,0	23,0	15,0	3,0	4,0	33,0

São Paulo/SP (1993)	37,8	29,6	9,0	4,9	5,4	13,3
Salvador/BA (1993)	43,0	19,0	11,0	4,0	4,0	19,0
Fortaleza/CE (1994)	65,6	14,6	7,8	7,0	5,0	-

Fonte: GOMES (1989), JARDIN et al. (1995) e OLIVEIRA (1998).

Segundo DONHA (2002) quanto mais pobre for a população maior será a predominância da quantidade de matéria orgânica presente no lixo (restos de comida, por exemplo), embora esse percentual tenha gradativamente diminuído em países com alta concentração urbana e industrial.

O estudo atual revela um aumento percentual acentuado de 20% da matéria orgânica nos resíduos. Esse fato pode estar atrelado às condições sócio-econômicas da população, que em épocas de menor poder aquisitivo e desemprego, opta por consumir alimentos in natura, o que produz restos alimentares. Por outro lado, a tendência cada vez maior da população em separar os materiais recicláveis, causa também o acréscimo na percentagem da matéria orgânica (LIMPURB, 2003).

Na cidade de Maceió, no estado de Alagoas, Brasil, alguns dados sobre composições gravimétricas já foram publicados. Estão expostos na Tabela 20 os resultados publicados e os autores, bem como o período de estudo das composições já realizadas na cidade.

TABELA 13. Composições gravimétricas dos RSU de Maceió (% base úmida).

Componentes	PINHEIRO Mar a Ago/93	GALVÃO Out/96 a Fev/97	JUCÁ Fev/02b	CUNHA Jan a Fev/05
Papel/Papelão	17,28	11,20	16,00	10,50
Madeira	0,89	0,60	Inertes 10,00	2,30
Trapos	2,13	2,80		3,20
Couros/borracha	0,53	0,50		0,00
Plástico duro	2,48	2,20	13,00	5,10
Plástico mole	4,52	6,80		16,30
Latas/Metals	2,36	2,20	3,00	2,70
Vidro	1,16	1,50	2,00	3,10
Terra / Similares	15,14	18,80	-	5,10
Matéria orgânica	48,08	52,60	50,00	51,00
Outros	1,13	0,80	6,00	0,70
Total	100	100	100	100

3.5.3. Peso específico

O peso específico de uma amostra é um índice obtido através da relação do peso desta pelo volume ocupado pela mesma. Para o caso dos RSU o peso específico é importante, pois auxilia no correto dimensionamento da frota de coleta, assim como de contêineres e caçambas estacionárias (IBAM, 2001). Contudo, a determinação do peso específico é uma tarefa de difícil consecução, podendo ainda apresentar elevada dispersão de resultados. Apesar disso, vários métodos têm sido utilizados dos quais se destaca como o mais simples a escavação de um poço ou trincheira, sendo feita a pesagem do material e determinação do volume por meio do preenchimento do poço, estando este devidamente impermeabilizado (MARQUES, 2001).

Dentre os principais fatores que influenciam o peso específico podem-se destacar: a umidade, a porosidade, grau de saturação, porcentagem de cada componente, tipo compactação ou adensamento utilizado. Dessa forma, o RSU apresenta diversas formas de peso específico, isso devido às diversas fases de compactação ao qual o resíduo está exposto desde o seu acondicionamento até o local de disposição final. Nesse contexto, apresentam-se na Tabela 14 alguns dados de peso específico obtidos por OWEIS (1993) através de análises feitas em comunidades onde se empregavam programas de reciclagem.

TABELA 14. Valores típicos de peso específico de RSU.

Forma do resíduo	Peso específico (KN/m³)
RSU – compactação moderada	4,7 - 6,3
RSU – fardo de lixo	8,6 - 14,1
RSU – compactação boa a excelente	8,6 - 9,4
RSU – aterro antigo	9,7
RSU – aterro ativo com líquido percolado	6,6
RSU – ensaio em poço	8,9 - 16,2
RSU – após recalque e degradação	9,9 - 11,0
Resíduos de incinerador	7,2 - 12,7
Resíduos de incinerador recente e antigo	14,9 - 16,6
Pedaços de madeira seca	2,3
Pedaços de madeira com 64% de umidade	3,8
Composto de folhas	2,6
Compostagem com 40% de umidade	5,2
Produto final	3,5

Fonte: OWEIS (1993).

Sabe-se também que o peso específico dos resíduos tende a aumentar com a profundidade, e pode ter valores bastante variáveis dependendo das características do aterro e do resíduo. MANASSERO et al. (1996), apresentaram valores de peso específico variando entre 3KN/m³ e 9KN/m³ para aterros mal compactados, 5KN/m³ a 8KN/m³ para moderadamente compactados e 9 a 10,5KN/m³ em aterros bem compactados. Já KAVAZANJIAN et al (1995) apresentaram variação de 3,3 até 12,8KN/m³ para pontos na superfície e em profundidades superiores a 60metros respectivamente, em estudos realizados no aterro de Puente Hills próximo de Lois Angeles. Em aterros do Canadá com elevado teor de matéria orgânica encontrou-se valores entre 7 e 14KN/m³ (LANDVA & CLARK, 1990). No aterro de Dekorte Park, New Jersey WITHIAM et al (1995) encontraram valores de 11 a 13KN/m³.

No Brasil, as pesquisas realizadas sobre peso específico dos resíduos sólidos apresentam valores distintos dependendo do local e do período de estudo. BARROS & MÖLLER (1995) em estudo realizado na cidade de Belo Horizonte, encontraram valores médios de 1,79KN/m³ para a amostra bruta. LIMA (1995), por sua vez, apresenta como valor médio 1,92KN/m³ para o resíduo brasileiro. O IBAM (2001), por sua vez, estabelece que na ausência de dados deve-se utilizar como parâmetros médios o intervalo de 2,3 a 2,8 KN/m³ para amostras brutas. Em estudos realizados por CARVALHO (1999) no aterro sanitário de Bandeirantes, São Paulo, encontrou-se valores entre 20 e 25KN/m³ em resíduos com 15 anos de aterro. MARQUES (2001) apresentou valores para o peso específico em função do tipo de compactação empregada em um aterro experimental em São Paulo, obtendo valores da ordem de 6 a 20KN/m³ para aterros compactados com rolo compressor e de 6 a 24KN/m³ para trator de esteira. Na cidade de Maceió, pesquisa desenvolvida por (GALVÃO, 1997) encontrou valores entre 2,6 a 4,6KN/m³.

3.5.4. Teor de umidade

O teor de umidade é um parâmetro que representa a quantidade de água contida em uma amostra medida em percentual do seu peso. Para o caso do RSU esse parâmetro depende da composição inicial do material, das condições climáticas do local de estudo, do processo de operação dos aterros, da taxa de decomposição biológica e das estações do ano. De acordo com KONIG & JESSBERGER (1997) o teor de umidade pode ser determinado de forma análoga à mecânica dos sólidos, ou seja, deve-se submeter à amostra a um processo de secagem a 105°C. O total de peso perdido na secagem é o valor da água

contida na massa. O material remanescente do processo é definido como teor de resíduo seco (LIMA, 1995). O somatório do teor de umidade com o teor de resíduo seco deve dar o peso total da amostra.

Em se tratando de estudos sobre teor de umidade observa-se que tal índice é normalmente relacionado à análise dos resíduos nas células dos aterros sanitários, e em geral o índice apresenta grandes variações em função da profundidade das células e de parâmetros locais tais como o clima. Em 1990 SIEGEL et al. encontrou valores de umidade entre 10 a 45% para o aterro de Monterey Park na Califórnia. No aterro de Albany, na cidade de New York GIFFORD et al. (1990) encontrou uma variação de 14 % a 68 % para o teor de umidade. Em análises desenvolvidas nos aterros municipais dos Estados Unidos por TCHOBANOGLIOUS et al. (1993) e MANASSERO et al. (1996) foram encontrados valores de teor de umidade entre 15% e 40% em locais onde a evapotranspiração excede a precipitação tendo como valor típico 25%. Já GABR & VALERO (1995) encontraram variação de 30% a 100% no teor de umidade em função da profundidade das células do aterro de Pioneer Crossing, Pensilvânia. Os valores encontrados mostraram valores mais elevados em maiores profundidades. Contudo, COUMOULOS et al. (1995) encontrou comportamento oposto no aterro de Ano Liossia em Atenas (Grécia) Nos primeiros 5 metros de profundidade o teor de umidade foi de 80 % e na profundidade de 30 metros o índice encontrado foi de 40%.

No Brasil, as pesquisas sobre o teor de umidade demonstram consideráveis variações de valores tais quais as variações observadas em pesquisas estrangeiras. Para BARROS & MÖLLER (1995) o teor de umidade para o RSU no Brasil está entre 30% e 40%. Já segundo o IBAM (2001) o índice varia de 40% a 60%. JUCA et al (1997), encontrou valores maiores que 50% pro aterro de Muribeca na cidade do Recife. Em estudos realizados por CARVALHO (1999) no aterro sanitário de Bandeirantes, São Paulo, encontrou-se valores entre 45% a 90% em resíduos com 15 anos de aterro. O mesmo autor apresentou também a umidade de cada componente encontrado no resíduo como exposto na Tabela 15.

TABELA 15. Umidade dos componentes dos RSU.

Componentes	Umidade (%)
Metais	19,6
Papel	74,8

Vidro	5,9
Plástico	41,5
Borracha	24,5
Têxteis	55,0
Pedra	12,6
Madeira	69,8
Pasta orgânica	47,0

Fonte: CARVALHO (1999).

MARQUES (2001) apresentou valores para o teor de umidade em função das camadas estudadas em um aterro experimental em São Paulo, obtendo valores da ordem de 18% a 54%. Para Maceió, Estado de Alagoas, Brasil, GALVÃO (1997) encontrou valores de umidade variando entre 30% e 55%.

Cabe salientar que o estudo do teor de umidade além de ser efetuado para amostras de RSU como um todo, pode também ser feito utilizando-se apenas a fração orgânica como amostra. Segundo CARVALHO (1999), o teor de umidade é basicamente o resultado de altas porcentagens de material orgânico presente no resíduo (restos de alimentos, resíduos de podas e jardim). Tal afirmação baseia-se no fato de que os materiais inorgânicos, tais como, plásticos e papéis tem, geralmente, teores de umidade abaixo de 10%. Dessa forma, o teor de umidade tende a aumentar em função do incremento de material orgânico (LANDVA & CLARK, 1990).

3.5.5. Potencial Hidrogeniônico (pH)

O termo pH (potencial hidrogeniônico) é usado universalmente para expressar o grau de acidez ou basicidade de uma solução, ou seja, é o modo de expressar a concentração de íons de hidrogênio nessa solução. A escala de pH é constituída de uma série de números variando de 0 a 14, os quais denotam vários graus de acidez ou alcalinidade. Valores abaixo de 7 e próximos de zero indicam aumento de acidez, enquanto valores de 7 a 14 indicam aumento da basicidade. O valor do pH é definido como o logaritmo do inverso da concentração de íons de hidrogênio na mistura de uma amostra e água, e o seu princípio quantitativo é fundamentado na diferença de potencial entre uma solução aquosa e uma superfície de vidro quando estabelecido contato (LIMA, 1995).

Para o caso do RSU, a determinação do pH é importante, pois este indica o grau de corrosividade dos resíduos coletados, servindo para estabelecer o tipo de proteção contra a corrosão usada nos veículos coletores, equipamentos, caçambas metálicas e contêineres.

A determinação do pH pode ser executada basicamente de duas formas, a primeira é pela análise direta de líquido presente nos aterros denominado de percolado ou chorume (líquido negro, ácido e com forte odor), que é o subproduto da atividade bacteriana resultado do processo de decomposição predominantemente anaeróbio dos aterros. Esse líquido tem um potencial poluente elevado, sua composição química é extremamente complexa e variável. Nos aterros a produção de chorume decorrente do processo de degradação é normalmente pequena, entretanto as águas pluviais que infiltram nos aterros aumentam a quantidade de líquidos percolados (CARVALHO, 1999). As características típicas dos líquidos percolados foram apresentadas por TOCHOBINOGLIOUS et al (1993) e estão expostas na Tabela 16, dentre as quais se destaca o valor do pH variando entre 4,5 a 7,5 em função da idade dos aterros.

A segunda forma de determinação do pH é através de líquidos indicadores, esse processo é interessante devido a sua simplicidade e natureza prática (LIMA, 1995). O processo consiste em homogeneizar uma amostra de resíduo triturado com água destilada empregando-se normalmente uma proporção de 1:3 em massa (uma parte de resíduos para três de água destilada). Recomenda-se que se efetue a mistura dos componentes durante 5 a 10 minutos. O passo seguinte é o descanso da mistura por um período de 5 minutos, logo depois esta deve ser filtrada e com o líquido que resulta desse processo determina-se o pH por medição direta. Os valores típicos de pH encontrados em análises utilizando líquidos indicadores estão entre 5 e 7 (IBAM, 2001).

TABELA 16. Composição típica do líquido percolado de aterros sanitários.

Constituintes	Aterros novos (< 2 anos)		Aterros antigos (> 10 anos)
	Faixa	Típico	
DBO (mg/L)	2000-30000	10000	100-200
DQO (mg/L)	3000-60000	18000	100-500
SST (mg/L)	200-2000	500	100-400
N (orgânico) (mg/L)	10-800	200	80-120
N (amoniaco) (mg/L)	10-800	200	20-40
Nitratos (mg/L)	5-40	25	5-10
P (total) (mg/L)	5-100	30	5-10
Alcalinidade (CaCO ₃) (mg/L)	1000-10000	3000	200-1000

pH	4,5-7,5	6	6,5-7,5
Dureza (CaCO ₃) (mg/L)	300-10000	3500	200-500
Ca (mg/L)	200-3000	1000	100-400
Mg (mg/L)	50-1500	250	50-200
K (mg/L)	200-1000	300	50-400
Na (mg/L)	200-2500	500	100-200
Cloretos (mg/L)	200-3000	500	100-400
Sulfatos (mg/L)	50-1000	300	20-50
Fé (total) (mg/L)	50-1200	60	20-200

Fonte: TOCHOBINOGLIOUS et al. (1993).

A maioria das pesquisas sobre o pH do RSU desenvolvidas no Brasil tem encontrado valores entre 5 e 8. Em estudos realizados por CARVALHO (1999) no aterro sanitário de Bandeirantes, São Paulo, encontrou-se valores entre 5 e 8,12 em resíduos com 15 anos de aterro. MARQUES (2001) apresentou valores para o pH em um aterro experimental em São Paulo, obtendo valores da ordem de 7 a 8,5. Em Maceió, no estado de Alagoas, estudo realizado por GALVÃO (1997) mostrou valores de pH variando entre 4,8 a 7,1.

3.5.6. Série de Sólidos

Os Sólidos indicam a matéria que presente no resíduo, após evaporação, secagem ou calcinação de uma amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um tempo fixado. Em linhas gerais, as operações de secagem, calcinação e filtração são as que definem as diversas frações de sólidos (sólidos totais, em suspensão, dissolvidos, fixos e voláteis). A determinação do percentual de sólidos é importante, pois através dela pode-se estimar a quantidade de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existente no resíduo. Sendo um indicador da degradação do RSU ao longo do tempo, um valor elevado de sólidos voláteis (SV) indica a forte presença de matéria orgânica enquanto um valor mais baixo de SV (valor elevado de sólidos fixos, SF) indica que o resíduo já sofreu um processo de degradação.

Os métodos empregados para a determinação de sólidos são gravimétricos, ou seja, os resultados são medidos através de balança analítica ou de precisão. Para o caso do RSU

a porcentagem de SF e SV contidos em uma amostra é determinada, utilizando-se uma amostra analítica, que é levada a um forno e submetida a uma temperatura de 550 C° durante um período de 2 horas. O material remanescente é definido como SF, enquanto que o volatilizado é a parcela de SV (GALVÃO, 1997).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

Maceió é a capital do estado de Alagoas e o seu nome teve origem de um engenho às margens da lagoa Mundaú, chamado Maçaió, nome este vindo do tupi "Massayó-k", ou "o que tapa o alagadiço". Sua data de fundação é 5 de dezembro de 1815. O município foi desmembrado ocorrendo a elevação da condição de povoado a vila em 29 de dezembro de 1816, principalmente por causa do desenvolvimento vindo do porto de Jaraguá, um "porto natural" que facilitava o atracamento de embarcações, por onde eram exportados açúcar, fumo, coco e especiarias (OLIVEIRA, 2004). Com o contínuo processo de desenvolvimento, em 9 de dezembro de 1839 a cidade se tornou capital da província de Alagoas, com o simbólico ato da transferência do Tesouro da Província para Maceió.

4.1. Localização

Maceió possui seus limites definidos entre os paralelos 09°28'14" e 09°42'42" Latitude SUL e meridianos 35°33'29" e 35°47'38" Longitude OESTE, localizando-se na faixa central litorânea do Estado de Alagoas. A Figura 2 ilustra a localização do município.

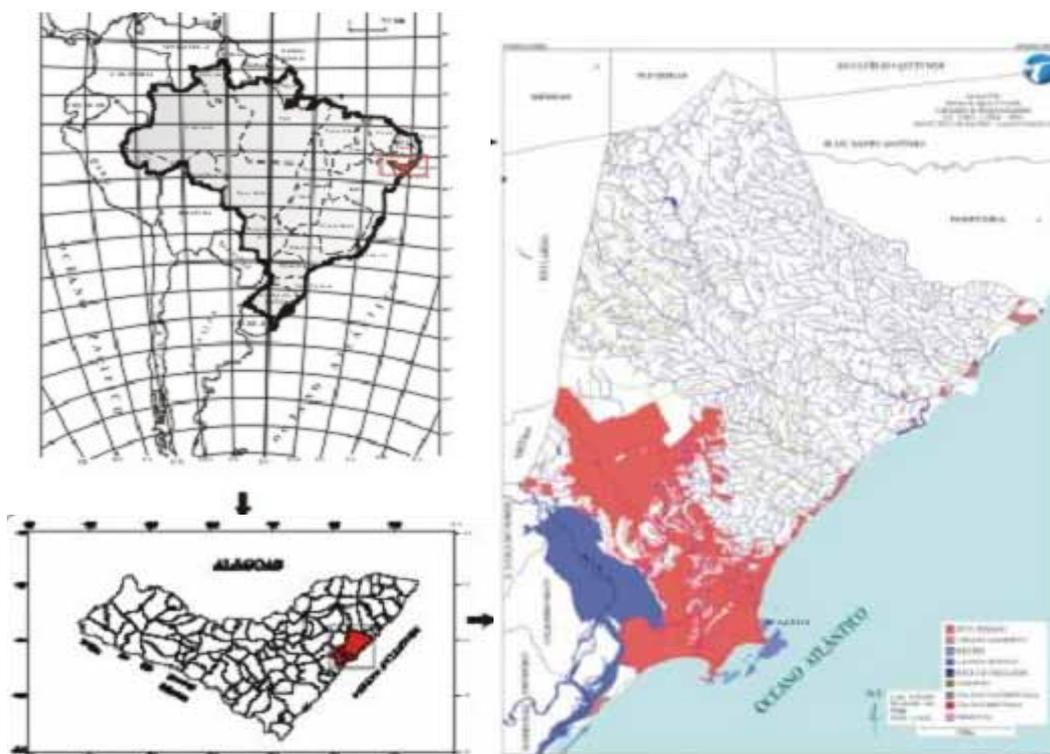


FIGURA 3. Localização da área de estudo (OLIVEIRA, 2004).

A capital do Estado Alagoas possui uma extensão equivalente a um percentual de 1,83% do território alagoano e pertence à mesorregião do Leste Alagoano (OLIVEIRA,

2004). Grande parte de sua concentração urbana está situada na porção sul do município. A parte sudoeste da cidade é banhada pela lagoa Mundaú, as poções sudeste e leste pelo oceano Atlântico. Em relação ao noroeste limita-se com os municípios de Santa Luzia do Norte, Satuba e Rio Largo, na periferia dos bairros do Rio Novo, Santos Dumont e Cidade Universitária. E no Norte está situada sua área rural (CORRÊA, 1997).

A cidade é composta por 50 bairros distribuídos em 8 regiões administrativas, de acordo com o Plano diretor de 2006. Dos bairros existentes, dois abrigam pouco menos da metade da população da capital, são eles: Benedito Bentes e Jacintinho, ambos com mais de 200 mil habitantes cada, o Jacintinho é um complexo de favelas, já o Benedito Bentes é um Conjunto Habitacional criado há vinte anos que, atualmente, abriga muitos outros conjuntos ao seu redor, que juntos às favelas e grotas formam o bairro. Está exposto na Figura 4 o mapa das regiões administrativas de Maceió e seus respectivos bairros.

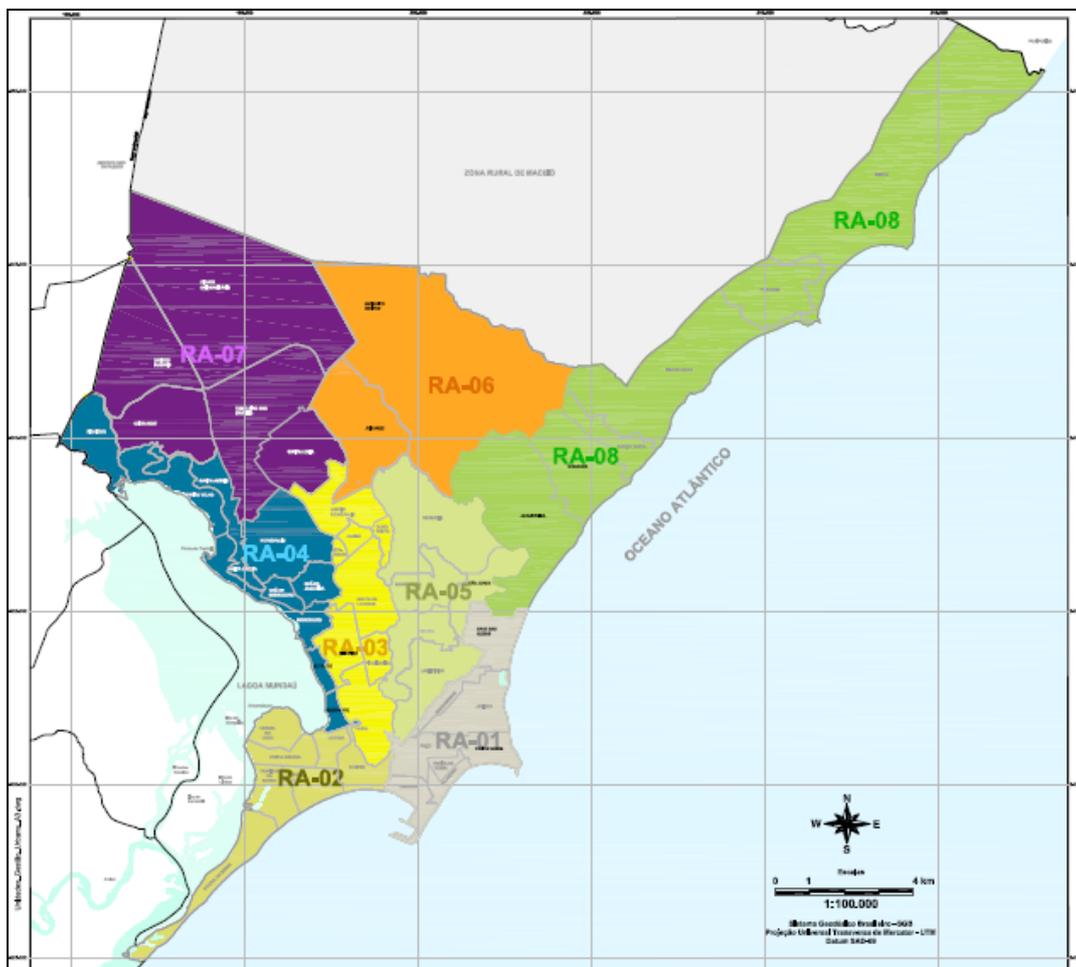


FIGURA 4. Cidade de Maceió, bairros e regiões administrativas.

Fonte: Prefeitura Municipal de Maceió.

4.2. Características físicas da cidade

Maceió está inserida em uma área de baixas altitudes, em média sete metros acima do nível do mar, daí resultam as temperaturas elevadas e precipitações intensas, fatores que definem um clima quente e úmido, com poucas diferenciações térmicas, tendo variação térmica média entre 23°C a 25°C. O índice de umidade varia entre 20% a 60%. O excedente hídrico varia de 3 a 6 meses e a deficiência hídrica de 4 a 5 meses (FONSECA e AZEVEDO, 1993). A Figura 5 ilustra as precipitações médias mensais do município.

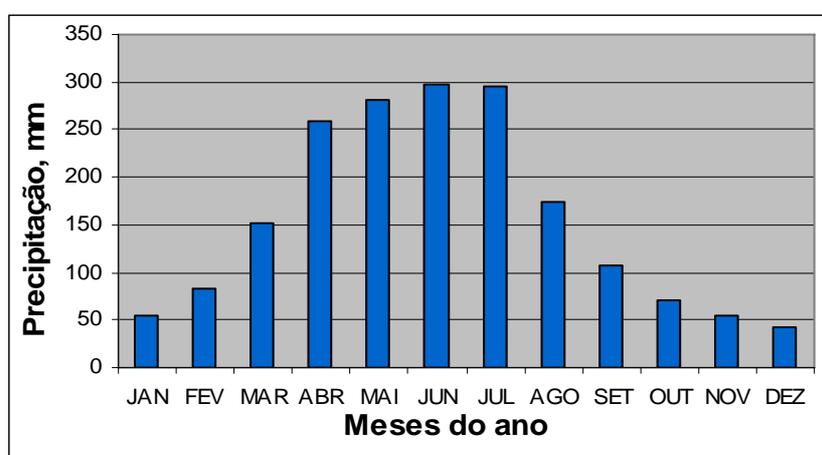


FIGURA 5. Precipitações médias mensais observadas no período de 1972 a 1996.
Fonte: Adaptado de Souza et al. 1998.

A presença da maritimidade diminui os efeitos da temperatura, proporcionando elevada umidade relativa do ar, variando entre 75% e 82% durante o ano todo. Os meses de maio e junho são os mais úmidos e os de novembro e dezembro os mais secos.

As precipitações apresentam uma irregularidade anual, com um total de chuvas variando entre 1500mm a 2000mm, crescendo em direção as montanhas dos vales, do total precipitado, cerca de 60% ocorrem nos meses de abril a junho, apresentando período de escassez nos meses de outubro a dezembro.

Em termos de formação lagunar, destaca-se na cidade a lagoa Mundaú como a mais importante do estado, tanto do ponto de vista econômico como turístico. Com área superior a 23km² e profundidade variando de 1m a 7m, a lagoa deságua no Oceano Atlântico no subúrbio do pontal da barra, por meio do Canal do Calunga ou Canal Grande de Fora.

O espaço urbano da cidade é drenado pela bacia do riacho Reginaldo, com seus afluentes nascendo no bairro de Santa Lúcia e Antares, além de outros menores que nascem no planalto e deságuam no oceano. Alguns são afluentes do Reginaldo, como o riacho do Sapo e o Gulandim que o encontram no bairro do poço (TENÓRIO E ALMEIDA, 1979).

Atualmente o riacho Reginaldo encontra-se com sua vegetação intensamente devastada devido a ações de origem antrópica, o seu leito encontra-se assoreado e tem sido alvo do lançamento indiscriminado de resíduos sólidos urbanos até sua desembocadura. Tal realidade transformou as encostas do riacho em área de risco de deslizamento e comprometido o saneamento da região. No bairro do poço, o Reginaldo recebe o nome de Salgadinho, devido à influência da cunha salina. Ao desembocar na praia da Avenida, é responsável pela poluição do local, impossibilitando o banho e outras atividades, em virtude da má qualidade da água (OLIVEIRA, 2004).

Em termos de cobertura vegetal, a capital apresenta apenas remanescentes do que um dia foi sua vegetação. Grande parte das áreas de florestas e cerrado deram lugar a conjuntos habitacionais, residências e implantação de indústrias (COSTA e RAMOS, 2004). O pouco que restou se restringe a sítios e matas secundárias com poucas áreas de cerrado, principalmente no bairro do Tabuleiro, bem como algumas áreas de coqueirais situados na orla litorânea.

4.3. Características socioeconômicas

A cidade de Maceió apresenta diversos aspectos políticos e administrativos, destacando-se no âmbito econômico, industrial, cultural e financeiro. A expansão socioeconômica da cidade tem ocorrido de forma desordenada acompanhando o crescimento de unidades comerciais que ocorrem na maioria das vezes sem planejamento (OLIVEIRA, 2004).

Os aspectos econômicos da cidade têm influenciado sua urbanização acontecendo a migração da população para áreas de concentração de renda. A população de baixa renda tem se estabelecido em favelas e aglomerados nas encostas dos vales que cortam os planaltos e em áreas alagadiças às margens da Laguna Mundaú.

Como consequência do crescimento urbano descontrolado, a cidade tem sofrido impactos em decorrência de fenômenos climáticos destacando-se: alagamentos de áreas

urbanas e desmoronamentos em grotas devido a precipitações intensas. Além disso, destacam-se ainda a falta de saneamento básico, dificuldade de acesso a muitas áreas e exclusão social.

O crescimento populacional da cidade tem sido outro fator agravante para os problemas do crescimento urbano. Na década de 60 havia na cidade 153.305 habitantes, 20 anos depois, em 1980, a cidade já tinha 409.191 habitantes, em 2005, o censo demográfico do IBGE registrou cerca de pessoas 800.000, hoje são aproximadamente 903 mil habitantes, divididos em 511km² e densidade demográfica de 1.731,74hab./km². A Tabela 17 apresenta as populações urbanas observadas de 1950 a 2000.

TABELA 17. Populações urbanas observadas no período 1950/2000.

ANO	POPULAÇÃO
1950	103.644
1960	153.305
1970	269.415
1980	409.191
1991	628.241
1996	723.230
2000	797.759

Fonte: IBGE (2000).

Em relação à economia, um dos principais elementos de sustentação da cidade é a indústria do turismo, nesse seguimento a cidade destaca-se nacional e internacionalmente. No parque industrial, destacam-se as empresas situadas no distrito industrial Luis Cavalcante e a Brasken. O distrito industrial tem atividades relacionadas em grande parte com materiais destinados à construção civil, além de empresas de refrigerantes, galpões de armazenamento e transportadoras. A Brasken por sua vez é especializada na exploração e beneficiamento de produtos químicos (OLIVEIRA, 2004).

O comércio da cidade tem crescido nos locais de concentração de renda em bairros como Ponta Verde e Jatiúca, além da parcela de comércio previamente estabelecida no centro da cidade. Verifica-se também o deslocamento de certos setores do comércio para o interior da cidade, ao longo da Avenida Fernandes Lima e em bairros mais populosos como Tabuleiro e Benedito Bentes.

4.4. Aspectos da limpeza urbana

O sistema de limpeza urbana de Maceió tem sua fiscalização desenvolvida pela Superintendência de Limpeza Urbana de Maceió – SLUM, um dos órgãos da Prefeitura da cidade. As principais atividades realizadas pela SLUM são: varrição, limpeza de praias, coleta de containeres e tambores, coleta de entulho de pequenos geradores e restos vegetais, fiscalização dos terceirizados e operação do vazadouro.

O percentual do orçamento público destinado ao serviço de limpeza urbana é 7,5%, o que está acima do percentual nacional que é de 6% PNSB (2000). A maior parte dos recursos é aplicada em gastos com serviços sendo aproximadamente 78% do total, o restante é aplicado a gastos com pessoal. Os custos do serviço de limpeza urbana no Município estão em torno de R\$ 38,24/ton, valor próximo ao mínimo observado no Brasil que varia na faixa de R\$25,0/ton a R\$60,0/ton (GERSRAD, 2004).

4.5. Geração e Coleta de lixo

Estima-se que a geração de resíduos sólidos na cidade de Maceió é de cerca de 1100ton/dia. O serviço de coleta é praticamente terceirizado, 60% são assumidos pela empresa Viva Ambiental e 40% pela empresa LIMPEL nos serviços de coleta de lixo e operação do vazadouro. No que diz respeito aos equipamentos utilizados nos serviços de coleta de lixo e operação do vazadouro, estão expostas na Tabela 18, a frota de veículos e tratores, suas quantidades e titularidade.

TABELA 18. Principais elementos da infra-estrutura operacional utilizados em Maceió.

EQUIPAMENTO	SLUM	TERCEIROS
COLETA DE LIXO		
Compactadores	04	23
Poly	02	08
Caçambas toco	02	20
Caçambas trucadas	-	10
Pás carregadeiras	02	01
OPERARAÇÃO DO VAZADOURO		
Tratores de esteira	-	02
Pá carregadeira	-	01
COOPERATIVA DE CATADORES		
Prensa hidráulica	01	-

Fonte: GERSRAD, 2004.

4.6. Disposição final de lixo

Quanto à destinação final, há 40 anos os resíduos sólidos urbanos de Maceió são depositados no vazadouro de Cruz das Almas. Estima-se que 1.100 toneladas de resíduos sólidos chegam diariamente ao vazadouro e que estão depositados cerca de 700.000m³ de resíduos sólidos. Como é um aterro antigo, o vazadouro de Cruz das Almas tem uma quantidade considerável de resíduos acumulados, chegando a atingir a cota de 65,0m, com altura superior a 30m (GERSRAD, 2004). A Figura 6 é uma Fotografia aérea da área de depósito de lixo no vazadouro.



FIGURA 6. Fotografia aérea do vazadouro de Cruz das Almas.
Fonte: GERSRAD, 2004.

A estrutura do aterro de Maceió é bastante precária contando basicamente com um cercado parcial, balança e controle de entrada dos caminhões. Devido à quantidade e altura dos resíduos acumulados, a compactação dos resíduos sólidos não tem mais sido possível, sendo os mesmos espalhados sem nenhum material de cobertura, o que resulta em impactos ambientais sobre o meio antrópico aéreo, terrestre e aquático. Verificava-se, também, no vazadouro a presença de 572 catadores cadastrados trabalhando na segregação e comercialização de recicláveis. A estrutura física disponível envolve um prédio, uma oficina e uma garagem (GERSRAD, 2004).

5. METODOLOGIA

A metodologia empregada na realização do trabalho consistiu em quatro etapas. As duas etapas iniciais constituíram as fases de planejamentos das atividades a serem desenvolvidas, nestas etapas planejaram-se quais locais iriam ser estudados e quais critérios de seleção das localidades iriam ser empregados, bem como a frequência e o período de realização das atividades de forma a alcançar os objetivos propostos. As duas fases seguintes foram fases de realização das atividades planejadas, sendo executadas as atividades de campo e de laboratório. Maiores detalhes sobre cada uma das atividades que constituem a metodologia empregada nesta pesquisa pode ser encontrado nos próximos tópicos, que esclarecem com riqueza de detalhes cada uma das etapas. Desta forma, a seguir cada uma das etapas empregadas no trabalho bem como a descrição de cada uma delas.

- **Etapas da metodologia empregada:**

1. Seleção dos bairros de estudo;
2. Determinação do período e frequência de coleta de amostras, e da realização de ensaios de campo e de laboratório;
3. Realização de ensaios de campo no lixão de Maceió: determinação da composição gravimétrica e de peso específico;
4. Realização dos ensaios de laboratório: análises físico-químicas da fração orgânica.

- **Descrição das etapas:**

5.1. Seleção dos bairros de estudo

Esta etapa consistiu em selecionar um conjunto de bairros, pertencentes à cidade de Maceió, com objetivo de obter destes um grupo de amostra capaz de representar os resíduos produzidos em toda a cidade. Com esse objetivo foi feita a escolha de um bairro representativo para cada uma das regiões administrativas que compõe a cidade, ou seja, um bairro em cada RA. Os critérios adotados para a seleção dos bairros levaram em conta: o roteiro de coleta dos caminhões coletores, o número de habitantes do bairro, aspecto econômico através da divisão dos bairros por nível social: baixo com renda média até 5 salários mínimos, médio com renda entre 5 e 10 salários e alto com renda acima de 15

salários, nível educacional, tipo de atividade desenvolvida e as ocupações prioritárias. Na Tabela 19 estão expostos os bairros selecionados e suas principais características.

TABELA 19. Bairros selecionados e suas principais características.

Bairro	RA	Tipo de resíduo	Nível social	Turno de Coleta	Empresa Coletora
Jatiúca	RA-01	R	Alto	Diurno	Viva ambiental
Centro	RA-02	R-C	Médio	Noturno	Viva ambiental
Farol	RA-03	R	Médio alto	Diurno	Viva ambiental
Chã da Jaqueira	RA-04	R	Baixo	Diurno	Viva ambiental
Jacintinho	RA-05	R-C	Baixo	Diurno	Limpel
Benedito Bentes	RA-06	R-C	Baixo	Diurno	Limpel
Tabuleiro do Martins	RA-07	R	Médio	Diurno	Viva ambiental
Ipioca	RA-08	R	Baixo	Diurno	SLUM

Legenda: R=residencial, C = comercial.

5.2. Determinação do período e frequência de coleta e da realização de ensaios

O período de coleta e análise das amostras, tanto para ensaios de campo quanto para os ensaios de laboratório, foi de março de 2006 a fevereiro de 2007. A escolha desse período de estudo teve como objetivo possibilitar a análise da influência da sazonalidade e de eventos culturais da cidade nas características do resíduo. A meta adotada para a frequência de coleta de amostras e realização dos ensaios foi mensal, ou seja, 8 amostras/mês, uma para cada bairro em estudo. A Tabela 20 apresenta o calendário previsto e realizado dos ensaios, e a quantidade de amostras obtidas no período de estudo para cada uma das regiões administrativas.

TABELA 20. Calendário de obtenção de amostras, Mar/2006– Fev/2007.

Bairros	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Total
Jatiúca	RA – 1												
	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	12
Centro	RA – 2												
	X	X	X	X	X	-	X	-	X	-	X	-	8
Farol	RA – 3												
	X	X	-	-	X	-	X	X	X	X	-	X	8
Chã da Jaqueira	RA – 4												
	X	-	X	X	X	-	X	-	X	X	X	-	8
Jacintinho	RA – 5												
	X	X	X	-	-	X	X	X	-	X	-	X	8
Benedito Bentes	RA – 6												
	X	-	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-	8

Tabuleiro do Martins	RA – 7												
	X	X	X	-	X	X	X	X	-	X	-	X	9
Ipioca	RA – 8												
	X	X	X	X	X	X	-	X	-	-	X	X	8

(X) – Amostras obtidas com êxito.

(-) – Amostras não obtidas.

Meta para o número total de amostras a serem coletadas – 96.

Número total de amostras efetivamente coletadas – 69.

É importante frisar que a diferença entre o conjunto de amostras previstas e as efetivamente obtidas na pesquisa, deveu-se basicamente a dificuldades operacionais tais como, obtenção de materiais específicos, falta de mão-de-obra e acessibilidade aos caminhões compactadores dos quais se retiravam as amostras.

5.3. Realização dos ensaios de campo

Para cada amostra coletada foi medido o peso específico e determinada a composição gravimétrica do lixo, empregando o método do quarteamento, segundo os métodos aplicados por GALVÃO (1997), JUCÁ (2002b) e CUNHA (2005), LIMA (1995) e BIDONI & POVINELLI (1999).

5.3.1. Peso específico aparente

a) A primeira etapa adotada para a determinação do peso específico foi à obtenção da amostra por meio do descarregamento do caminhão coletor na chegada deste ao lixão. O motorista do caminhão compactador descarregava parte da carga (aproximadamente 1 tonelada) em um local previamente preparado para receber a amostra (local limpo com lona). Depois da descarga, cerca de 400 kg de lixo, ainda ensacados, eram pesados e cubados em recipiente de volume conhecido (Figura 7). Cabe salientar que a quantidade de 400 kg é considerada suficiente por diversos autores que realizaram ensaios iguais, sendo obtidos resultados com precisão equivalente a amostras de maior porte. É importante frisar também que em relação à determinação da densidade todas as amostras analisadas foram retiradas de veículos compactadores, cujo grau de compactação foi amenizado apenas no ato da descarga do conteúdo do veículo.



Características do Recipiente adotado:

- Recipiente rígido;
- Dimensões: 90cm x 60cm de diâmetro;
- Volume do recipiente: 0,254m³;
- Peso do recipiente: 7,5kg;

FIGURA 7. Recipiente adotado para determinação do peso específico.

- b) A densidade da amostra foi então calculada pela relação entre a massa e o volume da mesma de acordo com a equação 1.

$$\rho = \frac{M - Mr}{V} \text{ (Kg/m}^3\text{)} \dots\dots\dots \text{equação 1}$$

Onde:

ρ = Densidade;

M = massa de resíduos;

Mr = massa do recipiente;

V = Volume do recipiente.

5.3.2.Composição gravimétrica

- a) O ensaio de determinação de composição gravimétrica iniciava-se com o rompimento dos sacos que formavam a amostra de 400kg utilizada na determinação da densidade (Figura 8). Após o rompimento dos sacos o conteúdo deles era homogeneizado manualmente com auxílio de pá e enxada (Figura 9).



FIGURA 8. Rompimento dos sacos plásticos.



FIGURA 9. Homogeneização da amostra.

- b) Depois de homogeneizada a amostra era dividida em 4 partes iguais (Figura 10). Com as porções devidamente separadas, desprezam-se duas quartas-partes (2 partes vis-à-vis, Figura 11), sobrando duas porções de 100kg, o que finaliza o primeiro quarteamento (Figura 12).



FIGURA 10. Divisão da amostra em 4 partes, com aproximadamente 100kg cada.



FIGURA 11. Primeiro quarteamento, retirada de duas partes restando 200kg.



FIGURA 12. Mistura das duas partes do primeiro quarteamento, cerca de 200kg.

- c) Depois as duas partes de 100kg restantes eram misturadas (Figura 12) e iniciava-se o segundo quarteamento. No segundo quarteamento, mais uma vez a amostra era dividida em quatro partes, agora com 50kg cada, duas quartas partes, vis-à-vis, eram novamente desprezadas, resultando agora em apenas duas porções de 50kg cada.
- d) Finalmente as duas porções restantes de 50kg eram misturadas, a soma dessas duas porções finais era a amostra trabalhada neste método de determinação da composição física. Em outras palavras, a amostra representativa do caminhão de coleta era de aproximadamente 100kg.
- e) Com o fim do processo de quarteamento, procedia-se a segregação e pesagem dos principais componentes que constituíam o resíduo. A lista dos componentes observados está exposta na Tabela 21, onde se encontram também a ordem de separação e a descrição de cada um deles. A separação dos elementos foi feita manualmente, já para pesagem dos componentes do resíduo foram utilizadas duas balanças, uma de precisão com capacidade máxima de 60Kg e capacidade mínima de 400g com margem de erro de 20g, graduada no Núcleo de Pesquisas Tecnológicas - NPT da Universidade Federal de Alagoas. A outra balança tinha capacidade de 200Kg e era de uso da própria Superintendência de Limpeza Pública de Maceió – SLUM. A pesagem de cada grupo de componentes foi registrada em um boletim de campo (ver anexo), em seguida era determinado o percentual de cada componente presente no resíduo através da determinação da massa destes em relação à massa total, como mostrado na equação 2.

$$CG(\%) = \frac{Mc}{Mt} \times 100 \dots\dots\dots \text{equação 2}$$

Onde:

CG é a composição gravimétrica (%);

Mc é a massa do componente (Kg);

Mt é a massa total (Kg).

TABELA 21. Componentes dos RSU e suas características com a respectiva ordem de separação.

Ordem	Componente	Descrição
1	Plástico flexível	Materiais fabricados a partir de resinas (polímeros) sintéticas derivadas de petróleo, pertencentes à categoria dos termoplásticos. Utilizados em diversos seguimentos tais como comércio, indústrias etc.
2	Plástico rígido	Materiais fabricados a partir de resinas (polímeros) sintéticas derivadas de petróleo, pertencentes à categoria dos termofixos. Utilizados em diversos seguimentos tais como comércio, indústrias etc.
3	Papel	Material obtido através da celulose com grande conjunto de aplicações tais como: jornais, revistas, caixas, aparas de papel etc.
4	Papelão	Material obtido pelo emprego do papel, utilizado em caixas e recipientes.
5	Trapos	Material obtido do uso de lã, algodão, seda etc. utilizados em toalhas, roupas panos e fios.
6	Couros	Materiais obtidos dos diversos tipos de couro animal ou sintético, empregados em calçados, bolsas, malas etc.
7	Borracha	A borracha natural é o produto primário do cozimento do látex da seringueira. Hoje, a borracha sintética é concorrente do elastômero natural em algumas aplicações e complementar em outras, é produzida a partir de derivados de petróleo. Empregada em pneus, sapatos, bolsas entre outras aplicações.
8	Madeira	Materiais obtidos através da extração/corte de madeiras usualmente empregados em móveis.
9	Metais	Materiais de elevada durabilidade, resistência mecânica e fácil conformação, são obtidos através de processo industrial. Classificados em 2 grupos: Ferrosos: ferro e aço (menor valor), 20% da produção nacional é a partir de recicláveis; Não ferrosos: alumínio, latão e bronze.
10	Vidro	O vidro é obtido pela fusão de areia, barrilha, calcário e feldspato. É empregado na fabricação de recipientes e na construção civil em esquadrias, entre outras aplicações.
11	Matéria orgânica	É a parte facilmente degradável sendo formada basicamente de restos de alimentos, folhas de vegetais e outros materiais orgânicos. O papel higiênico também foi

		considerado um elemento deste componente, pelo fato de ser um material contaminado com matéria orgânica de fácil biodegradabilidade.
12	Terra e similares	São resíduos formados por solos (areia, argila) e pedregulho.

5.4. Realização dos ensaios de laboratório

A caracterização físico-química dos resíduos sólidos urbanos foi realizada utilizando como amostra à fração da matéria orgânica dos mesmos. Dessa forma, foram coletadas amostras com cerca de 1,0kg da fração orgânica separada no processo de quarteamento, e estas foram levadas ao Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL (LSA/UFAL) em recipiente fechado. Com a amostra bruta obtida realizaram-se as seguintes análises: teor de umidade, sólidos totais, fixos e voláteis e determinação do pH, sendo o procedimento utilizado para cada análise descrito entre os tópicos 3.5.4 e 3.5.6.

Cabe salientar que todos os cuidados relativos à preparação dos materiais (calibração de equipamentos, tara das cápsulas etc.) foram tomados no sentido de evitar quaisquer interferências nos ensaios.

5.4.1. Teor de umidade

Esse parâmetro foi obtido por meio de experimento adotando-se os seguintes procedimentos: duas amostras de 100g do material bruto eram levadas à estufa a 100°C durante 24 horas; após o período de 24 horas as amostras eram levadas ao dessecador para resfriamento; após resfriamento as amostras eram pesadas em uma balança digital. Assim a água contida na amostra era dada pelo peso perdido durante o processo, sendo o teor de umidade em cada amostra determinado pela equação 3 e o de resíduo seco pela equação 4.

$$U(\%) = \frac{(PiA - PfA)}{PiA} \times 100 \dots\dots\dots \text{equação 2}$$

$$RS(\%) = 100 - U(\%) \dots\dots\dots \text{equação 3}$$

Onde:

U é o teor de umidade (%);

PiA é o peso inicial da amostra úmida (g);

PfA é o peso final da amostra seca a 100 °C (g);

RS é o teor de resíduo seco (%).

5.4.2. Sólidos fixos e voláteis

Os sólidos foram determinados partindo de duas amostras analíticas (secas a 100°C durante 24 horas). As amostras eram levadas a uma mufla e expostas à temperatura de 500°C durante 2 horas. Após o resfriamento em dessecador, elas eram pesadas em uma balança digital. Então, se determinava a fração dos Sólidos Fixos e Voláteis pelo uso das equações 5 e 6.

$$SV(\%) = \frac{P_{100} - P_{500}}{P_{100}} \times 100 \dots\dots\dots \text{equação 5}$$

$$SF(\%) = (100 - SV) \dots\dots\dots \text{equação 6}$$

Onde:

SV = Sólidos Voláteis;

SF = Sólidos Fixos;

P₁₀₀ = peso inicial da amostra seca a 100 °C (g);

P₅₀₀ = peso final da amostra seca a 500 °C (g).

5.4.3. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado pelo uso do método do líquido indicador (LIMA, 1995). Desta forma, foram adotados os seguintes procedimentos: inicialmente misturava-se 200g da amostra bruta com 600g de água destilada (Obedecendo a proporção de 1:3 estabelecida pelo método); a seguir a mistura era submetida à agitação em um triturador durante 5 minutos e a um período de descanso de 10 minutos; após o descanso a mistura era então filtrada e o sumo obtido era então levado ao pHmetro digital onde fora determinado o pH por medição direta.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos durante a pesquisa estão apresentados e discutidos de acordo com os objetivos específicos propostos: análise da composição gravimétrica média mensal dos RSU de Maceió ao longo do ano; avaliação da composição gravimétrica média dos RSU por RAs; avaliação do material potencialmente reciclável encontrado nos resíduos, e exame das características físico-químicas da fração orgânica média mensal dos RSU de Maceió e de suas regiões administrativas.

É importante frisar que as possíveis interferências em relação aos resultados obtidos advieram da heterogeneidade do material, das possíveis falhas em relação à calibração dos equipamentos ou falha de origem antrópica. Entretanto, todos os cuidados em relação a tais fatores foram tomados, de forma a apresentar resultados confiáveis.

6.1. Composição gravimétrica média mensal dos RSU de Maceió

Esta etapa teve o objetivo de diagnosticar se fatores como sazonalidade e eventos festivos interferem nas características dos resíduos. Dessa forma, estão apresentadas nas Tabelas 22 e 23 as composições gravimétricas médias mensais (em % de base úmida) levantadas ao longo de um ano de estudo.

TABELA 22. Composição gravimétrica média mensal de Maceió (mar/06-ago/07)

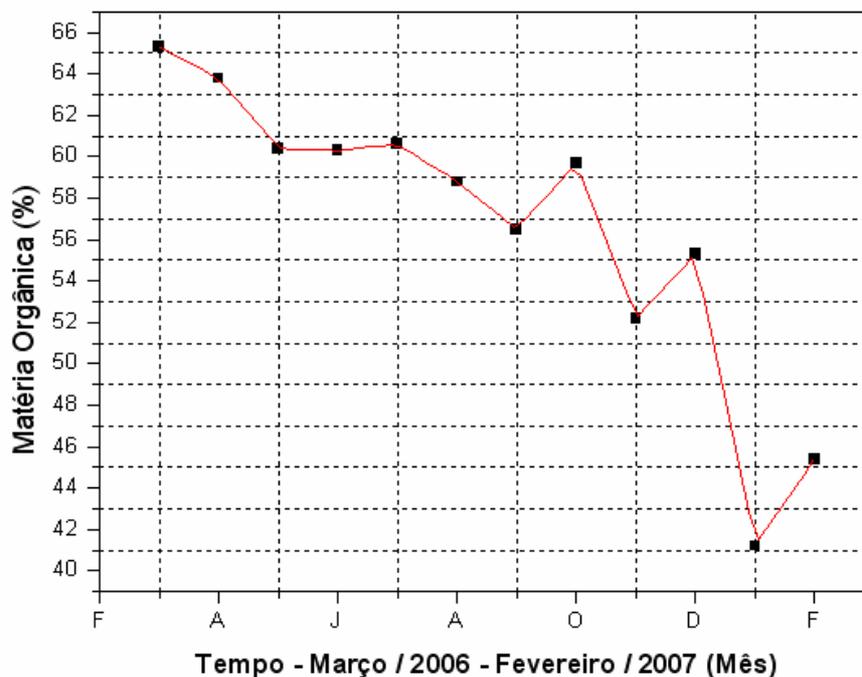
Componentes	Período de análise - Março / 2006 – Agosto / 2006					
	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago
MATÉRIA ORGÂNICA	65,3	63,8	60,4	60,3	60,6	58,8
PAPEL	2,2	4,3	2,5	3,9	2,0	1,8
PAPELÃO	1,8	3,1	5,8	3,5	5,0	6,2
PLÁSTICO RÍGIDO	2,8	3,2	2,6	3,5	2,3	2,8
PLÁSTICO FLEXÍVEL	8,8	12,0	11,8	8,1	7,6	9,7
LATA	1,8	1,6	1,6	2,3	1,1	1,6
VIDRO	2,1	1,2	0,8	0,6	0,9	0,7
MADEIRA	0,8	0,8	0,1	0,0	0,0	0,1
TRAPO	1,5	1,9	3,8	2,0	3,4	3,2
COURO	0,8	0,5	0,9	0,6	0,5	0,8
BORRACHA	0,0	0,8	0,3	0,3	0,3	0,0
TERRA/SIMILARES	11,2	13,0	11,9	14,1	15,4	13,6
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

TABELA 23. Composição gravimétrica média mensal de Maceió (set/06-fev/07)

Componentes	Período de análise – Setembro / 2006 – Fevereiro / 2007					
	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev
MATÉRIA ORGÂNICA	56,5	59,7	52,2	55,3	41,2	45,4
PAPEL	1,6	0,9	3,9	6,1	10,4	5,0
PAPELÃO	4,8	2,3	6,1	6,2	13,0	4,8
PLÁSTICO RÍGIDO	3,9	2,3	3,9	2,6	2,9	7,0
PLÁSTICO FLEXÍVEL	10,6	9,7	10,8	9,2	10,5	14,2
LATA	1,2	1,6	2,6	0,8	1,5	3,2
VIDRO	0,8	1,0	2,6	0,8	1,5	2,5
MADEIRA	0,0	0,6	0,0	1,0	1,5	1,0
TRAPO	3,4	3,6	1,7	1,3	1,5	3,5
COURO	0,7	0,4	0,6	0,7	0,0	2,3
BORRACHA	1,2	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0
TERRA/SIMILARES	14,2	17,2	14,8	14,8	15,0	10,1
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Com base nos dados apresentados nas Tabelas 22 e 23 foram traçados gráficos com intuito de visualizar e analisar melhor as variações mensais das frações de cada componente ao longo do período de estudo.

Pela Figura 13, pode-se constatar que o percentual de matéria orgânica decresceu ao longo do período estudado, com valores máximo e mínimo de 65,3% e 41,2% observados no mês de março e no mês de janeiro respectivamente.

**FIGURA 13.** Variação do percentual da matéria orgânica ao longo do período de estudo.

Os maiores valores da fração orgânica no período de março a agosto podem ser explicados pelo fato de que estes meses são os períodos de maiores índices pluviométricos (Figura 5). Cruzando-se os dados das Figuras 5 e 14, pode-se perceber que os períodos mais chuvosos coincidem com os de maiores percentuais de matéria orgânica e teor de umidade, indicando a influência da sazonalidade nos resultados encontrados.

Em relação à variação da fração de papel, pode-se observar pela Figura 14 que o valor máximo encontrado foi de 10,4% no mês de janeiro, já o valor mínimo foi de 0,9% medido no mês de outubro. O valor máximo pode ter como explicação o período de retorno das atividades escolares, e o período natalino, sendo estes períodos que estão diretamente relacionados ao consumo de papel.

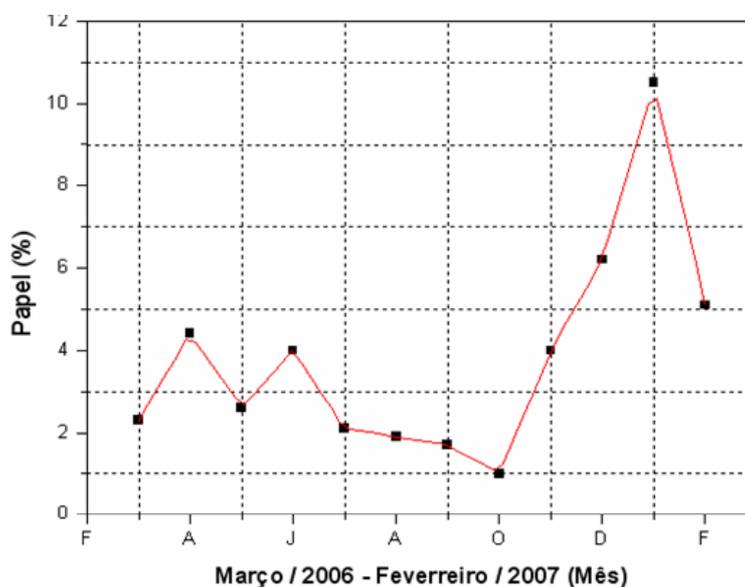


FIGURA 14. Variação do percentual de Papel ao longo do período de estudo.

Já o menor valor no percentual de papel na composição dos RSU de Maceió pode ser explicado como consequência do período de férias escolares que teve início no mês de julho, onde se observa o início do decréscimo dos índices relacionados ao papel. Outro fator relevante é o pequeno pico relacionado ao consumo de papel registrado no mês de julho, período marcado pela copa do mundo de futebol.

O comportamento da variação da fração de papelão, como pode se verificar na Figura 15 foi semelhante ao papel, com valores de máximo e mínimo de 13,0% e 1,8% no mês de janeiro e no mês de março respectivamente.

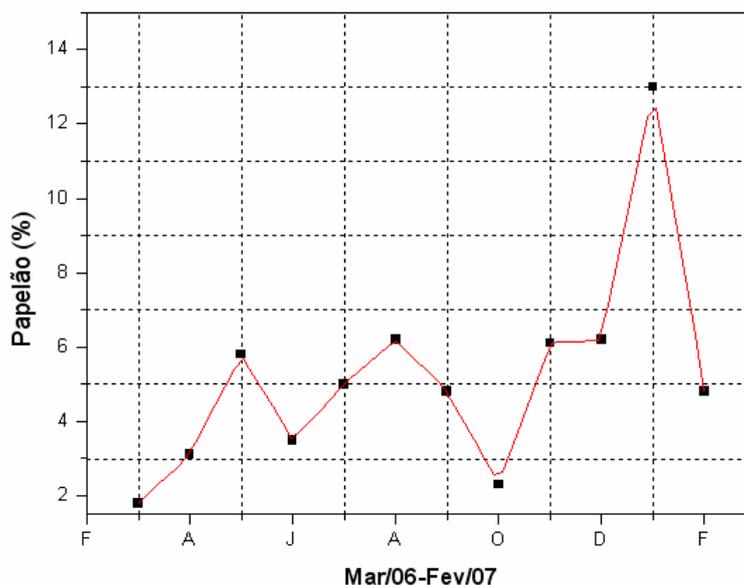


FIGURA 15. Variação do percentual de Papelão ao longo do período de estudo.

De forma análoga ao papel, o valor máximo encontrado para o papelão pode ter como explicação o período de retorno às atividades escolares e o período natalino, sendo esses períodos os que estão diretamente relacionados ao consumo de papelão. Já o menor valor pode ser explicado como consequência da diminuição das atividades do comércio no mês de março marcado pelo início do período chuvoso (Figura 5). Outro fator relevante é o pequeno pico relacionado à presença de papelão nos RSU, registrado nos meses de maio e agosto, período marcado pelo dia das mães, pela copa do mundo de futebol e pelo retorno às atividades escolares.

Já para variação da fração de plástico rígido ao longo do período estudado, como pode ser constatado pela Figura 16, o valor máximo foi de 7,0%, medido no mês de fevereiro. Entretanto, é importante salientar que o percentual máximo não se enquadra perfeitamente à curva, sendo um ponto de variação brusca. É provável que a variação observada no gráfico seja consequência do aumento de vendas de bebidas em garrafas PET durante o carnaval. Já para o valor mínimo mediu-se de 2,3% tendo ocorrido no mês de outubro.

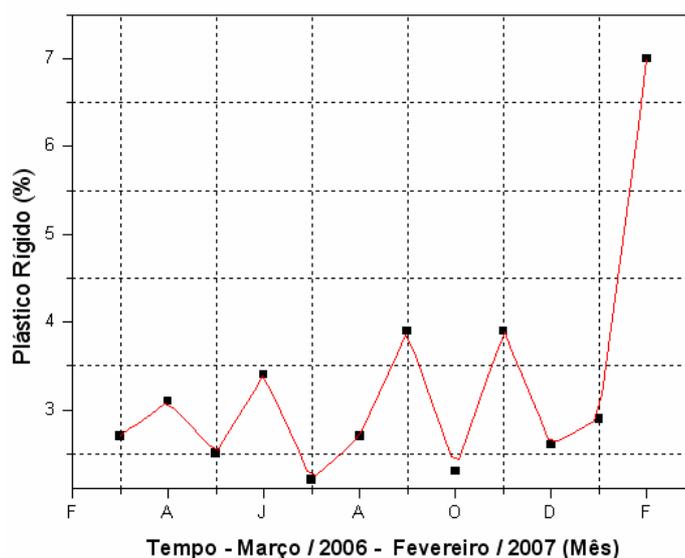


FIGURA 16. Variação do percentual de Plástico rígido ao longo do período de estudo.

Quanto ao plástico flexível, o valor máximo encontrado ao longo da pesquisa foi de 14,2%, sendo medido no mês de fevereiro, como pode ser visto na Figura 17. O valor elevado no mês de fevereiro pode ser explicado pelo aumento das atividades do comércio em função do carnaval, além de resíduos ainda remanescentes do período natalino. Os meses de abril e maio também apresentaram valores maiores que a média. Já o percentual mínimo foi de 7,6%, ocorrido no mês de julho, o que pode ser explicado pelo clima local, já que os meses de agosto, junho e julho são períodos de chuva, o que esfriaria as atividades do comércio local.

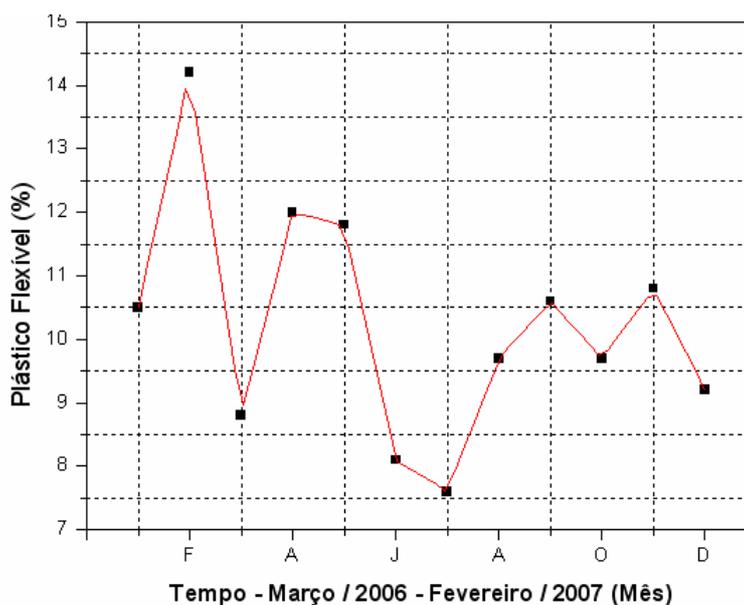


FIGURA 17. Variação do percentual de Plástico flexível ao longo do período de estudo.

Em relação à variação mensal dos percentuais de metais e vidros, pode-se observar pelas Figuras 18 e 19 que os maiores valores destes ocorreram nos meses de fevereiro para latas e novembro para o vidro. Entretanto, nota-se também, nas referidas figuras, que existem muitos pontos próximos de zero, o que demonstra que a presença desses elementos ao longo da pesquisa foi quase nula.

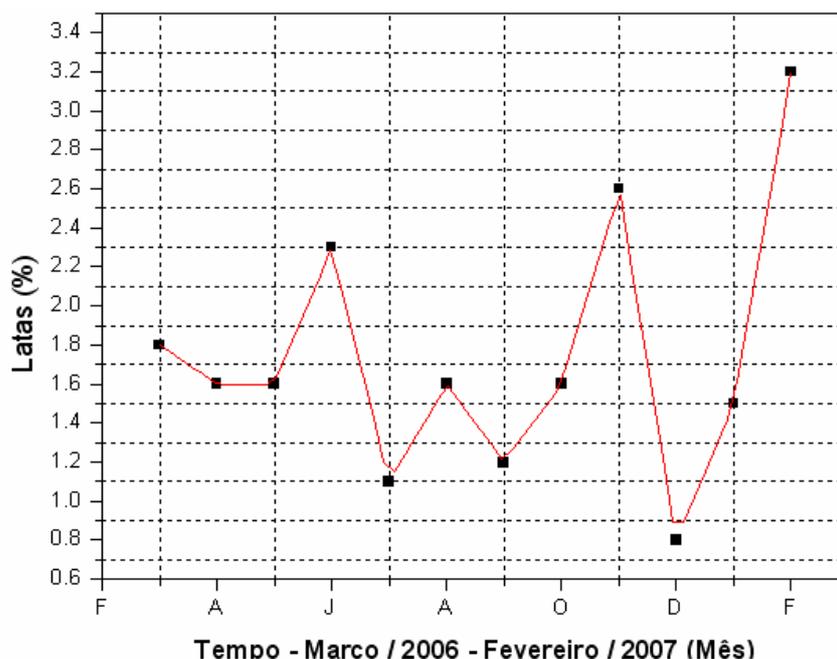


FIGURA 18. Variação do percentual de Latas ao longo do período de estudo.

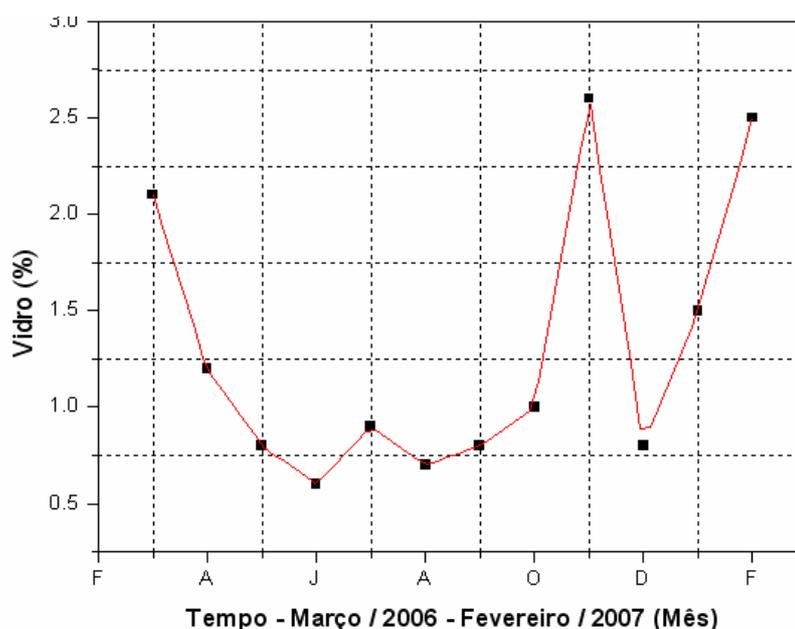


FIGURA 19. Variação do percentual de Vidro ao longo do período de estudo.

Analisando os resultados obtidos para a componente terra e similares, observa-se na Figura 20 que os valores máximos foram medidos no mês de outubro e julho, sendo de 17,2% e 15,4% respectivamente. É provável que os picos encontrados tenham relação com o ciclo hidrológico da cidade (ver Figura 4.3) e com as construções populares nas diversas regiões estudadas. Isso porque o mês de outubro é um período marcado pela estiagem, o que acarretaria no início das atividades de construção na cidade, aumentando a presença de solos oriundos de entulhos. O mês de julho por sua vez, coincide com o ápice das precipitações na cidade, o que seguramente elevou o teor de umidade dos solos presentes nos resíduos, acorrentando em valores mais elevados. Ainda pela análise da Figura 20, constata-se que os meses que apresentaram menores valores foram fevereiro e março, sendo de 10,1% e 11,2% respectivamente. Os baixos valores registrados nesses meses coincidem com o período de diminuição das atividades do setor de construção civil popular, o que pode explicar o comportamento dos índices.

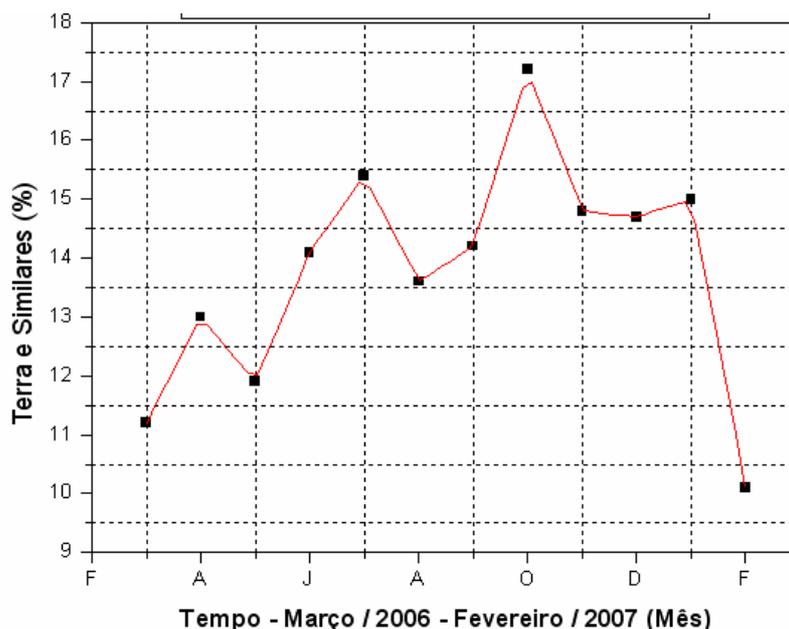


FIGURA 20. Variação percentual de terras e similares ao longo do período estudado.

Em relação às variações mensais dos componentes madeiras, couro e borracha, é possível constatar pelas Figuras 21, 22 e 23 que os maiores valores destas frações ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e setembro, respectivamente. Entretanto, nota-se também nas referidas figuras que existem muitos pontos próximos de zero, o que demonstra que a presença desses elementos ao longo da pesquisa foi quase nula.

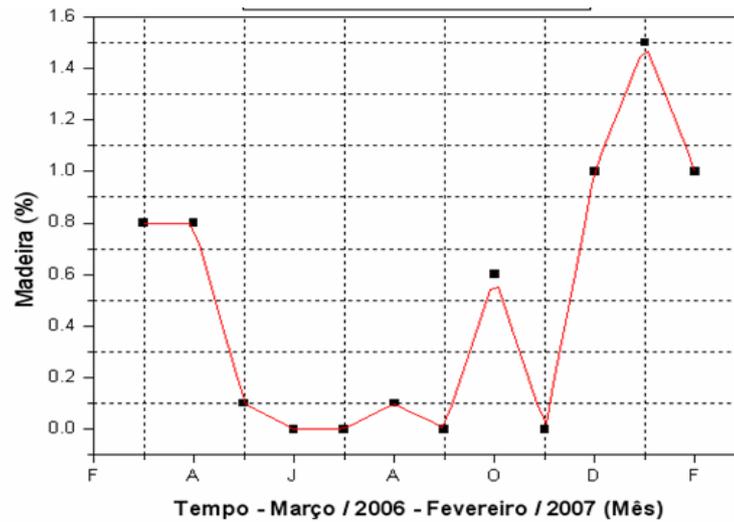


FIGURA 21. Variação do percentual de Madeira ao longo do período de estudo.

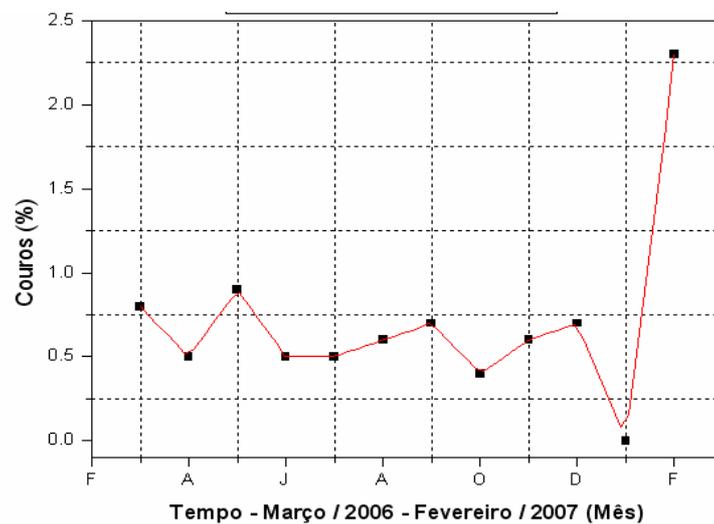


FIGURA 22. Variação do percentual de Couro ao longo do período de estudo.

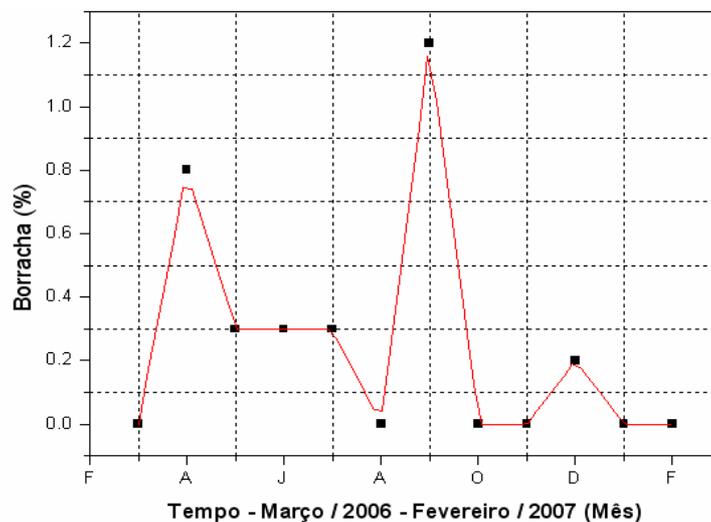


FIGURA 23. Variação do percentual de Borracha ao longo do período de estudo.

O valor médio percentual de trapos encontrados nos resíduos sólidos foi de 2,66%, um valor significativo, levando-se em conta que esse componente compreende roupas, lençóis e toalhas, sendo artigos escassos para a população mais desfavorecida. Com relação à variação da fração de trapos encontrados ao longo do tempo, pode-se observar pela Figura 24 que o maior valor registrado foi de 3,8% no mês de maio, enquanto no mês de dezembro esse percentual alcançou seu menor valor com apenas 1,3%. O mês de dezembro é um período de forte comércio, principalmente de roupas, dessa forma é provável que a aquisição de roupas ocorra com maior intensidade nesse período, sendo descartado o excedente de roupas nos meses seguintes, o que explica o comportamento do gráfico.

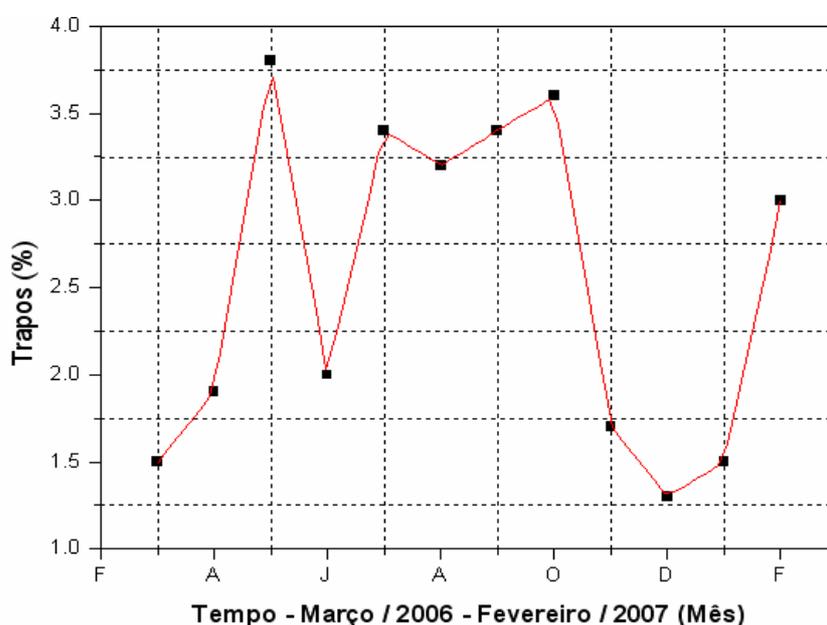


FIGURA 24. Variação do percentual de Trapos ao longo do período de estudo.

6.2. Composição gravimétrica dos RSU por região administrativa de Maceió.

Esta etapa tem o objetivo de analisar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos em cada região administrativa de Maceió, relacionando as características destes com as características da região estudada.

A composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos em cada região administrativa da cidade de Maceió (% em base úmida) está apresentada na Tabela 24.

TABELA 24. Composição gravimétrica média dos RSU das RAs (% base úmida).

Componente	RA-01 Jatiúca	RA-02 Centro	RA-03 Farol	RA-04 Chã da Jaqueira	RA-05 Jacintinho	RA-06 Benedito Bentes	RA-07 Tabuleiro	RA-08 Ipioca
Papel	5,8	3,3	3,6	2,7	3,4	1,8	3,0	6,1
Papelão	7,0	6,2	4,0	3,4	3,0	5,4	6,1	6,6
Madeira	0,3	0,2	0,5	0,3	1,1	0,7	0,6	0,3
Trapos	1,6	2,1	1,3	4,1	3,9	3,3	2,8	1,8
Couros	0,3	0,5	0,9	0,4	1,8	0,5	0,9	0,4
Borracha	0,3	0,5	0	0,5	0,6	0,4	0,1	0
Plástico Rígido	3,5	2,8	3,8	2,9	4,2	2,7	2,9	3,6
Plástico Flexível	9,2	7,9	11,1	10,7	12,2	10,9	10,6	9,2
Latas	2,3	1,9	1,9	1,8	1,1	1,0	1,3	2,3
Vidro	1,6	1,6	1,9	0,3	1,2	1,5	0,8	1,7
Terra/Similares	15,4	14,4	13,8	12,9	11,6	12,5	15,6	14,2
Mat. orgânica	52,7	58,6	57,2	60	55,9	59,3	55,3	53,8
Total	100	100	100	100	100	100	100	100

Em relação às regiões administrativas, pode-se verificar pela Tabela 24 que a RA-01, representada pelo bairro da Jatiúca (Figura 25), apresentou grandes percentuais de papel, papelão e vidro, sendo de 5,8%, 7,0% e 1,6%, respectivamente. Em relação aos menores percentuais, destacam-se o percentual de trapos e matéria orgânica, sendo de 1,6% e 52,7%, respectivamente. É importante observar que o percentual de matéria orgânica dessa região destaca-se por ser o menor entre as regiões estudadas.

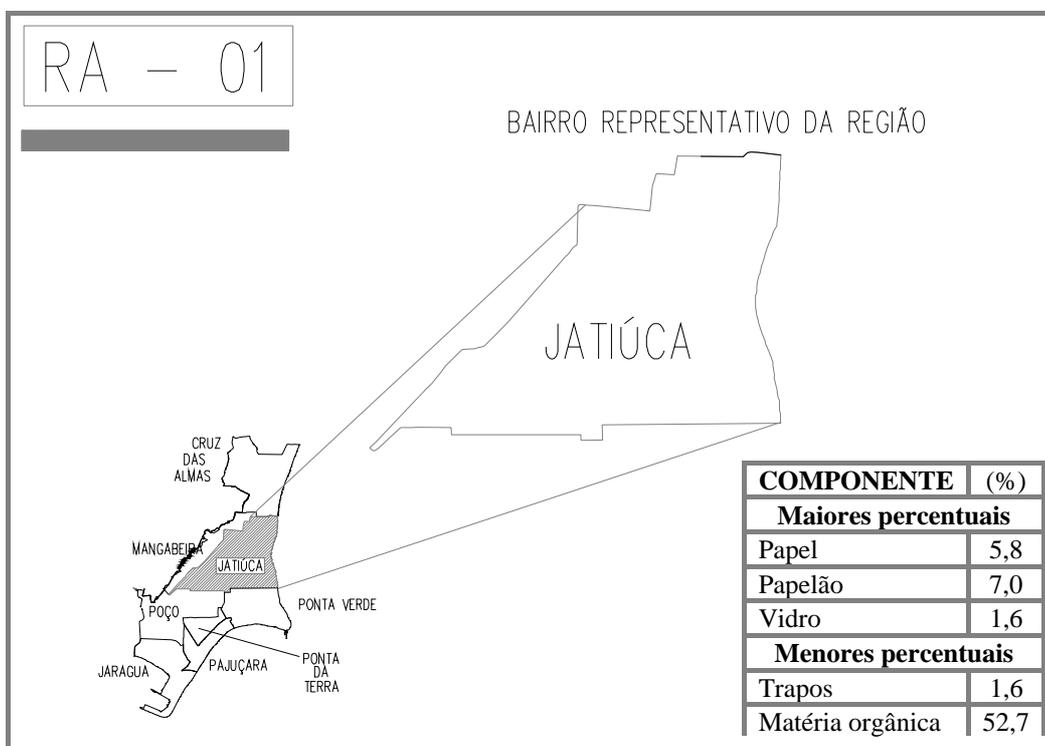


FIGURA 25. RA-01, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

As características dos resíduos da RA-01 podem ser explicadas pelo fato da região ter o maior poder aquisitivo e maior índice de desenvolvimento humano (IDH) dentre as regiões estudadas. A região em questão é de beira-mar com elevado custo de vida, bastante urbanizada, contando com pavimentação e rede de água e esgoto. Dessa forma, a melhor condição econômica dos moradores da região favoreceu o consumo de bens industrializados, o que explica os maiores índices de matérias recicláveis (papel, papelão e vidro) e os menores índices de matéria orgânica. Em relação ao percentual de trapos BRAGA et al. (2000) apud CUNHA (2005) comentam que normalmente estes artigos constituem roupas usadas, toalhas, lençóis, etc. são doados por classes de maior poder aquisitivo para as classes mais carentes. Esse fato ajuda a compreender os baixos índices de trapos da RA-01.

A RA-02, região do centro da cidade, (Figura 26) apresentou índices medianos de papelão, vidro e papel, sendo de 6,2%, 1,6% e 3,3%, respectivamente. A fração de latas também foi relativamente elevada, sendo 1,9%, isso quando comparado com outras regiões estudadas como a RA-06 que teve apenas 1,0%.

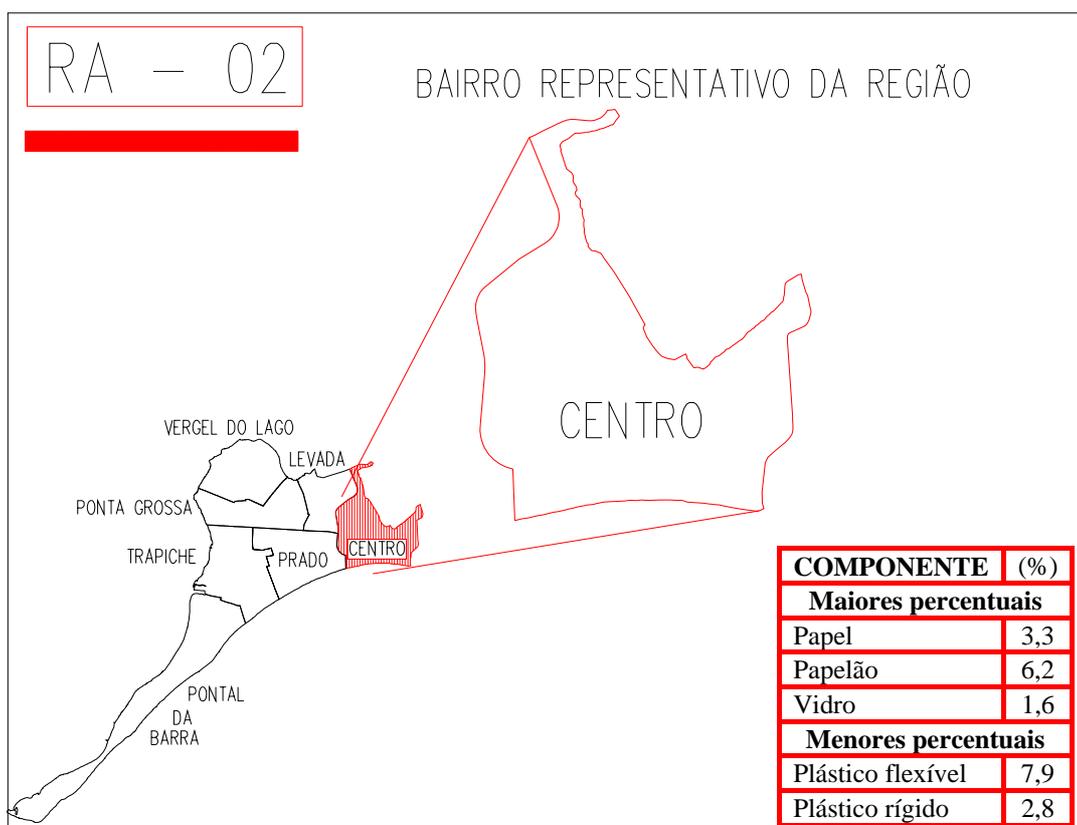


FIGURA 26. RA-02, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

Os menores índices observados nos resíduos da região foram os de plásticos rígido/flexível sendo de 2,8% e 7,9%, concomitantemente. Sendo a RA-02 uma região que comporta o centro de comércio da cidade de Maceió, esperava-se que a região tivesse os maiores índices de materiais recicláveis dentre as regiões estudadas. Entretanto, observou-se que esse comportamento não foi evidenciado na pesquisa. Isso ocorreu, provavelmente, devido à ação de catadores das cooperativas de bairros próximos ao centro da cidade, o que minorou os índices de materiais recicláveis. Outros bairros dessa região também se destacam pelo alto índice de pobreza como é o caso do Vergel do Lago e Trapiche, principalmente em setores próximos à lagoa Mundaú.

Conforme dados apresentados na Tabela 24, dentre as regiões estudadas, a que apresentou os menores percentuais de trapos e borracha foi a RA-03 com apenas 1,3% e 0,0%, respectivamente. O bairro que representou essa região foi o Farol (Figura 27), sendo considerado um bairro com nível social de médio a alto.

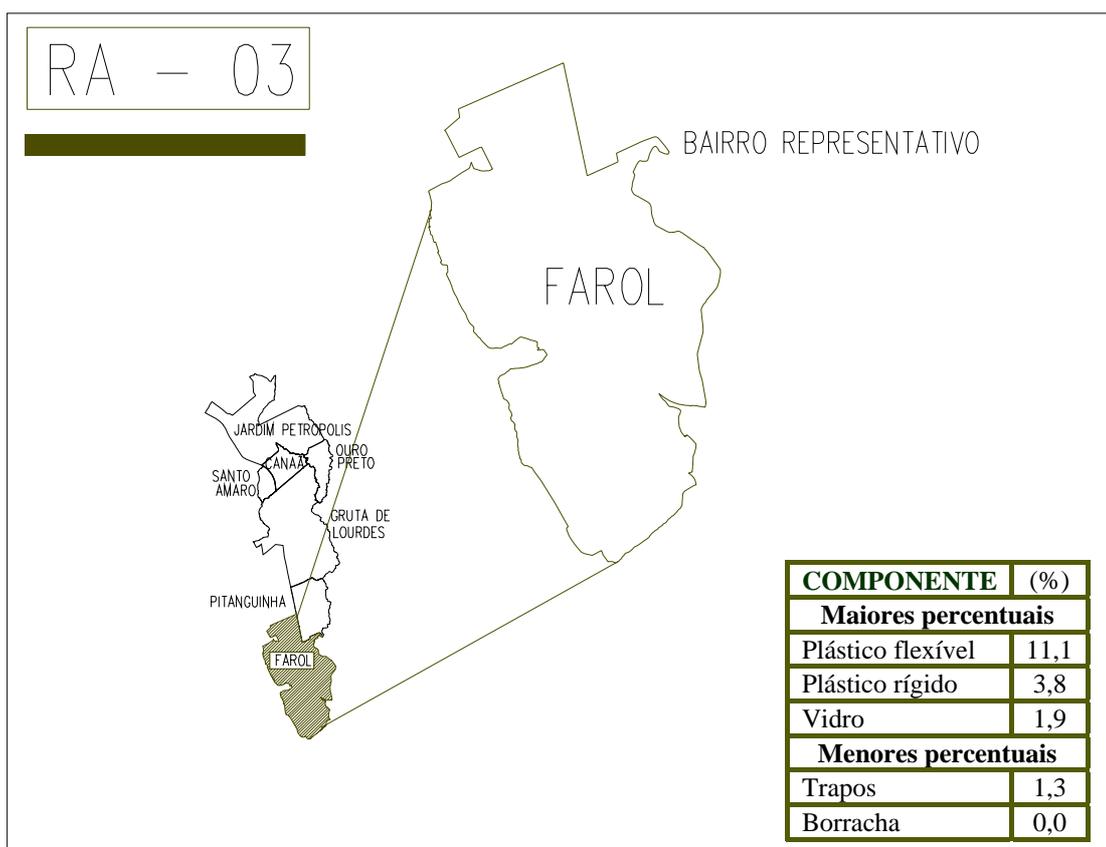


FIGURA 27. RA-03, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

Os maiores percentuais de material potencialmente reciclável encontrados foram os de plástico flexível, plástico rígido e vidro, sendo de 11,1%, 3,8%, e 1,9%, respectivamente. Dentre os maiores percentuais da região, destaca-se o de vidro com o maior índice entre as regiões estudadas. Os índices elevados de materiais recicláveis (vidro e plásticos) encontrados nos resíduos dessa região podem ser explicados pelo consumo maior de bens industrializados, consequência do nível econômico da região.

A RA-04, representada pelo bairro da Chã da Jaqueira como mostra a Figura 28, foi uma das regiões mais pobres dentre as regiões estudadas. A região apresentou o maior percentual de trapos e matéria orgânica entre as regiões estudadas, sendo de 4,1% e 60,0%. Os menores percentuais encontrados na região foram os de couro (0,4%) e vidro (0,3%), sendo esse último o menor percentual entre as regiões estudadas.

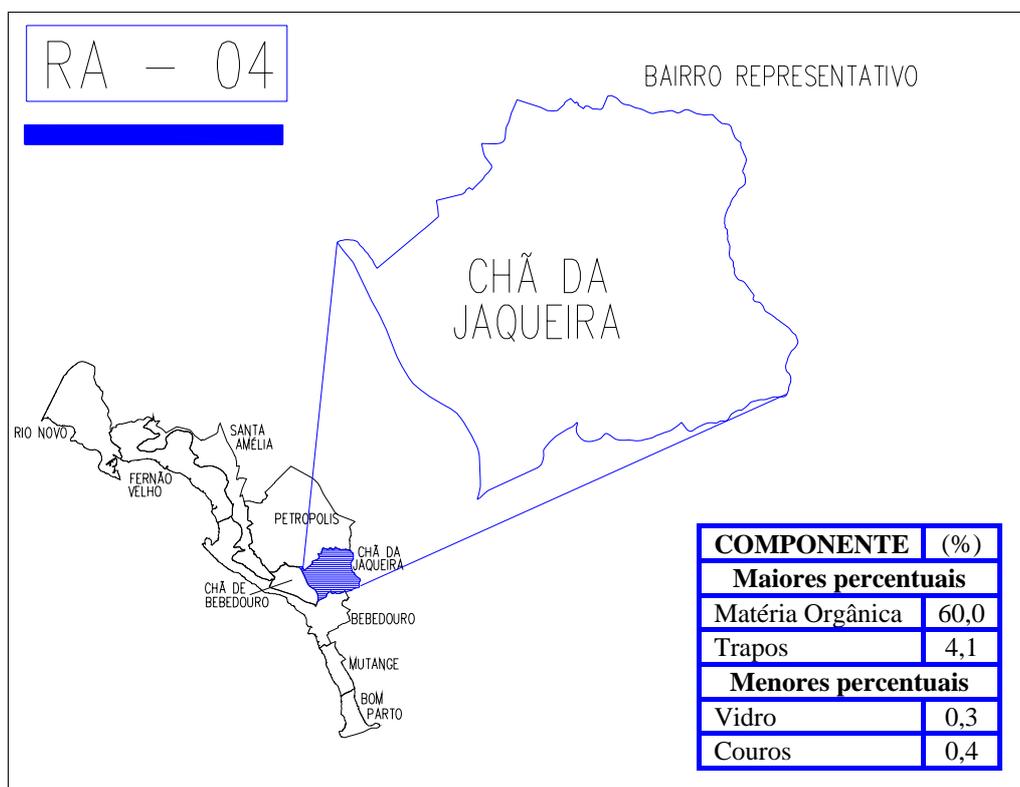


FIGURA 28. RA-04, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

Analisando os percentuais dos componentes dos resíduos dessa região e relacionando-os às condições sociais da mesma, pode-se concluir que a falta de estrutura educacional (baixo nível de escolaridade) e de saneamento básico da região, além do baixo poder aquisitivo se refletem diretamente nas características dos resíduos gerados. Outro

fator observado nos resíduos dessa região foi a presença de fezes humanas, o que comprova a ausência de condições satisfatórias de saneamento básico do bairro analisado. Observaram-se também nos ensaios de campo que alguns bairros similares à Chã da Jaqueira, tais como Vergel do Lago e Trapiche, apesar de estarem situados na RA-02 apresentaram resíduos com as mesmas características do bairro da Chã da Jaqueira, visto que são bairros que apresentam a mesma condição social.

Outra região de características similares a RA-04 é a RA-05 representada pelo bairro do Jacintinho (Figura 29). Esse bairro é marcado pela pobreza, entretanto destaca-se também pelo comércio local com feiras e serviços. Os componentes presentes nos resíduos dessa região que merecem destaque são: matéria orgânica (55,9%), plásticos rígido e flexível (4,2% e 12,2% respectivamente), trapos (3,9%), couros (1,8%) e madeira (1,1%). Como menor percentual da região destaca-se o percentual de papelão com 3,0%. A região RA-05 apresentou um resíduo de maior diversidade entre as regiões estudadas, isso se explica pelas diversas atividades do comércio local da região.

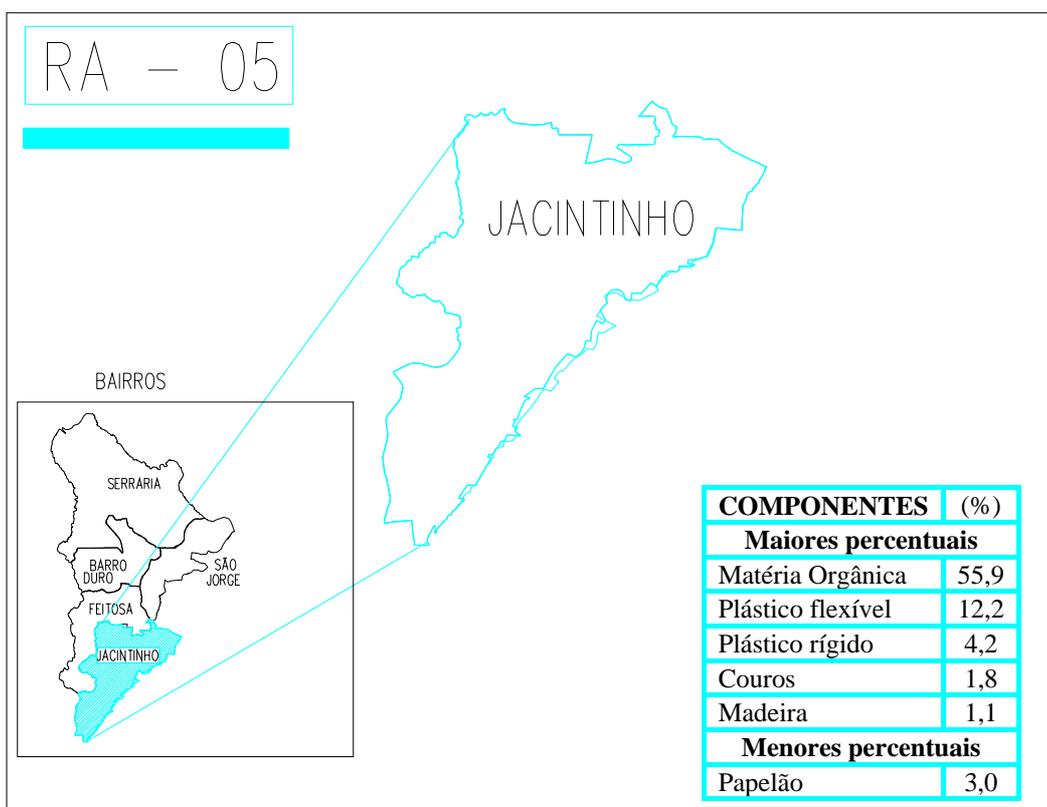


FIGURA 29. RA-05, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

A RA-06 é uma região que se encontra basicamente na posição central de Maceió. Essa região tem um nível social baixo, e apresenta características de comércio similar à RA-05. Os principais resíduos encontrados foram: matéria orgânica (59,3%) e trapos (3,3%); os resíduos de menor índice foram: plástico rígido (2,7%), papel (1,8%) e latas (1,0%), sendo esses dois últimos os menores índices entre as regiões analisadas. De forma análoga à RA-05, as características dos resíduos da RA-06 são consequência do baixo nível social da região, o que refletiu no menor consumo de bens industrializados.

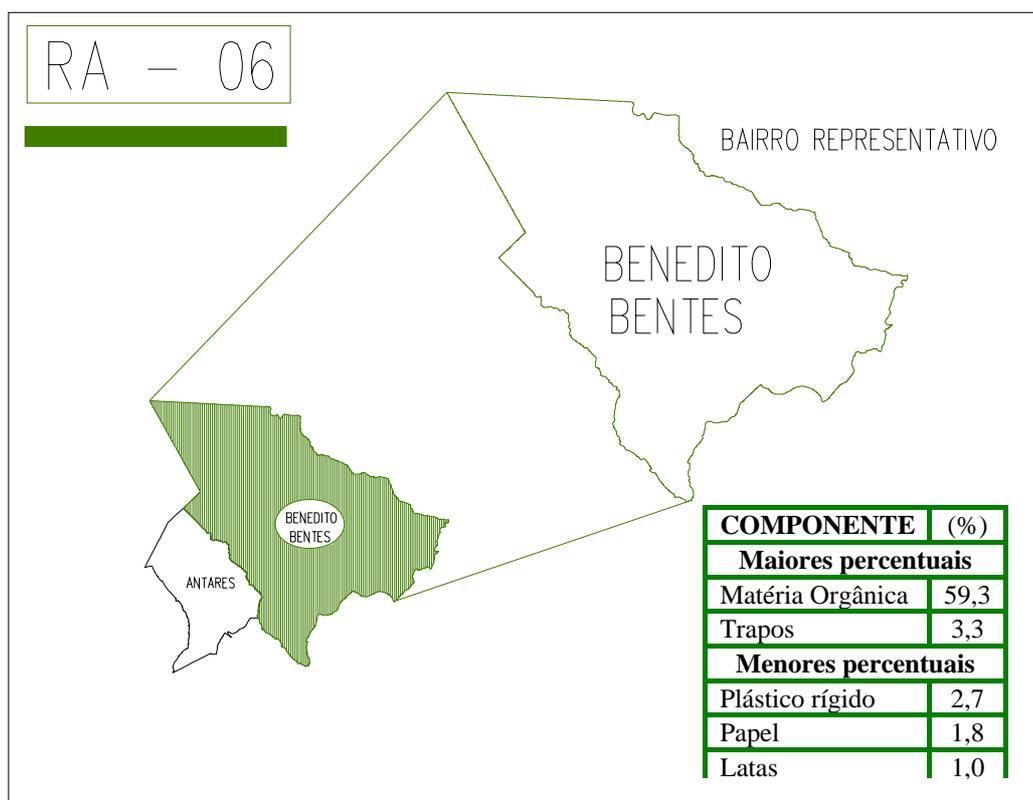


FIGURA 30. RA-06, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

Pela Figura 31, verifica-se que a região administrativa com o maior percentual de terra e similares foi a RA-07, região representada pelo bairro do tabuleiro, com valor de 15,6%. Esse percentual pode ser explicado pelo fato dessa região ser a mais afastada do centro da cidade, pouco pavimentada e com maior área de vegetação entre as regiões estudadas. O menor percentual dessa região foi o percentual de borracha com apenas 0,1%.

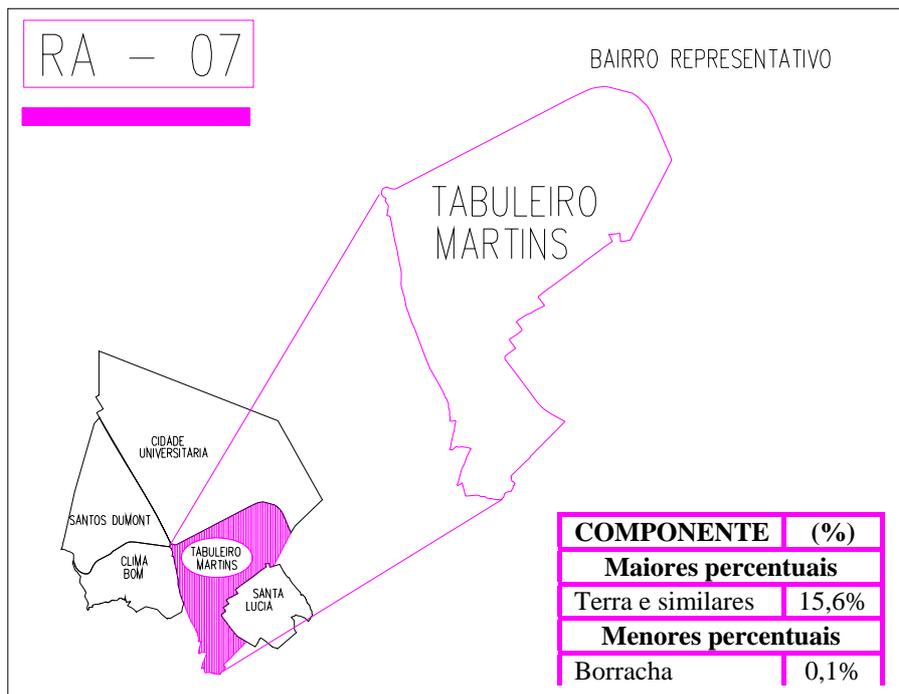


FIGURA 31. RA-07, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

A RA-08, representada pelo bairro da Ipioca (Figura 32), é uma região litorânea pouco desenvolvida e com nível social baixo, mas com quantidades consideráveis de barres e com o desenvolvimento considerável do setor imobiliário, principalmente no bairro de Jacarecica.

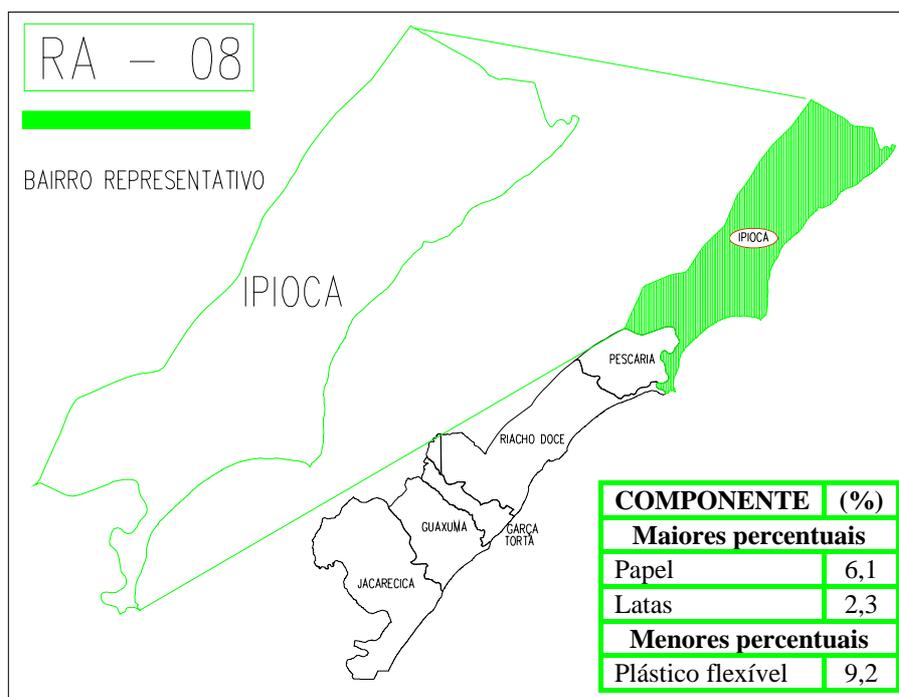


FIGURA 32. RA-08, bairro representativo e principais componentes dos RSU.

Os elementos com maiores percentuais encontrados nos resíduos dessa região foram: papel e latas sendo de 6,1% e 2,3%, respectivamente. O menor percentual da região foi o de plástico flexível com 9,2%. O percentual de latas encontrado nas amostras pode ser explicado pela presença de bares da região, já o baixo percentual de plástico reflete o baixo nível social da localidade.

6.3. Variação da composição gravimétrica média dos RSU

A composição gravimétrica média dos resíduos sólidos urbanos de Maceió está ilustrada na Figura 33. Observando-se esta Figura verifica-se que, em média, 56,6% dos RSU de Maceió é matéria orgânica (material degradável).

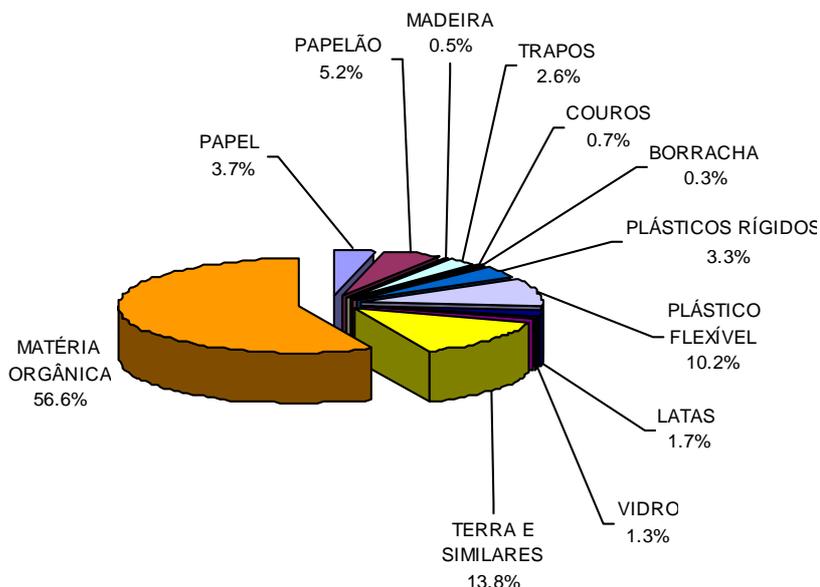


FIGURA 33. Composição gravimétrica média dos RSU de Maceió.

Em relação aos países desenvolvidos, o valor médio encontrado para Maceió pode ser considerado alto, na cidade de New York, por exemplo, a média para matéria orgânica é de apenas 20% (MANASSERO, 1997 e IBAM, 2001). Muitas pesquisas já mostraram que os índices de matéria orgânica são realmente maiores em países em desenvolvimento. A explicação para o alto índice estaria no baixo poder aquisitivo, o que acarreta em menor consumo de bens industrializados, além do deficiente gerenciamento do setor de produção de alimentos, tendo como consequência altos índices de desperdício.

Esse valor está bem próximo da média nacional que é de 60%, estando apenas 4,4% abaixo, como pode ser observado na Figura 34, a qual apresenta a composição gravimétrica média de Maceió e do Brasil.

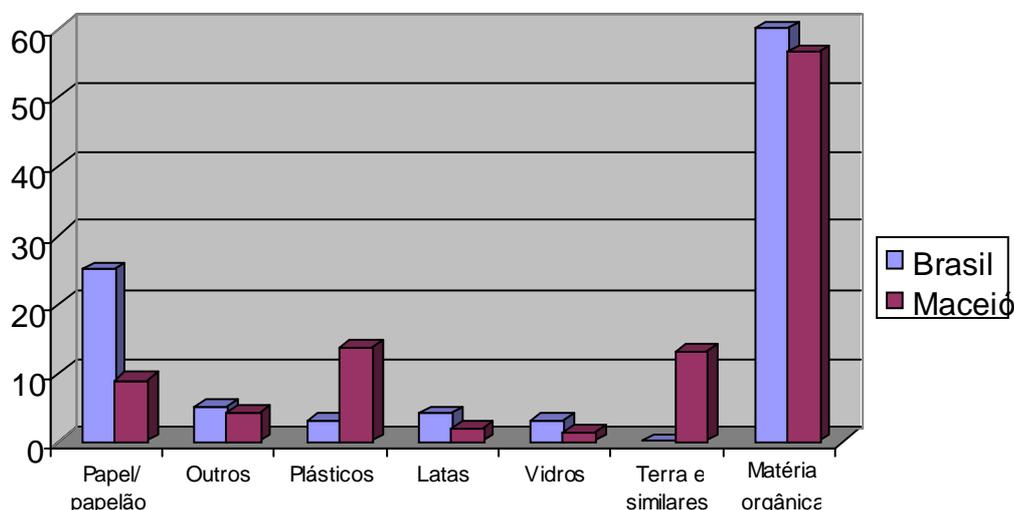


FIGURA 34. Composição gravimétrica média dos RSU de Maceió e do Brasil.

No caso de Maceió, o elevado índice de matéria orgânica deve-se principalmente à produção e comércio de produtos orgânicos, dentre os quais se destacam o coco e a cana-de-açúcar, além do comércio de frutas, verduras e legumes. Além de galhos e folhagens próprias do litoral, tendo como predominância as folhas de coqueiro. Isso explica a presença dos principais elementos encontrados nos ensaios, sendo estes: cascas de frutas e verduras, bagaços de cana-de-açúcar e cascas de coco, restos de alimentos e folhas de coqueiro e podas de árvores.

O somatório dos materiais potencialmente recicláveis (plástico, vidro, metal e papéis) representou 25,4% do total, tendo maior destaque os percentuais de plásticos rígido/flexível 13,5% e papel/papelão 8,9%. Pela Figura 34 pode-se verificar que o percentual de plásticos foi 10,5% acima da média brasileira, que é de 3%. Isso reflete o aumento constante do uso desse material pela população, principalmente em embalagens e sacos plásticos, utilizados inclusive no acondicionamento do lixo. Deve-se salientar que os plásticos não são materiais degradáveis e o elevado índice desse material remete a necessidade de ações de reciclagem ou a substituição desse material por embalagens degradáveis.

O percentual de papel/papelão (material degradável) foi 16,1% menor do que a média brasileira (25%). Essa diferença explica-se pela crescente substituição do papel pelo plástico, na população maceioense. A maior parte do papel encontrado na pesquisa foi oriunda de atividades escolares, sendo visto no resíduo do centro da cidade papéis de escritório (ofício, folhas de papel padrão A4).

O percentual de vidro (1,3%) e latas (1,8%) também foi bem menor que a média brasileira (3% e 4% respectivamente). Os baixos índices desses materiais registrados em Maceió devem-se basicamente à ação dos catadores, principalmente para o caso das latas. Grande parte das latas e vidros encontrados na pesquisa era de recipientes utilizados em latas de conserva e vidros de garrafas quebradas, as latas de cerveja raramente foram observadas na pesquisa.

Outro percentual que merece destaque é o de terras e similares, sendo 13,8% do total. Esses materiais eram basicamente solos (argilas e areias). Restos de construção também foram detectados, mas em menores quantidades. Os outros componentes (trapos, couros, borracha e madeira) somaram apenas 4,1%, bem próximo do nacional, de 5%.

Fazendo uso ainda da composição gravimétrica média obtida nessa pesquisa, foi possível analisar o comportamento evolutivo dos principais elementos que compõem os RSU através da comparação com os resultados obtidos em outras pesquisas para Maceió, publicados nos últimos anos por PINHEIRO (1993), GALVÃO (1997), JUCÁ (2002b) e CUNHA (2005), cujos dados estão apresentados na Tabela 25.

TABELA 25. Dados comparativos de pesquisas anteriores e da pesquisa atual.

Componentes	PINHEIRO Mar/93 a Ago/93	GALVÃO Out/96 a Fev/97	JUCÁ Fev/02b	CUNHA Jan/05 a Fev/05	MÉDIA Mar/06 a Fev/07
Papel/Papelão	17,28	11,20	16,00	10,50	8,9
Madeira	0,89	0,60	Inertes 10,00	2,30	0,5
Trapos	2,13	2,80		3,20	2,6
Couros/borracha	0,53	0,50		0,00	1,0
Plástico duro	2,48	2,20	13,00	5,10	3,3
Plástico mole	4,52	6,80		16,30	10,2
Latas/Metais	2,36	2,20	3,00	2,70	1,7
Vidro	1,16	1,50	2,00	3,10	1,3
Terra / Similares	15,14	18,80	-	5,10	13,8
Matéria orgânica	48,08	52,60	50,00	51,00	56,6
Outros	1,13	0,80	6,00	0,70	0,0
Total	100	100	100	100	100

Verifica-se na Tabela 25 que o percentual de matéria orgânica e o de plásticos têm crescido consideravelmente. Observa-se também a diminuição dos demais elementos, principalmente de papel/papelão e latas. Já o percentual de trapos e vidro permaneceu praticamente constante. Quanto ao crescimento do percentual de matéria orgânica, parece ser consequência do crescimento populacional, aumento do desemprego e como efeito, o aumento da pobreza da cidade de Maceió.

Isso parece confirmar a teoria exposta por DONHA (2002), de que quanto mais pobre a população, maior a predominância da quantidade de matéria orgânica presente no lixo (restos de comida, por exemplo). O que também é explicado por LIMPURB (2003) que esclarece que devido às condições sócio-econômicas em épocas de menor poder aquisitivo e desemprego, a população opta por consumir alimentos in natura, o que produz restos alimentares. Cabe, entretanto observar que a diminuição do poder aquisitivo leva ao aumento da população de catadores que retiram ainda nas ruas os materiais potencialmente recicláveis (papel, papelão e latas) do lixo, levando a diminuição dos percentuais desses materiais que chegam ao lixão de Maceió, contribuindo para o aumento do percentual de matéria orgânica.

6.4. Avaliação dos componentes potencialmente recicláveis dos RSU de Maceió

Como apresentado anteriormente, o somatório dos percentuais de material potencialmente reciclável (papel, papelão, plásticos, vidro e metais) foi de 25,4%. Já o percentual de material apto a compostagem (matéria orgânica) foi de 56,6%.

Para se analisar de forma mais detalhada os percentuais dos materiais com potencial de reciclagem e compostagem encontrados nos RSU da cidade de Maceió, será feita a avaliação de forma separada para cada componente presente nos resíduos, de forma a compreender melhor o comportamento de cada um deles. A posteriori será feita a análise dos materiais com potencial de reciclagem e compostagem em relação às regiões administrativas.

➤ Componente – papel

Pela Figura 34 verifica-se que o componente papel teve média geral de 3,7% em relação ao total de componentes presentes nos resíduos. A ação dos catadores sem dúvidas minorou a quantidade de papel medido na pesquisa, já que o papel é um material de

interesse dos catadores pelo fato de ser reciclável, podendo ser comercializado. Dessa forma, o potencial de reciclagem de papel que efetivamente chega ao lixão de Maceió pode ser considerado baixo, visto que este apresenta baixos índices. Além disso, outro elemento que dificulta a reciclagem do papel é a dificuldade de segregação que o material apresenta quando chega ao lixão de Maceió. Pois uma vez que o material é misturado ao lixo comum este passa a absorver impurezas e umidade dificultando o processo de reciclagem.

Uma alternativa para facilitar o processo de reciclagem do papel seria propor medidas de reciclagem junto aos pólos gerados. Como exemplo a implantação de PEV's em escolas públicas e privadas, o que poderia ser associado a uma política de educação ambiental com implantação também de oficinas de reciclagem. A implantação de um programa de coleta seletiva representaria, sem dúvidas, um grande avanço em relação à reciclagem desse material.

Outro fator que deve ser observado em relação à diminuição do uso de papel é a mudanças de hábito impostas pelo uso de novas tecnologias associadas principalmente ao setor de informática pelo uso do chamado meio digital (internet). Um exemplo claro do impacto do meio digital associado à diminuição do uso de papel é a substituição de correspondências pelo uso de e-mails. Entretanto, levando-se em consideração as características socioeconômicas da sociedade maceioense, ou seja, o baixo grau de escolaridade e a grande exclusão digital; torna-se inviável afirmar com absoluta certeza que o baixo índice de papel seja consequência do aumento do uso do meio digital.

➤ **Componente – papelão**

De forma análoga ao papel, o percentual de papelão pode ser considerado pequeno, sendo de 5,2% (Figura 34) do total. Dessa forma, devido ao baixo índice e às semelhanças de características, o papelão apresenta as mesmas dificuldades de reciclagem do papel.

➤ **Componente - plástico rígido**

Pela Figura 34 verifica-se que o componente plástico rígido teve média geral de 3.3% em relação ao total de componentes presentes nos resíduos. Esse percentual médio é também influenciado pela ação dos catadores, visto que se trata de um material reciclável e de fácil comercialização. Outro fator que poderia explicar os baixos valores desse material seria o fato de grande parte da população não ter o hábito de consumir produtos industrializados, em que se usam plásticos rígidos. O que seria um reflexo da condição de baixa renda da maioria da população maceioense. Entretanto, cabe salientar que o baixo

valor encontrado para o plástico rígido não implica em pequenos volumes, visto que esses materiais têm pequeno peso específico, portanto, mesmo pequenas quantidades representavam grandes volumes nas amostras estudadas.

➤ **Componente - plástico flexível**

O componente plástico flexível foi um dos elementos contidos no lixo que apresentou maiores valores, tendo uma média geral de 10,2%. Foi observado nos ensaios que o índice elevado de plástico deve-se principalmente ao acondicionamento dos resíduos e as atividades relacionadas ao comércio. A grande dificuldade em se reciclar esse material diz respeito à segregação, visto que usualmente esse material chega ao lixão de Maceió misturado ao lixo comum. Assim, a contaminação do material com a matéria orgânica, areia ou óleo e a mistura de polímeros que não são quimicamente compatíveis prejudicam o processo de reciclagem. Entretanto, devido aos altos índices desse material, investimentos na reciclagem de plásticos tendem a se mostrar bastante promissores.

➤ **Componentes – vidro/metals**

O valor médio encontrado para os componentes vidro e lata foi abaixo de 2,0%, sendo de 1,3%, 1,7% o índice médio de cada componente, respectivamente (Figura 33). É provável que o baixo valor desses componentes seja consequência do recolhimento desse material pelos catadores. É importante observar que durante a pesquisa pode-se constatar a ação incansável dos catadores em relação à coleta de latas, não era incomum durante os experimentos de campo espera dos catadores pelo fim das análises para que as amostras utilizadas fossem aproveitadas como mostram as Figuras 35 e 36.



FIGURA 35. Latas separadas e coletadas pelos catadores.



FIGURA 36. Uso de barra de metal como guincho para coleta de latas pelos catadores.

➤ **Componente – terras e similares**

Pela Figura 34, verifica-se que a média geral referente a terras e similares foi de 13,8% em relação ao total de componentes presentes nos resíduos. Esse percentual elevado deve-se à falta de urbanização e pavimentação das regiões estudadas, o que acarretam na coleta de folhagens e resíduos com elevados teores de solo. A presença de outros fragmentos de resíduos incorporados aos solos tais como: matéria orgânica, vidros, e restos de construção, também foram elementos que acarretaram no elevado índice medido.

Do ponto de vista de reaproveitamento desse material, dentre as alternativas poderia se destacar o reuso de solos e entulhos presentes dos resíduos sólidos urbanos na indústria da construção civil, em aterros, e a mistura desse solo a composto orgânica para uso agrícola.

➤ **Componente – matéria orgânica**

A componente matéria orgânica pode ser considerada como uma das mais importantes dentre os elementos estudados na composição dos resíduos sólidos e sua importância diz respeito a elevada fração da mesma. Como citado anteriormente, a fração média de matéria orgânica presente nos RSU foi de 56,6%, sendo o maior percentual entre os componentes presentes. A grande parcela de matéria orgânica advém basicamente de restos de alimentos consumidos pela população (cascas de frutas, verduras e folhas de árvores). A elevada fração de matéria orgânica é um indicativo do consumo de produtos não industrializados, o que provavelmente é decorrente do baixo poder aquisitivo da população nas regiões de classe mais baixas estudadas. Sob o ponto de vista de compostagem, esse grande percentual apresenta potencial considerável para este fim.

Em relação às regiões administrativas, a Tabela 26 apresenta os percentuais dos materiais potencialmente recicláveis e compostáveis.

TABELA 26. Potencial de reciclagem e compostagem das regiões administrativas.

Regiões administrativas							
RA-01	RA-02	RA-03	RA-04	RA-05	RA-06	RA-07	RA-08
Potencial de reciclagem (%)							
28,4	22,6	25,4	21	23,3	22,3	23,8	29
Potencial de compostagem (%)							
54,4	60,3	58,9	61,7	59,5	61,0	57,0	55,0

Como pode verificar na Tabela 26, as regiões com maior potencial de reciclagem foram as RA-01 e RA-08 com valores de materiais recicláveis respectivamente, de 28,4% e 29%, em relação ao total. Já a região de menor potencial de reciclagem foi a RA-04 (região de baixo nível social) com 21% de materiais recicláveis. Nas Figuras 37 e 38 estão expostas as regiões administrativas e os respectivos potenciais de reciclagem e compostagem de cada uma delas.

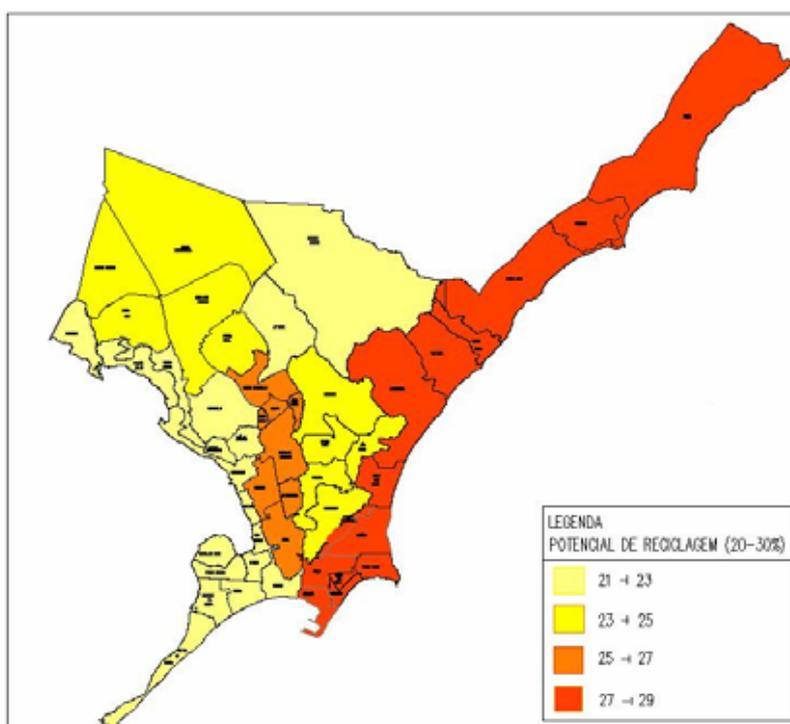


FIGURA 37. Potencial de reciclagem das regiões administrativas.

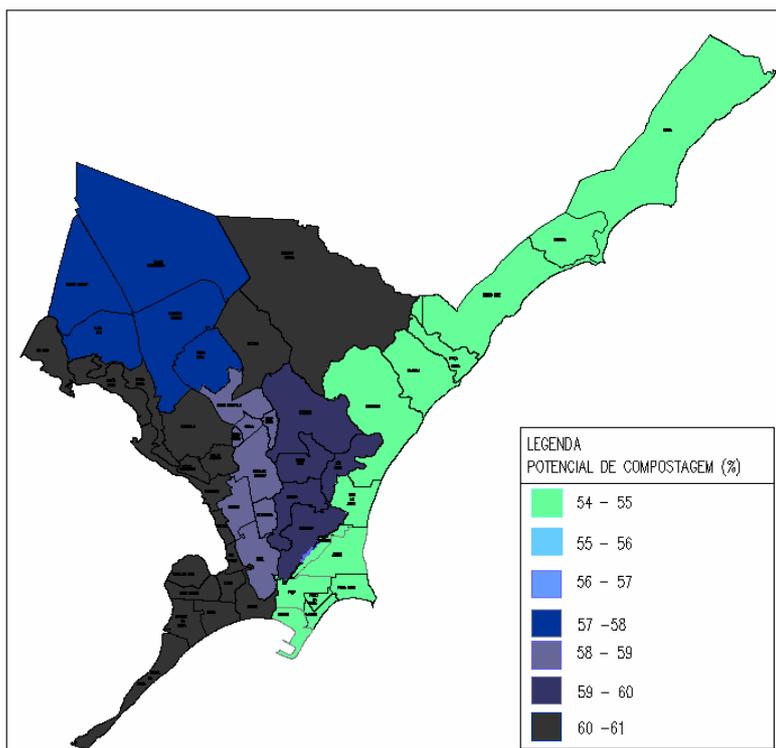


FIGURA 38. Potencial de compostagem das regiões administrativas.

6.5. Parâmetros físico-químicos dos RSU de Maceió

Os parâmetros físico-químicos obtidos da média das oito regiões administrativas em cada mês de análise, no período de março de 2006 a fevereiro de 2007, dos resíduos sólidos urbanos de Maceió estão apresentados na Tabela 27.

TABELA 27. Médias mensais dos parâmetros físico-químicos dos RSU de Maceió

Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Média
PESO ESPECÍFICO (KN/m³)												
2,06	2,93	2,66	2,83	3,30	3,55	2,08	2,34	2,47	2,23	2,50	2,70	2,64
TEOR DE UMIDADE (%)												
58,6	76,8	66,8	82,2	76,2	79,7	76,9	75,4	73,5	74,6	78,1	81,6	75,0
pH												
4,8	4,5	4,4	5,0	4,3	4,7	4,6	4,9	4,9	5,3	4,8	5,4	4,8
SÓLIDOS VOLÁTEIS (%)												
68,3	78,3	83,0	80,0	76,0	78,8	79,5	80,6	70,7	77,9	79,2	79,9	77,7
SÓLIDOS FIXOS (%)												
31,7	21,7	17,0	20,0	24,0	21,2	20,5	19,4	29,3	22,1	20,8	20,1	22,3

Pela Tabela 27 verifica-se que o valor médio para o peso específico dos RSU de Maceió foi de 2,64KN/m³. Esse valor está dentro da faixa de valores encontrados por BARROS & MÖLLER (1995), LIMA (1995), IBAM (2001) e (GALVÃO, 1997), que variaram de 2,6Kg/m³ a 4,6Kg/m³.

No que diz respeito a variação temporal, apresentada na Figura 39, verificou-se que o peso específico apresentou maiores valores nos meses de julho e agosto, período de maior atividade pluviométrica, e valor mínimo no mês de março, época de verão.

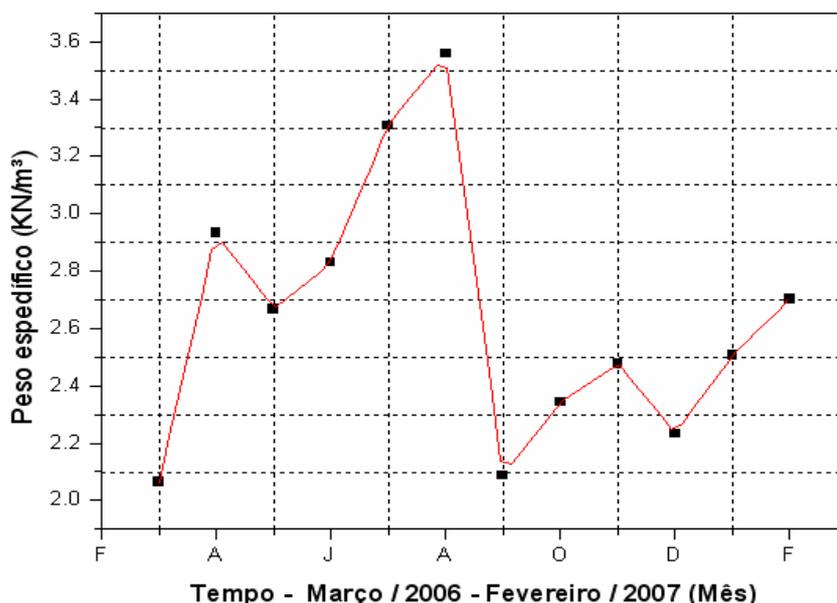


FIGURA 39. Variação do Peso específico ao longo do período de estudo.

Pela análise da Tabela 34, verifica-se que o valor médio encontrado para o teor de umidade foi de 75,0%, tendo valores máximo e mínimo de 82,2% no mês de junho e 58,6% no mês de março, como ilustrado na variação temporal da Figura 40.

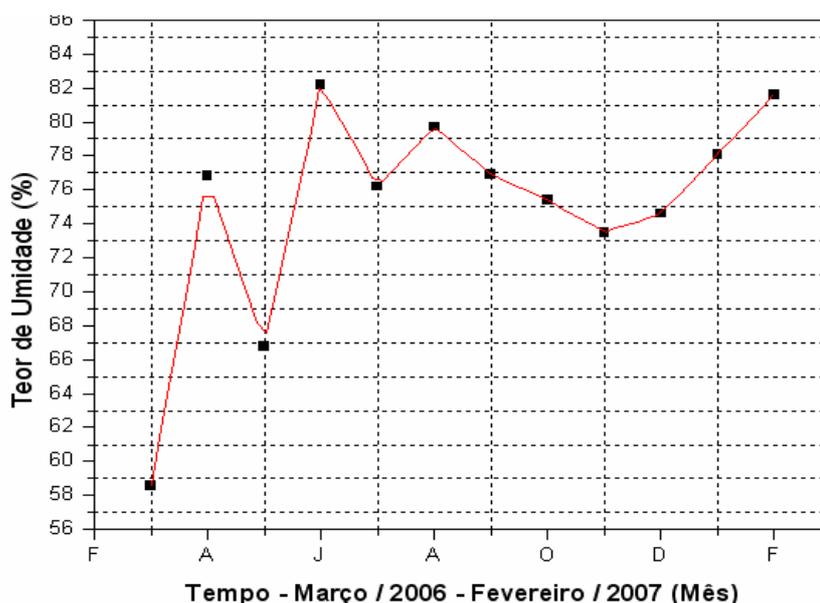


FIGURA 40. Variação do teor de Umidade ao longo do período de estudo.

Comparando o valor médio obtido do teor de umidade com valores obtidos por outros pesquisadores como COUMOULOS et al. (1995) que encontrou 80% e CARVALHO (1999) que encontrou 45 a 90%, pode-se afirmar que os dados estão dentro dos limites convencionalmente encontrados para RSU enterrados com até 5 metros de profundidade.

Além disso, com base nos valores máximos e mínimos, pode-se constatar que houve influência do regime pluviométrico sobre o teor de umidade, e no peso específico dos resíduos, refletindo diretamente na fração de matéria orgânica, já que os maiores valores parâmetros foram encontrados em períodos de maior atividade pluviométrica.

Com relação ao pH, o valor médio encontrado foi de 4,8 tendo valores máximo e mínimo de 5,4 no mês de fevereiro e 4,3 no mês de julho. Observa-se ainda que houve pouca variação do valor do pH ao longo da pesquisa encontrando-se valores muito próximos da média. O valor médio do pH medido para os RSU de Maceió pode ser considerado baixo em relação aos valores típicos apontados pelo IBAM (2001) que estão entre 5 e 7.

Contudo, em relação ao valor típico apresentado por GALVÃO (1994) que está entre 4,78 a 7,11.e TOCHOBINOGLIOUS et al. (1993) que está entre 4,5 a 7,5, a média encontrada está compatível. A Figura 41 mostra a variação do pH durante o período de estudo.

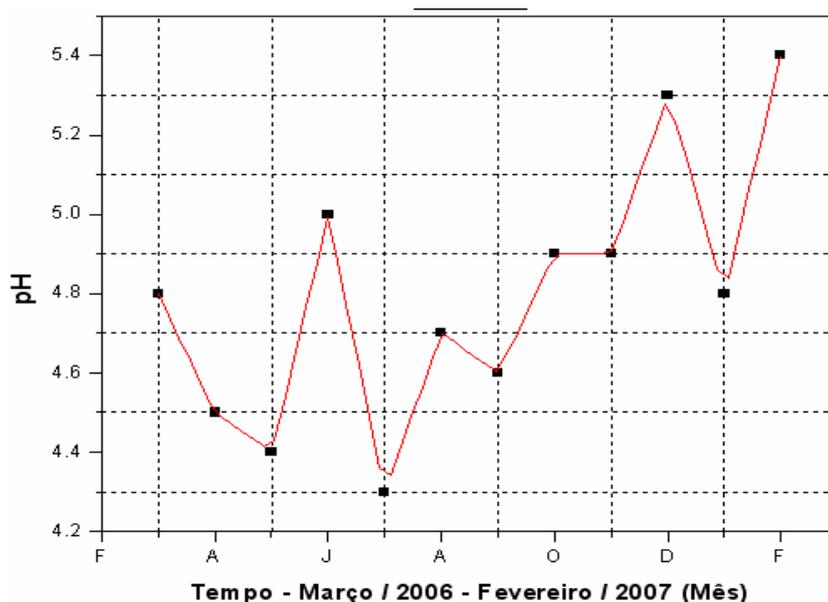


FIGURA 41. Variação do pH ao longo do período de estudo.

Com relação aos sólidos, verifica-se pela Tabela 34 a predominância dos voláteis com média de 77,7%, que representam a fração orgânica (56,6%), enquanto que os fixos representam 22,3%. Em relação à variação dos valores de sólidos, ao longo da pesquisa observa-se nas Figuras 42 e 43 que o valor máximo dos SV ocorreu no mês de maio, já os SF tiveram seu maior valor em março.

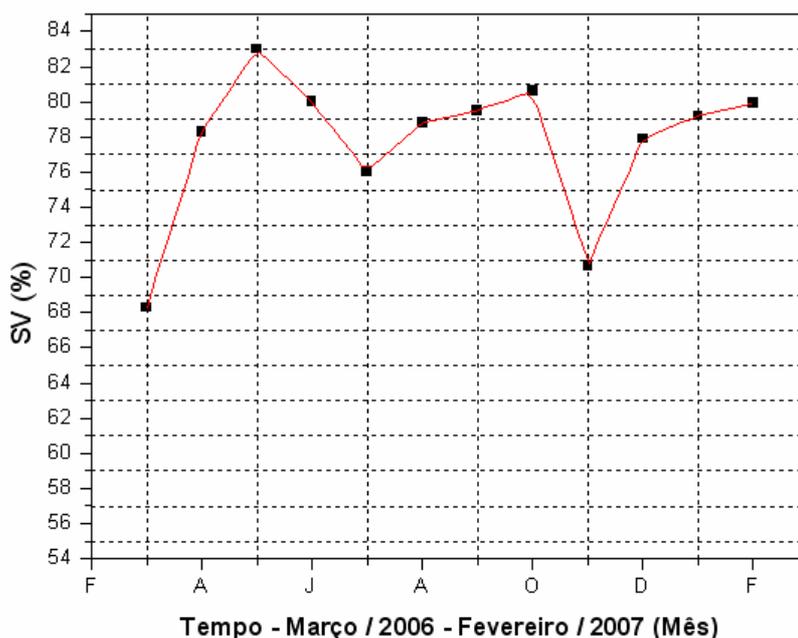


FIGURA 42. Variação de Sólidos voláteis (SV) ao longo do período de estudo.

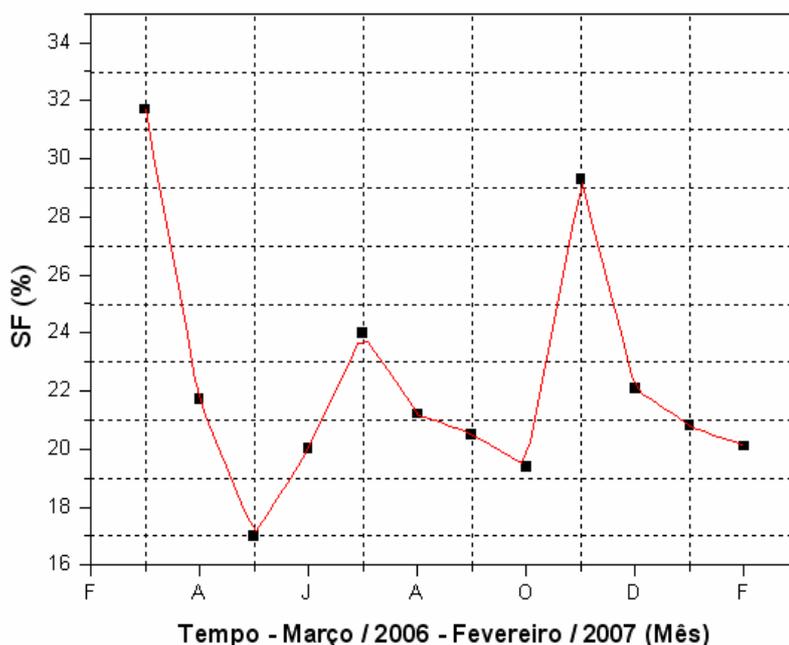


FIGURA 43. Variação de Sólidos Fixos (SF) ao longo do período de estudo.

Os parâmetros físico-químicos dos resíduos sólidos urbanos em cada uma das regiões administrativas da cidade de Maceió (em % da base úmida) estão apresentados na Tabela 28.

TABELA 28. Parâmetros físico-químicos dos RSU das regiões administrativas.

Parâmetro	Região Administrativa								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
Peso específico (kN/m³)	2,42	2,95	2,34	3,31	2,5	2,74	2,43	2,42	2,64
Umidade (%)	76,0	64,0	75,0	79,1	88,7	80,8	63,1	73,2	75,0
Sol.voláteis (%)	74,6	69,3	85,7	80,3	86,1	83,4	71,3	70,7	77,7
Sol.Fixos (%)	25,4	30,7	14,3	19,7	13,9	16,6	28,7	29,3	22,3
pH	5,0	4,7	4,5	5,0	4,5	4,7	5,0	5,1	4,8

Em relação ao peso específico, as regiões administrativas de maior e menor valor foram a RA-04 e a RA-03, onde ambas são regiões residenciais, sendo a primeira uma região de baixo nível social e a segunda uma região de nível social médio.

As regiões administrativas que apresentaram maiores valores de teor de umidade foram as RA-04, RA-05 e RA-06 com percentuais de 79,1%, 88,7%, e 80,8% respectivamente, sendo essas regiões residenciais e de menor nível social. As regiões que apresentaram os menores valores foram as RA-02 com 64,0% e a RA-07 com 63,1% , sendo a primeira uma região residencial e comercial e a segunda uma região predominantemente residencial, ambas com nível social médio como característica comum.

Em relação ao comportamento do pH nas regiões administrativas, observa-se na Tabela 35 que não houve grande variação dos valores obtidos, podendo-se afirmar que todas as regiões tiveram valores muito próximos à média.

As regiões administrativas que tiveram maiores valores de sólidos voláteis e fixos foram a RA-05 com 86,1% e a RA-02 com 30,7%, sendo a primeira região residencial e a segunda residencial e comercial, onde se encontra o centro da cidade (comércio local).

7. CONCLUSÕES

7.1. Em relação à composição gravimétrica média dos RSU de Maceió

- A composição gravimétrica do lixo da cidade de Maceió parece acompanhar os aspectos da variação sócio-econômica. Nesse contexto, destacou-se como principal componente presente nos resíduos sólidos urbanos da cidade a matéria orgânica, com 56,6% do total. O percentual desse material que chega ao lixão tem crescido ao longo dos anos, como consequência do aumento das atividades dos catadores de rua.
- Os resíduos potencialmente recicláveis representam 25,4% do lixo, com predominância de plásticos, principalmente os flexíveis (termoplásticos). A grande fração de plásticos pode ser considerada preocupante, pois apesar desse material ser reciclável, a contaminação dos plásticos com a matéria orgânica, areia ou óleo e a mistura de polímeros que não são quimicamente compatíveis prejudicam o processo de reciclagem. Na ausência de reciclagem, os plásticos podem representar um forte agente poluidor, já que estes demoram mais de 100 anos para se decompor.
- Os demais componentes representaram 18,0% do montante com predominância de terras e similares. Destaca-se também o aumento do índice de terras durante a estiagem, período onde grande parte das construções de pequeno porte ocorre.

7.2. Em relação à composição gravimétrica dos RSU das regiões administrativas

- As regiões mais favorecidas economicamente apresentaram maior potencial de reciclagem e menor potencial de compostagem. Já as regiões menos favorecidas economicamente apresentaram comportamento inverso.
- Os resíduos da região de comércio não apresentaram composição muito diferente das regiões residenciais, provavelmente em virtude da ação da coleta promovida pelos catadores de rua.
- As regiões mais afastadas do centro da cidade apresentaram maiores percentuais de terras e similares, em decorrência da menor pavimentação das regiões e da maior concentração de áreas de vegetação.
- As regiões administrativas com nível social menor apresentaram valores menores de pH, valor maior de teor de umidade e maiores valores de peso específico, certamente devido

a maior fração de matéria orgânica presente. As regiões administrativas de nível sociais maior apresentaram comportamento inverso ao das regiões menos favorecidas, ou seja, valores de umidade e peso específico menor e valores de pH maior.

7.3. Em relação à variação da composição média mensal dos RSU

- Verificou-se que a composição média mensal dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Maceió varia ao longo do ano e sofrem influências tanto das atividades pluviométricas quanto dos eventos festivos.
- Em relação à influência da pluviometria pode-se destacar a variação sofrida pelo percentual de matéria orgânica, devido ao aumento do peso específico e teor de umidade, que aumentou proporcionalmente em períodos de precipitação.
- Em relação aos demais materiais houve variações no percentual de plásticos, papel/papelão em virtude do período natalino e do dia das mães. O período de carnaval influenciou o percentual de latas e plásticos flexíveis. Também ocorreram variações no percentual de papel/papelão, em virtude das atividades escolares.

7.4. Em relação ao aspecto evolutivo da composição gravimétrica

- A grande mudança na composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de Maceió de 1993 até 2007 parece estar simplesmente na diminuição do potencial de reciclagem dos resíduos, com exceção do percentual de plástico, e no aumento do percentual de matéria orgânica produzida principalmente nas regiões mais pobres.

7.5. Em relação aos parâmetros físico-químicos

- Os parâmetros físico-químicos indicaram que os resíduos de Maceió são ácidos com valor de pH da ordem de 4 a 5, com teor de umidade elevado da ordem de 60 a 80%. Devido ao alto índice de matéria orgânica, os sólidos de maior presença nos resíduos foram os voláteis 77,7%. O peso específico médio dos resíduos de Maceió foi de 2,64KN/m³ ocorrendo acréscimo e decréscimo desse valor, proporcionalmente, em função do regime pluviométrico.

- É importante observar que o alto índice de matéria orgânica associado a um elevado valor de umidade é preocupante. Como o processo de decomposição dos resíduos sólidos de Maceió é basicamente anaeróbio, os índices representam grande potencial de formação de percolato (chorume) e grande potencial de formação de gases (principalmente CH₄ e H₂S). Na ausência de formas apropriadas de tratamento tanto o percolato quanto os gases advindos do lixo implicam em impactos ao meio ambiente e a sociedade maceioense.

7.6. Em relação à reciclagem e compostagem

- Os resíduos sólidos da cidade de Maceió apresentam maior potencial de compostagem com 56,6% do total, já os recicláveis representam 25,4% do total, tendo como principal componente o plástico flexível com 10,2% do total.
- Outro aspecto importante sentido nessa pesquisa foi a ação de uma considerável massa de excluídos denominados “catadores”, sendo eles os responsáveis pela mudança no perfil dos resíduos que verdadeiramente chegam ao lixão. A ação incansável desses indivíduos na luta pela sobrevivência tem acarretado na diminuição dos principais componentes potencialmente recicláveis presentes no lixo, principalmente aqueles de maior valor agregado.

8. RECOMENDAÇÕES

Com bases nos resultados encontrados e nas conclusões obtidas recomendam-se os seguintes estudos para analisar com maior amplitude as características dos resíduos sólidos da cidade de Maceió:

1. Realizar ensaios com os resíduos antigos da cidade utilizando para isso sondagens para obtenção de amostras das células do atual vazadouro, estudando o comportamento dos resíduos em diversas profundidades;
2. Realizar ensaios para a determinação do grau de compactidade e demais propriedades de compactação dos RSU da cidade de Maceió preferencialmente em uma célula experimental;
3. Propor com base nas características dos resíduos apresentadas nesta dissertação um plano de gerenciamento integrado para a cidade.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRE – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGENS. Disponível no site: <http://comitedesign.abre.org.br/meio_reci_brasil.php> Acessado em: 05 Out (2006).
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA (1999). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th edition. American Public Health Association, New York.
- ASME - AMERICAN SOCIETY of MECHANICAL ENGINEERS. Vinyl medical products and incineration: allegations and facts, United States, <http://c3.org/chlorine~issues/health>, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. (NBR 10.004): Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 1987. 63p.
- _____. NBR 8419: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento. São Paulo, 1992. 13p.
- _____. NBR 8849: Apresentação de projetos de aterros controlados de resíduos sólidos urbanos – procedimento. São Paulo, 1983. 13p.
- BARROS, R. T. V.; MÖLLER, L. M. *Saneamento e Meio Ambiente*. In: BARROS, R. T. V. et al. Manual de Saneamento e Proteção Ambiental para os Municípios. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da Universidade de Minas Gerais, 1995. p 42-45.
- BIDONE, A. R. F. *Resíduos Sólidos provenientes de coletas especiais: Eliminação e valorização*. Rio de Janeiro, RIMA, ABES, 2001.
- BIDONI, A. R. F.; POVINELLI, J. *Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos*. 1º Edição. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, 1999. 120p.
- BROLLO, M. J. – *Metodologia automatizada para seleção de áreas para disposição de resíduos sólidos. Aplicação na região Metropolitana de Campinas (SP)*. Tese (Doutorado). Departamento de Saúde Ambiental. Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.
- BUENO, C. e MOUSINHO, P. *A inserção da educação ambiental nos cursos de graduação*. V Encontro de Educação Ambiental do Estado do Rio de Janeiro, UERJ, 1994.

- CARTIER, G. & BALDIT, R. *Comportement Géotechnique des Déscharges de Residus Urbains. Bulletin de Liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées*, n.128, Paris-França, 1983, p. 55-64.
- CARVALHO, M. F. *Comportamento mecânico de resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, 1999. 299p. Tese (Doutoramento). Escola de Engenharia de São Carlos.
- CEMPRE INFORMA. São Paulo, n.36, 1997.
- CEMPRE INFORMA. Os números da reciclagem, n.65, 2002.
- CORRÊA, R. L. *Interações Espaciais In: Explorações Geográficas*. Iná Elias de Castro, Paulo César da costa Gomes, Roberto Lobato Corrêa (Organizadores). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1997.
- COSTA, J. A., RAMOS, V.A. O Espaço Urbano de Maceió – *Ambiente Físico e Organização Sócio-econômica*. In: Geografia: Espaço, tempo e Planejamento. Lindemberg Medeiros de Araújo (Organizador). Maceió: EDUFAL, 2004.
- COSTA, M. - *Análise quali-quantitativa do lixo deixado em uma área de praia de Tamandaré, antes e depois da colocação de recipientes para a coleta seletiva*. IV Seminário Nacional sobre Resíduos Sólidos e Gerenciamento Integrado. Anais em CD. Recife/PE. 2000.
- COUMOULOS, D. G.; KORYALOS, T. P.; METAXAS, I. L. & GIOKA, D. A. *Geotechnical Investigation at the Main Landfill of Athens*. Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagiliari, Italy, October 1995, p.885-895.
- COWLAND, J. W. & KOOR, N. P. *Stability Considerations for Steep Valley Landfills*. Proceedings Sardinia 95, Fifth International Landfill Symposium, S. Margherita di Paula, Cagilari, Italy, October 1995, p. 790 - 800.
- CUNHA, M. A. C. *Caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos de Maceió Visando à Implantação de Coleta Seletiva. Trabalho de conclusão de curso*. Graduação em Biologia. Universidade Federal de Alagoas. 2005.
- D'AGUILA, P. S. *Resíduos sólidos*. Recife-PE. FUNASA, plano de aula. 2003. 44p.
- DONHA, Mauro Siqueira. *Conhecimento e participação da comunidade no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: o caso de Marechal Cândido Rondon – PR*. 2002. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

- EPA (2007). ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Disponível no site: <<http://www.epa.gov/>> Acessado em: 02 jan (2006).
- FARIAS, A. B. & BRITO, A. R. - *Diagnóstico das composições gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos urbanos do aterro da Muribeca*. IV Seminário Nacional sobre Resíduos Sólidos e Gerenciamento Integrado. Anais em CD. Recife/PE. 2000.
- FONSECA, A. L. B. & AZEVEDO, L.M.P. *Climatologia In: BRASIL/MME/PROJETO RADAMBRASIL*. Aracaju/Recife. 1993.
- GARB, M. A. & VALERO, S. N. *Geotechnical Properties of Municipal Solid Waste*. Geotechnical Testing Journal, GTJDODJ, v.18, n 2, June 1995, p.241-251.
- GALVÃO, L. E. – *Caracterização dos resíduos sólidos urbanos de Maceió*. Maceió, 1997, 54p. Monografia (Especialização em Engenharia Sanitária). Universidade Federal de Alagoas- UFAL.
- GERSRAD - *Gerenciamento Integrado para Transferência e Destino Final dos Resíduos Sólidos Urbanos de Maceió. Relatório Final Completo*. Silvana Quintela Cavalcanti Calheiros (Coordenadora). Maceió, 2004.
- GIFFORD, G.P; LANDVA, A. O. & HOFFMAN, V. C. *Geotechnical Considerations When Planning Construction on a Landfill*. Geotechnics of Waste fills – Theory and Practice, ASTM STP 1070, Arvid Landva and G. David Knowles, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p. 41-55.
- GIROD, J. L. (1993). *Loi du 15 juillet 1975. Code pratique des déchets textes officiels commentaires jurisprudence*. Nouvelle edition. P.321.
- GOMES, L.P. *Estudo da caracterização física e da biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários*. São Carlos, 1989. 166p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- GRISOLIA, M. & NOPOLEONI. *Geotechnical Characterization of Municipal Solid Waste: choice of Design Parameters. Proc. Of the Second International Congress n Environmental Geotechnics*, Osaka, Japan, A.A. Balkema, 5-8 november 1996, v.2, p. 641-646.
- HAROUEL, J. L. *História do Urbanismo*. Tradução de Ivone Salgado. Campina: Papirus, Série Oficina de Arte e forma, 1990.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL – IBAM. *Manual de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos*. Rio de Janeiro: 2001. 197p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE (2000). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000. <http://www.ibge.gov.br>;
- IPT - Instituto de Pesquisa e Tecnologia; LIXO MUNICIPAL: *Manual de gerenciamento integrado* - 2ª edição, 2000.
- JARDIM, N. S. et al (Coord.). *Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado*. São Paulo: IPT: CEMPRE, 1995.
- JUCÁ, J. F. T.; CABRAL, J. J. P. S; MONTEIRO, V. E. D; SANTOS, S. M. & PERRIER Jr, G. S. *Geotechnics of a Municipal Solid waste Landfill in Recife, Brazil*. Recent Developments in Soil and Pavement Mechanics, Almeida (ed), Balkema, Rotterdam, 1997, p.429-436.
- JUCÁ, J. F. T. (2002a). *Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil: Situação Atual e Perspectivas*. 10º SILUBESA – Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Painel 2. Braga, Portugal – 19 a 16 de Setembro de 2002.
- JUCÁ, J. F. T. (2002b). *Relatório Final: Diagnóstico de resíduos sólidos do estado de Alagoas*. PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO / MMA.
- JUCÁ, J. F. T. (2003). *Destinação Final dos Resíduos Sólidos no Brasil*. Anais...In:5º Congresso Brasileiro de Geotécnica Ambiental e Ambiental. Porto Alegre, RS. 2003.
- KAVAZANJIAN, E.; MATASOVIC, N. *Seismic Analysis of Solid Waste Landfills. Geoenvironmental 2000*. Geotechnical Special Publication n 46, ASCE, vol. 2, Ed. Yalcin B. Acar and David E. Daniel, New Orleans. 1995, p. 1066-1080.
- KIEHL, E. J. *Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto*. Piracicaba: E. J. Kiehl, 1980. 171p.
- KONIG, D. & JESSBERGER, H.L. Waste Mechanics. In: ISSMFE *Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics*. 1997, p. 35-76.
- LANDVA, A. O. & CLARK, J.I. (1990). *Geotechnics of Waste Fill*. Geotechnics of Waste Fill – Theory and Practice, ASMT STP 1070, Arvid Landva, G. David Knowles, editors, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p.86-103.
- LIMA, L. M. Q.. - *Lixo: Tratamento e biorremediação*. 3ed, 1995.

LIMPURB (2003). CARACTERIZAÇÃO GRAVIMÉTRICA E FÍSICO – QUÍMICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO

LOGAREZZI, A. *Oficina de conceitos da cadeia de reciclagem de resíduos*. São Carlos:

UFSCar/ Departamento de Engenharia de Materiais, 2002, Notas de Aula.

LOPES, A. A. *Estudo da Gestão e do Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos no Município de São Carlos (SP)*. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.

MANASSERO, C. M. *Controlled Landfill Design*. ISSMFE Technical Committee TC5 on Environmental Geotechnics, TC5 Report. 1997, p.77–111.

MANASSERO, M.; VAN IMPE, W. F. & BOUAZZA, A. *Waste Disposal and Containment*. In: Proc. of the Second International Congress on Environmental Geotechnics, Preprint of special lectures, Osaka, Japan, A. A. Balkema. 1996, p.1425-1474.

MANCINI, P. J. P. *Uma Avaliação do Sistema de Coleta Informal de Resíduos Sólidos Recicláveis no Município de São Carlos São Paulo*, 1999. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos.

MARQUES, A. C. M. *Compactação e compressibilidade de resíduos sólidos urbanos*. São Paulo, 2001. Tese (Doutoramento). Escola de Engenharia de São Carlos.

MASSUKADO, L. M. *Sistema de Apoio a Decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares*. São Paulo, 2004. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos.

NEDER, L.T.C. *A reciclagem de resíduos de origem domiciliar*. São Paulo, 1995. *Dissertação (Mestrado)*. Universidade de São Paulo.

OLIVEIRA, S. *Gestão de resíduos sólidos urbanos (RSU) na microrregião serra de Botucatu/SP*. Revista Limpeza Pública da ABLP - São Paulo/SP – n. 47, 1998.

OLIVEIRA, N. S. *Análise do potencial de interação dos bairros da cidade de Maceió por geoprocessamento*. Alagoas, 2004. Monografia (Especialização em Análise Ambiental). Universidade Federal de Alagoas - UFAL.

OWEIS, I. S. *Stability of Landfill Geotechnical Practice for Waste Disposal*. Ed. David & Daniel, p. 244–268.

PEREIRA NETO, J. T. *Manual de compostagem: Processo de baixo custo*. Belo Horizonte: Editora UFU/SLU/UNICEF, 1996. 55p.

- PEREIRA NETO, J. T. *Aspecto tecnológico da produção e qualidade do composto orgânico a partir da compostagem do lixo urbano*. In: SEMINÁRIO – PRODUÇÃO DE CORRETIVOS ORGÂNICOS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: SUA IMPORTÂNCIA PARA A AGRICULTURA NACIONAL E AMBIENTE, 1, 1997, Matosinhos. [Anais...] Porto: Lipor, 1997. Paginação irregular.
- PERREIRA NETO, J. T. *Lixo Urbano no Brasil: Descaso, poluição irreversível e mortalidade infantil*. Revista Ação Ambiental, Viçosa, nº1, p.8-11, ago./set. 1998.
- PINHEIRO, Q. M. L. *Caracterização de Lixo (Relatório)*. COBEL Coordenadoria de Planejamento. Maceió, 1993.
- PHILIPPI JR, A. *Sistemas de resíduos sólidos. A coleta e o transporte no meio urbano*. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado). Departamento de Saúde Ambiental. Faculdade de Saúde Pública da USP.
- PNSB – Pesquisa Nacional do Saneamento Básico. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatístico – IBGE, 2000. <http://www.ibge.gov.br>.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE MACEIÓ. Disponível no site: <<http://www.maceio.al.gov.br/>> Acessado em: 05 Dez (2007).
- RENKOW, M.; RUBIN, A. R. *Does municipal solid waste composition make economic sense?* Journal of Environmental Management, v.53, 1998, p.339-348.
- RIBEIRO, J. N. *A Problemática dos Resíduos Sólidos Domiciliares da Cidade de Cajazeiras – Pb*, IV Seminário Nacional sobre Resíduos Sólidos e Gerenciamento Integrado. Anais em CD. Recife/PE. 2000.
- SEWELL, G. H. (1978). *Administração e controle da qualidade ambiental*. São Paulo. Universidade de São Paulo. 256p.
- SIEGEL, R. A.; ROBERTSON, R. J. & ANDERSON, D. G. *Slope Stability Investigation at a Landfill in Southern California. Geotechnics of Waste fills – Theory and Practice*, ASTM STP 1070, Arvid Landva and G. David Knowles, Eds., American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1990, p.259-284.
- SOWERS, G. F. *Settlement of Waste Disposal Fills*. In: Eighth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering's, v.2, parte 2, Moscow-URSS, 1973, p.270-210.

- SOUZA, J. L. de; ANJOS, F. A dos; MOURA FILHO, G.; MEIRA, P. R. – *Características pluviométricas representativas do tabuleiro costeiro de Alagoas*, período 1972-1996. Congresso Brasileiro de meteorologia. VII Congresso da FLISMET. Brasília/DF. 1998.
- TENÓRIO, R. S.; ALMEIDA, D.B. *Estudo de Enquadramento e Classificação de Bacias Hidrográficas de Alagoas*. SEMA/SUDENE/SEPLAN. Maceió, 1979.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Integrated Solid Waste Management Engineering Principles and Management Issues*. McGraw-Hill, Inc, 1993, 978p.
- WITHIAM, J.L.; TARVIN, P. A.; BUSHELL, T. D.; SNOW, R. E.; GERMAM, H. W. *Prediction and Performance of Municipal Landfill Slope*. Geoenvironmental 2000. Geotechnical Special Publication n 46, ASCE, vol. 2. Ed. Yalcin B. Arcar and David E. Daniel, New Orleans. 1995, p. 1005-1019.

ANEXO

BOLETIM DE CAMPO

COMPONENTES FISICOS DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Data da amostragem ____ / ____ / ____.

Horário ____ : ____.

Componente	PESOS (Kg)
Papel	
Papelão	
Madeira	
Trapos	
Couros	
Borracha	
Plástico Duro	
Plástico Mole	
Latas	
Metais Ferrosos	
Metais não Ferrosos	
Vidro	
Terra e similares	
Matéria orgânica (verduras, frutas, restos de alimentos folhagem e folhas)	
TOTAL	

OBSERVAÇÕES
Bairro:
Empresa Coletora:
Slum <input type="checkbox"/> Viva Ambiental <input type="checkbox"/> Limpel <input type="checkbox"/> Outra <input type="checkbox"/> ()
Clima: Tempo claro <input type="checkbox"/> Chuvoso <input type="checkbox"/> Nublado <input type="checkbox"/>
Distrito: