



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

VANESSA ALVES MANTOVANI

CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES DE SOROCABA VISANDO MELHORIAS DO SISTEMA DE
COLETA SELETIVA.

SOROCABA
2013

VANESSA ALVES MANTOVANI

CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE SOROCABA VISANDO MELHORIAS DO SISTEMA DE COLETA SELETIVA.

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini



Ficha Catalográfica

Mantovani, Vanessa Alves.
CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
DOMICILIARES DE SOROCABA VISANDO MELHORIAS DO SISTEMA
DE COLETA SELETIVA./ Vanessa Alves Mantovani, 2013
135 f.

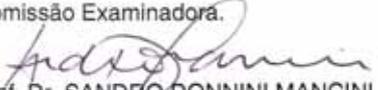
Orientador: Sandro Donnini Mancini

Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual
Paulista. Campus Experimental de Sorocaba, Sorocaba,
2013

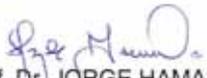
1. Caracterização de Resíduos Sólidos
Domiciliares. 2. Inventários de Ciclo de Vida. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia. II.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE VANESSA ALVES MANTOVANI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 13 dias do mês de agosto do ano de 2013, às 14:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DO CÂMPUS EXPERIMENTAL DA UNESP DE SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI do(a) Câmpus Experimental da UNESP / Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. WALDIR ANTONIO BIZZO do(a) Departamento de Engenharia Térmica e de Fluidos / Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP, Prof. Dr. JORGE HAMADA do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru - UNESP, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de VANESSA ALVES MANTOVANI, intitulada "CARACTERIZAÇÃO DETALHADA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS DOMICILIARES DE SOROCABA E REALIZAÇÃO DO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA DE UM SISTEMA DE COLETA SELETIVA VISANDO MELHORIAS". Após a exposição, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADA. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI


Prof. Dr. WALDIR ANTONIO BIZZO


Prof. Dr. JORGE HAMADA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, pela concessão da bolsa nos meses de execução do projeto e elaboração da dissertação.

Ao Professor Sandro, pela dedicação, orientação, ensinamentos, paciência e apoio desde a graduação até a execução do projeto.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, pelos ensinamentos e auxílio nas disciplinas e no projeto.

A todos que ajudaram na coleta de dados, Professor Lázaro, Thalita, Fernanda, Bruna, Nathália, Lucas e João.

Aos cooperados e à coordenação da Central de Reciclagem Zona Oeste que disponibilizou todo o suporte durante a coleta de dados.

Ao amigo e colega de trabalho Alex, pela paciência, pelos ensinamentos e pelo suporte durante a execução da pesquisa.

À minha irmã de sangue Fabi e do coração Camis pelo suporte e apoio durante a execução dos trabalhos e conselhos para seguir em frente nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais Leila e Nelson pelo afeto, carinho e o apoio na decisão de iniciar o mestrado e em todas as escolhas realizadas durante o caminho.

À toda minha família, meus avós, tios e primos, em especial minhas avós Laila e Geni pelo apoio, amor e carinho sempre.

Aos meus amigos da UNESP e de Tietê pelos momentos de descontração e desabafo: Tatu, Karen, Pri, Bia Tania, Katia, Léo, Ita, Piza, Jams, Guto, Jack, Guim, Xuxa, Thá, Aline, Biel, Bela, Dorinha, Pingo, Luisa, Lúcia, Piu...

Agradeço a República Baú que mesmo após a mudança e entrada de novos membros me recebeu de braços abertos.

Resumo

Estudos sobre geração e composição de resíduos sólidos, inclusive os realizados na forma de inventários de ciclo de vida, podem fornecer importantes informações visando a implantação e/ou ampliação de sistemas de coleta seletiva, bem como fornecer subsídios para tomadas de decisão no que diz respeito a identificação de melhorias nos sistemas de gestão de resíduos sólidos domiciliares. O objetivo geral deste trabalho é realizar uma caracterização detalhada da geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Sorocaba – SP e através da realização do Inventário de Ciclo de Vida simplificado do sistema de coleta de resíduos, identificar possíveis pontos de melhorias na coleta seletiva. Determinou-se que, em média, cada habitante de Sorocaba, SP, Brasil, descartou, diariamente, cerca de 612 g de resíduos sólidos em suas residências. A população que colabora com a coleta seletiva evita que 30% de seus resíduos sólidos domésticos sejam aterrados, porém isso representa apenas 2,6% do total gerado em todo o município. Ao todo são 11 toneladas e 302 m³ diários de resíduos recicláveis ou reaproveitáveis separados, sendo os papéis e os plásticos os itens de maior destaque. Cerca de 48% em massa de todo o resíduo sólido doméstico do município, 175 toneladas diárias, trata-se de *Restos de Comida* e o *Lixo de Jardim*. Obteve-se que 11,2% em massa dos resíduos domésticos de Sorocaba não possuem potencial de reaproveitamento ou reciclagem, 9,3% podem ser considerados potencialmente perigosos, 71,9% biodegradáveis e que 40% da massa de todos os resíduos corresponde à umidade. Observou-se que do total de resíduos que possuem mercado para comercialização apenas 8,3% são efetivamente comercializados pelas cooperativas, ou seja, o município de Sorocaba deixa de comercializar 115,5 toneladas/dia. Em relação aos resíduos que são coletados pela coleta seletiva, os materiais que não são comercializados ou possuem dificuldades de comercialização somam um total de 1,7 toneladas e caso a população fosse orientada a não encaminhar tais resíduos para o sistema de coleta seletiva, a produtividade aumentaria 14,6%.

Palavras chave: Caracterização de Resíduos Sólidos Domiciliares, Inventários de Ciclo de Vida.

Abstract

Studies about the generation and composition of solid wastes, including those carried out in the form of life cycle inventory, can provide information to underpin the implementation and/or expansion of selective waste collection systems, as well as provide support for making-decision regarding the identification of improvements in the management of solid waste. The overall goal of this dissertation is to present detail data on household solid waste generation in the city of Sorocaba - SP and by conducting the Life Cycle Inventory simplified of waste collection system, identify possible improvements in the selective collection. Each inhabitant of the municipality was found to discard, on average, about 612 g of household solid wastes per day. The population that participates in the selective collection program ensures that 30% of its household solid wastes do not end up in the landfill. However, this represents only 2.6% of the total household solid wastes generated in the municipality. The total daily volume of recyclable or reusable household wastes that are separated is 11 tons and 302 m³, with paper and plastics standing out as the most frequent items. About 48% in weight of the city's total household solid waste, corresponding to 175 tons/day, consists of *Food Leftovers* and *Garden Wastes*. It was found that 11.2% in weight of Sorocaba's household wastes do not have a reuse or recycling potential, 9.3% can be considered hazardous, 71.9% are biodegradable, and that 40% of the weight of all the wastes corresponds to moisture. It was observed that the total waste that have market for sale, only 8.3% are effectively marketed by cooperatives, the city of Sorocaba fails to sell 15.5 tons/day. For waste that are collected by selective collection, the materials that are not marketed or have difficulties marketing totalize of 1.7 tons and if the population were advised not to send that waste the productivity increase 14.6% in the selective collection system.

Keywords: Characterization of Solid Waste Household, Life Cycle Inventory.

Índice de Figuras

Figura 1: Etapas do Ciclo de Vida de um produto.....	26
Figura 2: Central de Reciclagem Zona Oeste de Sorocaba (Julho-2011).....	48
Figura 3: Caminhões utilizados pelas Cooperativas durante a coleta seletiva em Sorocaba (Julho-2011).....	48
Figura 4: Etapas realizadas pelas Cooperativas durante a coleta, triagem e comercialização dos resíduos (Julho, 2011).	49
Figura 5 - Distribuição espacial dos contêineres amostrados (6 por região) no município de Sorocaba.....	50
Figura 6: Recipientes de volume conhecido.....	55
Figura 7: Balança (5 kg).....	55
Figura 8: Balança (100 kg).....	55
Figura 9: Itens segregados e comercializados pelas Cooperativas de Sorocaba	58
Figura 10: Quantificação do Teor de Umidade em Estufa.....	60
Figura 11: Retirada mecânica de impurezas	61
Figura 12: Fluxo de massa no sistema.....	62
Figura 13: Fronteira do Sistema após as considerações feitas durante a etapa de coleta de dados	63
Figura 14: Resultados <i>per capita</i> do município de Sorocaba por região e média.	67
Figura 15: Porcentagem de Resíduos Comercializados pelas Cooperativas... ..	71
Figura 16: Porcentagem de resíduos recicláveis, reaproveitáveis e rejeitos coletados pela coleta seletiva.....	75
Figura 17: Porcentagem de rejeitos considerando os polímeros que possuem dificuldade de comercialização coletados pelo sistema de coleta seletiva.....	76
Figura 18: Porcentagem de materiais não recicláveis ou reaproveitáveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba.....	87
Figura 19: Porcentagem de materiais que possuem poder calorífico nos resíduos sólidos de Sorocaba	88
Figura 20: Porcentagem dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba.....	89

Figura 21: Porcentagem dos materiais com potencial de periculosidade presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba.....	90
Figura 22: Porcentagem de materiais biodegradáveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba	90

Índice de Tabelas

Tabela 1: Leis, normas e regulamentos relacionadas aos resíduos sólidos.	5
Tabela 2: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em até 10 itens.	16
Tabela 3: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em 14 a 19 itens.	17
Tabela 4: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em 24, 31 e 53 itens respectivamente ..	18
Tabela 5: Visão geral dos estudos de ACV selecionados.....	40
Tabela 6: Visão geral dos impactos considerados na etapa de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida para cada um dos estudos	42
Tabela 7: Índice de Vulnerabilidade Social	52
Tabela 8: IPVS dos domicílios amostrados na Região 1.....	53
Tabela 9 IPVS dos domicílios amostrados na Região 2.....	53
Tabela 10: IPVS dos domicílios amostrados na Região 3.....	53
Tabela 11: IPVS dos domicílios amostrados na Região 4.....	53
Tabela 12 IPVS dos domicílios amostrados na Região 5.....	54
Tabela 13: IPVS dos domicílios amostrados na Região 1.....	54
Tabela 14: Número de residências por classe socioeconômica.....	54
Tabela 15: Descarte <i>per capita</i> diária média de resíduos dos habitantes atendidos e não atendidos por coleta seletiva em cada uma das regiões e a média das regiões.	64
Tabela 16: Descarte <i>per capita</i> de resíduos em cada uma das regiões e em todo o município, bem como os respectivos erros.	66
Tabela 17: Descarte <i>per capita</i> de resíduos domiciliares em outros países....	67
Tabela 18: Descarte <i>per capita</i> de resíduos sólidos domiciliares em outros municípios do Brasil	67
Tabela 19: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica da Coleta Seletiva de Sorocaba, com os respectivos erros e a estimativa de coleta diária em massa e volume.	69
Tabela 20: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica da Coleta Seletiva de Sorocaba, e a estimativa de coleta diária em massa e volume, agrupada em 7 itens.....	77

Tabela 21: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba, com os respectivos erros e a estimativa de descarte diário em massa e volume.....	82
Tabela 22: Resíduos que não são recicláveis, reaproveitáveis ou não possuem mercado de comércio desenvolvido na região	84
Tabela 23: Porcentagem de matéria orgânica descartada em outras cidades.	86
Tabela 24: Descarte diário de umidade (%), impurezas (%) e material (% e toneladas) existentes em cada classe dos resíduos, composição gravimétrica em "base seca" considerando a umidade e as impurezas como itens presentes nos resíduos sólidos domiciliares.....	92
Tabela 25: Resíduos Sólidos Comercializáveis diariamente coletados na Coleta Seletiva e Comum de Sorocaba, em 2011	96
Tabela 26: Preço de comercialização dos resíduos recicláveis no município de Sorocaba (Maio-2011).....	98
Tabela 27: Resíduos Sólidos Reutilizáveis diariamente coletados em Sorocaba	100
Tabela 28: Resíduos Sólidos com dificuldade de comercialização diariamente coletados no sistema em Sorocaba	101
Tabela 29: Rejeitos diariamente coletados em Sorocaba	102

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivo Geral	4
2.2. Objetivo Específico	4
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1 Resíduos Sólidos	5
3.1.1 Legislação.....	5
3.1.2 Características dos Materiais que constituem os Resíduos Sólidos Domiciliares	10
3.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos	13
3.3. Gerenciamento de Resíduos Sólidos	20
3.4. Formas de Manejo de Resíduos Sólidos.....	22
3.5. Ferramenta de Apoio a Gestão: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).....	25
3.5.1 Conceito ACV	26
3.5.2. Histórico e Normalização	29
3.5.3. Fases da ACV	30
3.5.4 ACV como Ferramenta de Apoio a Decisão na Gestão de Resíduos Sólidos	35
3.5.5 Inventários de Ciclo de Vida de resíduos sólidos.....	37
3.5.6 Aplicação da ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos.....	38
3.5.7 Limitações da aplicação de ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos	45
4. Metodologia.....	47
4.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba.....	47
4.1.1. Características Gerais	47
4.1.2. Amostragem	49
4.1.3 Identificação dos Itens	55
4.1.4. Cálculos	59
4.1.5 Ensaios para a Quantificação da Umidade e de Impurezas	60
4.2. Inventário de materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares coletados pelos sistemas de coleta seletiva e comum visando aplicação em estudos de ACV ..	61
5. Resultados e Discussões	64
5.1. Caracterização dos Resíduos Sólidos de Sorocaba.....	64

5.1.1. Dados per capita	64
5.1.2. Caracterização dos Resíduos da Coleta Seletiva	68
5.1.3. Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba (Coleta Seletiva e Coleta Comum Misturados).....	81
5.2 Inventário de materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares coletados pelos sistemas de coleta seletiva e comum visando aplicação em estudos de ACV.....	95
6. Conclusões.....	104
6.1 Caracterização dos resíduos sólidos de Sorocaba.....	104
6.2. Inventário de Materiais presentes nos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba	105
7. Referências Bibliográficas.....	107

1. INTRODUÇÃO

O aumento populacional e o alto consumo de bens e serviços, impulsionado pela economia capitalista, têm gerado inúmeros desafios ambientais e de saúde pública, principalmente no que diz respeito à gestão dos resíduos sólidos urbanos. Neste contexto, a destinação ambientalmente adequada de resíduos sólidos tornou-se um desafio da atualidade.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) instituída pela Lei nº 12.305 de 02 de agosto de 2010 aliada a constante pressão da população por atitudes mais sustentáveis impulsionam o poder público e o setor privado a buscar melhorias neste quadro (BRASIL, 2010).

Em 2008, foram gerados no Brasil aproximadamente 67 milhões de toneladas de resíduos sólidos domiciliares e/ou públicos, segundo a mais recente Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (IBGE, 2010a). Isto significa uma geração per capita diária menor que a registrada nos Estados Unidos em 2008, de 2,04 kg/hab.dia (USEPA, 2009), mas relativamente alta: 0,962 kg/hab.dia de resíduos. Afinal, são quase 200 milhões de quilogramas de resíduos sendo descartados diariamente, cuja gestão é complexa pela diversidade de materiais presentes, distância entre os geradores, impurezas agregadas, formas de descarte diferentes, periculosidade, entre outros fatores.

Segundo a PNSB o panorama da destinação final dos resíduos sólidos no Brasil, entre os anos de 1989 e 2008, seguiu a tendência de reduzir a destinação nos vazadouros a céu aberto e nos aterros controlados. Apesar do avanço observado, a situação ainda é preocupante, tendo em vista as questões ambientais e de saúde pública, pois cerca de 40% dos resíduos sólidos domiciliares e urbanos brasileiros ainda vão certamente causar problemas de poluição, por serem despejados, e eventualmente cobertos, em terrenos sem proteção ou até corpos d'água (MMA, 2011).

A reciclagem de materiais presentes nos resíduos sólidos urbanos é um dos pilares de uma gestão ambientalmente adequada de resíduos e seu incentivo tende a diminuir não somente a quantidade encaminhada a aterros sanitários, como também a dos resíduos descartados erroneamente em ruas,

rodovias e cursos d'água. Neste sentido, programas de coleta seletiva são grandes atores de uma sociedade que deseja encaminhar parte de seus resíduos para unidades de reciclagem (PACHECO, RONCHETTI & MASANET, 2012).

Desde 1980 programas de coleta seletiva de resíduos sólidos são desenvolvidos no Brasil. A PNSB identificou 55 programas de coleta seletiva no país em 1989, e esse número cresceu para 451 em 2000 e 994 em 2008, ou seja, quase 18% do total de municípios brasileiros. Os materiais alvo da coleta seletiva nos municípios, geralmente são: papel/papelão, vidro, plástico, metal ferroso e não ferroso, os quais são gerenciados principalmente por comerciantes intermediários e indústrias recicladoras (IBGE, 2010a).

Porém, esses sistemas têm se mostrado ineficientes em desviar da disposição final, que geralmente ocorre em aterros, quantidades de resíduos superiores a 15% do total gerado (FEHR *et al.*, 2009). Apesar dos autores terem realizado a pesquisa em comunidades que receberam instruções e que possuem recursos que não condizem com a realidade dos municípios brasileiros, este dado pode ser um indicador em vista da dificuldade em se obter dados precisos sobre a quantidade de resíduos que é efetivamente desviada pelos programas de coleta seletiva (DEMAJOROVIC; BESEN; RATHASAM, 2006).

Desta forma, conhecer os resíduos gerados por uma população, como sua composição gravimétrica, volumétrica, a geração *per capita*, o manejo, a destinação final, entre outros, são importantes ferramentas no auxílio do planejamento de políticas públicas voltadas à minimização e gestão adequada desses resíduos.

A PNRS tem como alguns de seus objetivos a gestão integrada de resíduos sólidos e o incentivo à indústria de reciclagem. São também definidos alguns instrumentos para executá-los, como, a formulação de planos e inventários de resíduos sólidos, o estabelecimento da coleta seletiva, a participação da sociedade na formulação, implementação e avaliação de políticas públicas voltadas aos resíduos sólidos e a pesquisa científico-tecnológica (BRASIL, 2010).

Sendo assim, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma das diversas ferramentas empregadas para embasar importantes ações do poder público e privado. É utilizada para analisar o desempenho ambiental de um produto, serviço ou sistema, considerando todas as etapas do processo de produção, utilização e descarte. Desta forma é possível comparar produtos e serviços que atendam a uma mesma função, auxiliando as tomadas de decisões.

A etapa da elaboração do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) baseia-se na quantificação dos insumos (matéria-prima, água e energia) e dos lançamentos (efluentes e resíduos sólidos) e é considerada determinante para que os estudos de ACV atinjam seus objetivos.

A utilização da ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos permite auxiliar o diagnóstico das condições urbanas e analisar diferentes métodos de tratamento e disposição, identificando as vantagens e desvantagens, os pontos críticos no sistema e as oportunidades de melhorias (MOBERG *et al.*, 2005; FINNVEDEN *et al.*, 2005).

Segundo Kulay e Seo (2010) os dados obtidos durante a construção do inventário possibilitam a tomada de decisões e a identificação de oportunidades de melhorias nos produtos ou serviços, mostrando que nesta etapa da ACV as considerações feitas já possuem um embasamento sólido.

Portanto, a ACV pode auxiliar o poder público e privado durante as escolhas a respeito das estratégias e políticas de gestão de resíduos, fundamentando os novos investimentos em técnicas de tratamento e disposição final (MOBERG *et al.*, 2005; FINNVEDEN *et al.*, 2005; SOUZA & RUBINGER, 2005).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral desta dissertação é elaborar um diagnóstico detalhado da geração de resíduos sólidos domiciliares do município de Sorocaba – SP visando a análise do sistema de coleta seletiva e sua potencial expansão. Feito o diagnóstico, através da realização do inventário dos materiais presentes nos resíduos descartados no município de Sorocaba, buscou-se identificar possíveis pontos de melhorias na coleta seletiva.

2.2. Objetivo Específico

- ✓ Realizar uma caracterização gravimétrica e volumétrica, geração *per capita* e quantificar os resíduos domiciliares que podem potencialmente ser encaminhados para a reciclagem e para a disposição final em Sorocaba, nas áreas atendidas e não atendidas pelo programa de coleta seletiva existente;
- ✓ Analisar os dados referentes ao sistema de coleta comum e seletiva dos resíduos sólidos domiciliares de Sorocaba e identificar possíveis pontos de melhorias na coleta seletiva
- ✓ Fornecer subsídios ao poder público municipal sobre os aspectos e impactos ambientais relacionados à coleta, triagem e destinação final dos resíduos sólidos domiciliares do município.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos

3.1.1 Legislação

A Tabela 1 apresenta as leis, normas e regulamentos vigentes e pertinentes para os resíduos sólidos, estabelecendo suas classificações e diretrizes para o manuseio, gerenciamento, transporte, tratamento e disposição final.

Tabela 1: Leis, normas e regulamentos relacionadas aos resíduos sólidos.

GERAL E DIVERSAS	
Resolução CONAMA n° 308/2002	Licenciamento ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte.
Lei n° 12.305/2010	Institui a Política Nacional de resíduos sólidos, altera a Lei n° 9.605 de 12 de fevereiro de 1998 e dá outras providências.
Lei Estadual - SP n° 12.300/2006	Institui a Política Estadual de resíduos sólidos e define os princípios, objetivos, instrumentos, para a gestão integrada e compartilhada de resíduos sólidos, com vistas à prevenção e ao controle da poluição, à proteção e a recuperação da qualidade do meio ambiente, e à promoção da saúde pública, assegurando o uso adequado dos recursos ambientais no Estado de São Paulo.
NBR 10.004/2004	Classificação dos resíduos sólidos.
NBR 10.005/2004	Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.
NBR 10.006/2004	Procedimento para obtenção de extrato solubilizado de resíduos sólidos.
NBR 10.007/2004	Amostragem de resíduos sólidos.
NBR 13.463/1995	Coleta de resíduos sólidos.
NBR 8419/1992	Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos.
NBR 13.896/1997	Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação - Procedimento.
Resolução CONAMA n° 258/1999 e 301/2002	Dispõem sobre a coleta e disposição final dos pneumáticos inservíveis.
NBR 10.157/1987	Aterros de resíduos perigosos - Critérios para projeto, construção e operação - Procedimento.
NBR 11.157/1990	Incineração de resíduos perigosos - Padrões de desempenho - Procedimento.
Resolução CONAMA n°	Dispõe sobre destino das pilhas e baterias após seu esgotamento energético.

257/1999	
Portaria CVS n° 16/1999	Institui norma técnica que estabelece procedimentos para descartes de resíduos quimioterápicos.
RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Resolução CONAMA n° 307/2002	Dispõe sobre a gestão dos resíduos da construção civil
Resolução SMA n° 41/2002	Procedimentos para licenciamento ambiental de aterros de resíduos inertes e da construção civil.
Resolução CONAMA n° 348/2004	Altera a Resolução CONAMA 307 de 05 de julho de 2002, incluindo o amianto na classe de resíduos perigosos.
NBR 15.112/2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos volumosos - Áreas para transbordo e triagem - Diretrizes para projeto de implantação e operação.
NBR 15.113/2004	Resíduos sólidos da construção civil e resíduos inertes - Aterros - Diretrizes para projeto, implantação e operação.
NBR 15.114/2004	Resíduos sólidos da construção civil - Áreas de reciclagem - Diretrizes para projeto - Implantação e Operação.
RESÍDUOS DE PORTOS E AEROPORTOS	
Resolução CONAMA n° 06/1991	Incineração de resíduos sólidos de serviços de saúde, portos e aeroportos.
NBR 8.843/1996	Aeroportos - Gerenciamento de resíduos sólidos.
COMPOSTAGEM	
Resolução SMA n° 51/1997	Dispõe sobre a exigência ou dispensa do RAP para aterros e usinas de reciclagem e compostagem.
RESÍDUOS DE SERVIÇOS DE SAÚDE	
Resolução CONAMA n° 358/2005	Tratamento e disposição final dos resíduos de serviço de saúde.
Resolução RDC n° 306/2004	Dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos de serviços de saúde.
Resolução SS/SMA n° 01/1998	Aprova as diretrizes básicas e regimento técnico para a apresentação e aprovação do plano de gerenciamento de resíduos sólidos de serviço de saúde.
Resolução Conjunta SS-SMA/SJDC - SP- n° 01/2004	Estabelece classificação, diretrizes básicas sobre resíduos de serviço de saúde animal.
Resolução Cetesb n° 07/1997	Dispõe sobre padrões de emissões para unidades de incineração de resíduos sólidos de serviço de saúde.
NBR 12.807/1993	Resíduos de Serviço de Saúde - Terminologia
NBR 12.808/1993	Resíduos de Serviço de Saúde - Classificação

NBR 12.809/1993	Manuseio de resíduos de serviço de saúde.
NBR 12.810/1993	Coleta de resíduos de serviço de saúde.
NBR 13.853/1997	Coletores para resíduos sólidos de serviço de saúde perfurantes ou cortantes - Requisitos e ensaios
NBR 14.652/2001	Coletor - Transportador rodoviário de resíduos sólidos de serviço de saúde.
Norma Cetesb P4.262/2001	Dispõe sobre o gerenciamento de resíduos químicos provenientes de estabelecimentos de serviços de saúde.

Fonte: Adaptado de Cetesb (2013)

Resíduos sólidos são caracterizados como materiais sólidos ou semi-sólidos descartados nas atividades industriais, domésticas, agrícolas, hospitalares, de construção civil, entre outras, incluindo-se também, nesta classificação, os líquidos com determinadas características que inviabilizam o seu descarte em corpos d'água (ABNT, 2004; BRASIL, 2010).

A classificação dos resíduos sólidos de acordo com a sua periculosidade se dá, segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em sua Lei nº 12.305/10 em 11 classes, mencionadas abaixo:

- a) domiciliares;
- b) de limpeza urbana;
- c) sólidos urbanos;
- d) de estabelecimentos comerciais;
- e) dos serviços públicos de saneamento básico;
- f) industriais;
- g) de serviços de saúde;
- h) de construção civil;
- i) agrossilvopastoris;
- j) de transporte;
- k) de mineração.

A classificação dos resíduos de acordo com suas características se dá, segundo a NBR 10.004:2004, em dois grupos: perigosos e não perigosos, e este último subdividido em não inertes e inertes, tal como está descrito abaixo:

- ✓ Classe I: Perigoso, apresenta periculosidade ou é inflamável, corrosivo, patogênico, reativo e/ou tóxico;
- ✓ Classe II A: Não Perigoso e Não Inerte, resíduo biodegradável, combustível ou solúvel;

- ✓ Classe II B: Não Perigoso e Inerte, resíduo que em contato com a água não altera o padrão de potabilidade e não promove mudanças em suas características físicas e químicas.

Os resíduos sólidos urbanos são produzidos nas atividades dos aglomerados populacionais e possuem características diversas de acordo com a sua origem. Fazem parte dos resíduos sólidos urbanos, por exemplo, os resíduos domiciliares, os resíduos potencialmente perigosos de hospitais e indústrias e os resíduos biodegradáveis de podas e capinas (ABNT, 2004).

Os resíduos industriais são os provenientes dos processos de extração e transformação de matéria-prima, produção e acabamento de produtos (SÃO PAULO, 2006).

A Diretoria Colegiada da Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA através da Resolução RDC nº 306/2004 dispõe sobre o regulamento técnico para o gerenciamento de resíduos do serviço de saúde e estabelece medidas técnicas, administrativas e normativas a fim de prevenir acidentes, preservar a saúde pública e a qualidade do meio ambiente.

Segundo a Resolução CONAMA 358/2005 os resíduos do serviço de saúde são os gerados durante o atendimento humano ou animal em qualquer local, inclusive residências. São também os relacionados a qualquer atividade farmacêutica, distribuição de materiais, pesquisas e ensino na área da saúde, necrotérios, unidades móveis, estúdios de tatuagem, entre outros (MMA, 2005).

São classificados segundo a CONAMA 358/2005 em:

- Classe A - Biológico: risco de infecção;
- Classe B - Químico: risco a saúde pública devido a características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade;
- Classe C - Radioativo;
- Classe D - Comum: não apresenta os riscos descritos em A, B e C e são semelhantes aos resíduos domiciliares;
- Classe E - Perfurocortantes e escarificantes.

Os resíduos de construção civil são os gerados em quaisquer obras, tais como, construção, reforma, demolição e escavação (MMA, 2002).

São classificados segundo a Resolução CONAMA 307/2002 em:

- Classe A - reutilizáveis e recicláveis como agregados (pavimentação, solo, tijolo, bloco, telha, concreto, outros);
- Classe B - reutilizáveis ou recicláveis (papel/papelão, plástico, vidro, metal, madeira, outros);
- Classe C - não há tecnologia ou mercado para a reciclagem;
- Classe D - perigosos (tinta, solvente, óleos, outros).

Já os resíduos domiciliares são os produzidos dentro das residências e na maioria das vezes não representam todo o montante produzido *per capita*, pois geralmente as pessoas passam parte do dia no trabalho, na escola ou na universidade (BRASIL, 2010).

O poder público municipal é responsável pela gestão dos resíduos domiciliares, de limpeza pública e possui responsabilidade compartilhada com os geradores para pequenas quantidades dos resíduos comerciais e entulhos, que variam de acordo com a legislação municipal, (IPT/CEMPRE, 2000).

Já a responsabilidade no gerenciamento dos resíduos de serviços de saúde, industriais, agrícolas, de portos, aeroportos, terminais rodoviários e ferroviários é dos geradores (IPT/CEMPRE, 2000).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), em sua Lei nº 12.305/10 tem como principais objetivos o incentivo às indústrias de reciclagem, o incentivo a avaliação de ciclo de vida de produtos e a adoção de tecnologia limpas e padrões sustentáveis de produção e consumo.

A PNRS institui como condição para os municípios terem acesso a recursos financeiros da União, a existência de um plano municipal de resíduos sólidos, que deve conter, dentre outras coisas: o diagnóstico da situação dos resíduos sólidos, origem e caracterização; metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem. Além disso, estabelece que os municípios que optarem por soluções compartilhadas com outros municípios e os que implementarem coleta seletiva através de cooperativas ou associações de catadores possuem prioridade para o acesso dos recursos (BRASIL, 2010).

A PNRS estabelece a responsabilidade da destinação correta por parte dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes dos seguintes resíduos:

- Agrotóxico, resíduos e embalagens;

-Lâmpadas (fluorescentes, de vapor de sódio e de mercúrio e de luz mista);

- Óleos lubrificantes, resíduos e embalagens;

-Pilhas e baterias;

- Pneus;

- Produtos eletrônicos e seus componentes.

A Lei Estadual nº13.576/2009 Institui normas e procedimentos para a reciclagem, gerenciamento e destinação final de lixo tecnológico no estado de São Paulo e estabelece que os produtos eletroeletrônicos devem receber destinação adequada. Tal destinação é definida como a reciclagem e a recuperação, a reutilização ou a disposição final apropriada e estabelece ainda ser de responsabilidade do fabricante, importador ou comerciante manter pontos de coleta estes resíduos.

3.1.2 Características dos Materiais que constituem os Resíduos Sólidos Domiciliares

Quando se pergunta sobre os resíduos sólidos comumente descartados a resposta, com algumas variações, geralmente recai sobre os plásticos, os vidros, os metais, papéis e a matéria orgânica.

- Plásticos

Os plásticos fazem parte de uma classe de materiais mais abrangentes chamados polímeros, que são formados por unidades de repetição de moléculas ligadas através de ligações covalentes e são divididos em três grandes classes: plástico, borracha e fibra (CANEVAROLO, 2002).

Segundo Canevarolo (2002) o plástico é definido como um produto final sólido de alta massa molecular e são divididos em termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos são moldáveis, ou seja, podem ser fundidos quando submetidos a altas pressões e temperaturas e solidificados quando resfriados, podem ser transformados em objetos através da moldagem e da extrusão. Os polímeros termoplásticos podem ser divididos em filmes (geralmente os produtos com espessura inferior a 254 µm, como sacos e sacolas) e rígidos (o restante (CEMPRE, 2013a; MANRICH; FRATTINI; ROSALINI, 1997). Já os

termofixos se fundem e reagem quimicamente através de ligações irreversíveis e se solidificam (CANEVAROLO, 2002).

As borrachas, outro tipo de material polimérico junto com os plásticos, são definidas como elastômeros e possuem poucas ligações intermoleculares fortes que impossibilitam sua fusão. Tal característica é determinante para a elasticidade do material, que pode sofrer transformações e quando o esforço é cessado ele retorna ao estado natural (MANRICH; FRATTINI; ROSALINI, 1997; CANEVAROLO, 2002).

Segundo Canevarolo (2002) os polímeros podem ser classificados de acordo com sua estrutura química:

- Poliolefinas: formadas por moléculas de hidrocarbonetos alifáticos insaturados ligados por dupla ligação entre carbonos. Sozinhos, os Polietilenos e Polipropilenos, poliolefinas típicas, representam pelo menos metade da produção mundial de polímeros (CANEVAROLO, 2002);

O Polietileno pode ser de alta densidade (PEAD) ou baixa densidade (PEBD) e ambos possuem alta resistência química e a solventes e baixo custo, são utilizados como recipientes e filmes para embalagens, utensílios domésticos, brinquedos, entre outros (MANO, 1985). Outro tipo de polietileno de baixa densidade, o linear, também é bastante usado, especialmente no segmento de filmes.

Os Polipropilenos (PP) também possuem alta resistência química e a solventes e baixo custo, e são utilizados como pára-choques de carros, carcaças de eletrodomésticos, fitas adesivas, tubos de caneta, entre outros (MANO, 1985).

- Polímeros estirênicos: os Poliestirenos (PS) são derivados do estireno e possuem baixo custo, fácil processamento, boas propriedades mecânicas, rigidez semelhante ao vidro, alta resistência química, baixa resistência a solventes orgânicos e a intempéries e são utilizados como utensílios domésticos, embalagens de cosméticos, pranchas flutuadoras, entre outros (CANEVAROLO, 2002; MANO, 1985).

- Polímeros clorados: dentre estes, os Poli(cloreto de vinila) (PVC) são muito consumidos e possuem alta resistência a chama, podem ser rígidos ou flexíveis e são utilizados como revestimento de fios e cabos elétricos, tubos

para água e esgoto, embalagens rígidas e transparentes para bebidas e alimentos, toalhas de mesa, cortinas de chuveiro, entre outros (CANEVAROLO, 2002; MANO, 1985).

- Poliésteres: sendo o mais comum deles o Poli(tereftalato de etileno) (PET). Tem como característica a resistência mecânica, térmica e química, pode ser transparente, translúcido ou opaco, pode ser utilizado como embalagem para alimentos, principalmente cosméticos ou farmacêuticos, filme e placas para radiografia e fotografia, embalagem para bebidas, fibra têxtil, entre outros (CANEVAROLO, 2002; MANO, 1985).

Segundo Canevarolo (2002) PEAD, PEBD, PP, PS e PVC são considerados termoplásticos convencionais, ou seja, possuem baixo custo, alta produção e fácil processamento. Já o PET é considerado polímero de engenharia, possui boa resistência mecânica e estabilidade dimensional. Matos e Schalch (2007), durante pesquisa sobre a composição dos resíduos poliméricos, encontraram o PET como o plástico que possui maior porcentagem nos resíduos pós consumo, seguido do PEAD, PP e PS.

Segundo Santos *et al* (2001) os papéis podem ser divididos de acordo com a sua finalidade, tais como, papéis para impressão (jornal), papéis para escrever (branco), papéis para embalagem (sacos de padaria), papéis para fins higiênicos (higiênico, toalha, guardanapo e lenço), cartão e cartolina, papéis especiais (filtro), papéis não classificados (*kraft* em bobinas para cabos e fios).

- Papel

Os papéis não classificados, de impressão, de escrever, embalagens, cartões e cartolinas são considerados potenciais matérias-primas para a reciclagem. Já os papéis sanitários não costumam ser utilizados para este fim devido a presença de contaminação (MACEDO & VALENÇA, 1996).

- Metal

Os metais são geralmente separados em ferrosos e não ferrosos. Durante o processo de reciclagem os metais não ferrosos necessitam de uma melhor separação, pois alguns deles não formam ligas. Os metais não ferrosos são compostos basicamente de alumínio, cobre e suas ligas metálicas, latão, bronze, chumbo, níquel e zinco (KONRAD, 2006). Já os ferrosos são geralmente divididos em aços e ferros fundidos, sendo que existem muitos

tipos de cada um desses. Embora a separação em aço e ferro fundido, ou em cada um dos seus tipos, seja muito interessante, ela pode não ser prática e nem barata, sendo esta a razão pelo fato de que a sucata de metais ferrosos é geralmente comercializada como um produto único, dada a possibilidade de reciclagem conjunta.

- *Matéria Orgânica Putrescível*

A matéria orgânica presente nos resíduos sólidos domiciliares que são alvos de centros de triagem e compostagem são os restos de alimentos e lixo de jardim. Tal seleção é realizada para garantir que o composto orgânico seja de boa qualidade (PUNA & BAPTISTA, 2008).

- *Vidros*

Os vidros são descartados geralmente em formas de garrafa, vasilhames diversificados, vidros planos da construção civil, entre outros (ASSIS, 2006). Apesar da diferença de composição, geralmente os subtipos de vidros não são separados devido ao baixo preço da sucata alicerçado no baixo preço da matéria-prima virgem (areia, principalmente).

3.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos

Conhecer os resíduos produzidos por uma população, como sua composição gravimétrica, volumétrica, o valor médio gerado diariamente por pessoa, entre outros aspectos, pode ser útil no auxílio do planejamento de políticas públicas centradas na redução dos impactos ambientais (ZENG *et al.*, 2005; QU *et al.*, 2009; PAPACHRISTOOU *et al.*, 2009; THITAME, PONDHE e MESHRAM, 2010; MEUSER *et al.*, 2011).

Na literatura científica mundial existem vários estudos sobre caracterizações de resíduos, sendo que alguns deles são relativamente recentes e apresentam caracterizações mais detalhadas que as tradicionalmente apresentadas, as quais são baseadas geralmente em seis itens: metais, vidros, papéis, plásticos, matéria orgânica putrescível e outros. Quanto mais detalhada for a caracterização, mais interessante será para os estudos sobre a gestão eficaz dos resíduos sólidos domiciliares.

Para uma análise comparativa selecionou-se 14 estudos disponíveis na literatura. Verificou-se que cada um deles foi realizado baseado numa

metodologia diferente e com objetivos também diversos. Dessa forma, foram obtidas, em última análise, caracterizações distintas.

Em três estudos (OLIVEIRA *et al.*, 1999; MATTEI e ESCOSTEGUY, 2007; PAPACHRISTOU *et al.*, 2009), as amostras foram obtidas em termos volumétricos (0,31 m³ a 2 m³), em cinco (EISTED e CHRISTENSEN, 2011; BERNACHE-PÉREZ *et al.*, 2001; BUENROSTRO, BOCCO e BERNACHE, 2001; BOLAANE e ALI, 2004; QU *et al.*, 2009) foram coletados sacos de lixo diretamente nas residências (47 a 300 casas) e nos outros seis (MANCINI *et al.*, 2007; CHUNG e POON, 2001; ZENG *et al.*, 2005; MEUSER *et al.*, 2011; THIYAME, PONDHE e MESHRAM, 2010; GUERMOUD *et al.*, 2009) foram obtidas em termos de massa (mínimo de 2 kg e máximo de 400 kg por amostragem). O número de amostras variou de 2 a 160 e o número de itens separados de 7 a 53. As pesquisas duraram no mínimo duas semanas e no máximo 1 ano e o local onde as amostras foram obtidas foi geralmente em aterros para resíduos, mas houveram casos de obtenção em caminhões coletores e, como já comentado, diretamente em residências.

No estudo realizado por Oliveira *et al.* (1999) em Botucatu, com amostras que chegavam ao aterro sanitário local após a coleta oficial, os pesquisadores coletaram 8 amostras de 2 m³ cada, obtidas em três meses. Mancini *et al.* (2007) obtiveram 10 amostras com no mínimo 91 kg de resíduos de várias classes sociais e regiões do município de Indaiatuba, e as dividiram com ênfase no potencial de reciclagem de cada um. Mattei e Escosteguy (2007) coletaram 8 amostras de 0,31 m³ de resíduos (o volume de uma pá carregadeira) de duas camadas do aterro controlado e do antigo lixão de Passo Fundo-RS (180 mil habitantes). Procedimento semelhante foi adotado por Papachristou *et al.* (2009), que obtiveram 12 amostras (uma por mês) de 1m³ de camadas do aterro sanitário de Tessalônica (800 mil habitantes), na Grécia.

Estudo conduzido em Guangzhou (4 milhões de habitantes), na China, utilizou 160 amostras, de 100 kg cada, coletadas em aterro nos meses de janeiro, maio, outubro e dezembro de 1999 (Chung & Poon, 2001). Zeng *et al.* (2005) obtiveram resíduos sólidos do aterro sanitário de Columbia, Estados Unidos, a partir de 4 amostras de cerca de 140kg cada, uma para cada estação do ano. Meuser *et al.* (2011) coletaram 2 amostras de 20 kg cada em 3 aterros

sanitários do estado de Haryana, Índia. Thitame, Pondhe e Meshram (2010) coletaram amostras mensais de 2 kg de 10 locais diferentes de Samgamner, Índia (62 mil habitantes). Guermoud *et al.* (2009), durante oito meses de estudo, estabeleceram amostras de 400 kg de resíduos retiradas dos caminhões coletores, ao todo, os autores separaram 6 amostras de cada um dos 6 setores nos quais Mostaganen, Argélia (160 mil habitantes) foi dividida.

Os outros cinco estudos tiveram como semelhança a preocupação com a exata origem dos resíduos, o que fez com que os autores coletassem as amostras diretamente nas residências e, posteriormente, realizassem a separação. Eisted e Christensen (2011) coletaram em 2 semanas do mês de agosto de 2009, 285 sacos de lixo em Sismut (cerca de 10% da população da Groenlândia). No estudo realizado na região metropolitana de Guadalajara, México (3,4 milhões de habitantes), de junho a agosto de 1997, os resíduos semanais de 300 casas foram coletados, durante quatro semanas (BERNACHE-PÉREZ *et al.*, 2001). Na pesquisa feita em Morelia (510 mil habitantes), também no México, 298 sacos previamente distribuídos pelo município foram coletados, totalizando 697 kg de amostra (BUENROSTRO, BOCCO & BERNACHE, 2001). Já o estudo realizado em Gaborone, Botswana, com 250 mil habitantes, obteve 893 amostras (cada amostra era constituída de 2 sacos com lixo úmido e lixo seco) coletadas em 47 residências durante 21 dias de julho de 2001 (BOLAANE & ALI, 2004). Qu *et al.* (2009) coletaram durante 10 dias os resíduos de 113 residências selecionadas estatisticamente em Pequim (15 milhões de habitantes).

Dos estudos citados, sete tiveram suas amostras divididas em até dez itens, como pode ser visualizado na Tabela 2. É possível observar que os autores basicamente dividiram as amostras em *Matéria Orgânica, Papel, Plástico, Vidro, Metal e Outros*, sendo que alguns ainda subdividiram os plásticos entre rígido e filme ou pelo valor agregado. Ou ainda dividiram os papéis de acordo com o potencial de reciclagem e outros consideraram os itens *Madeira, Tecido, Material Fino e Material da Construção Civil*.

Tabela 2: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em até 10 itens.

Zeng et al., 2005	Mattei e Escosteguy, 2007;	Bolaane e Ali, 2004	Guermond et al., 2009	Meuser et al., 2011	Eisted e Christensen, 2011	Qu et al., 2009
Matéria Orgânica	Matéria orgânica	Putrescible	Matéria orgânica	Madeira	Biológico	Restos de Comida
Papel	Papel/ Papelão	Papel	Papel	Papel	Papel	Papel não Reciclável
Plástico	Plástico filme	Plástico	Plástico	Plástico	Papelão	Papel Reciclável
Vidro	Plástico rígido	Vidro	Vidro	Vidro	Vidro	Plásticos sem Valor
Metal	Vidro	Metal	Metal	Metal	Metal	Plásticos de baixo Valor
Outros	Metal	Tecidos	Tecidos	Tecido e Couro	Madeira	Plásticos de alto Valor
-	Outros	Outros	Outros	Material Fino	Combustível	Metais
-	-	-	-	Material de Construção	Não Combustível	Vidros
-	-	-	-	-	Perigosos	Tecidos
-	-	-	-	-	-	Outros

Outros 4 estudos tiveram as amostras divididas em 14 a 19 itens, conforme pode ser visualizado na Tabela 3 abaixo. Esta subdivisão mais detalhada do que a citada na Tabela 2 (acima) ocorreu para o estudo de Thiyame, Pondhe e Meshram (2010) com enfoque no resíduo orgânico, já o estudo de Oliveira *et al* (1999) teve enfoque nos plásticos. Chung e Poon (2001) também detalharam os plásticos e Papachristou *et al* (2009) realizou um detalhamento geral e diferenciou os materiais que constituíam embalagem dos que não.

Tabela 3: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em 14 a 19 itens.

Thiyame, Pondhe, e Meshram, 2010	Oliveira <i>et al.</i> , 1999	Papachristou <i>et al.</i> , 2009	Chung e Poon, 2001
Folhas	Matéria Orgânica	Resto de Comida, Plantas e Jardim	Jornal
Resíduos de Mercado	Papel/Papelão	Couro, Madeira, Tecido e Borracha	Outros Papéis
Madeira	Alumínio	Papel Embalagem	Metal Ferroso
Resíduos de Cozinha	Aço	Papel de Escritório	Metal não Ferroso
Carcças Domésticas	Plástico Filme	Outros Papéis	Trapos
Tecidos e Sacos de Estopa	PET	Embalagem de Plástico	Vidro Colorido
Outros Orgânicos	PEAD	Outros Plásticos	Vidro Incolor
Rocha, Areia, Tijolos, Pedras	PVC	Embalagem de Vidro	Recipientes de Plástico Espuma
Plástico	PEBD	Outros Vidros	Outros Plásticos Espuma
Metal	PP	Embalagem de Alumínio	Recipiente de Plástico para Bebidas
Osso	Outros Plásticos	Outros Alumínios	Sacolas Plásticas Coloridas
Borracha e Couro	Vidro	Embalagem (Outros Metais)	Sacolas Plásticas Incolores
Vidro	Texteis	Outros Metais	Outros Plásticos
Outros inorgânicos	Embalagem Longa Vida	Solo, Pedra, Tijolo, Cimento	Madeira, bambu e Palha
-	Outros	Embalagem de Material Misto	Matéria Orgânica
-	-	Outros Materiais Mistos	Borracha
-	-	Perigosos	Bateria Usada
-	-	-	Cinzas, Areia e Irreconhecíveis
-	-	-	Tijolos e Pedras

Por fim, três estudos dividiram suas amostras em 24, 31 e 53 itens respectivamente, conforme pode ser visualizado na Tabela 4. Mancini *et al* (2009) e Buenrostro, Bocco e Bernache (2001) realizaram uma divisão detalhada com ênfase nos materiais plásticos. Bernache-Pérez *et al.* (2001) realizaram uma divisão altamente detalhada, também subdividiram os plásticos em diversos tipos, e enfatizaram as embalagens assim como Papachristou *et al* (2009).

Tabela 4: Descrição da divisão das amostras de resíduos sólidos em estudos selecionados que fizeram subdivisão em 24, 31 e 53 itens respectivamente

Mancini et al., 2007	Buenrostro, Bocco e Bernache, 2001	Bernache-Pérez et al., 2001
Resto de Comida	Resto de comida	Resto de Comida
Lixo de Jardim	Lixo de jardim	Lixo de Jardim
Fraldas	Fralda	Papel Higiénico
Lixo de Banheiro	Absorvente Feminino	Fraldas Descartáveis Infantis
Embalagem com mais de um material	Fezes	Fraldas Descartáveis Adultas
Embalagem Longa Vida	Algodão	Absorventes Femininos
Tecidos	Roupas	Fezes de Animais de Estimação
Vidro	Papel	Tecidos
Papel em Boa Condição	Papelão	Algodão
Papel em Má Condição	Papelão Misto	Embalagem de Papel
Aço	Vidro transparente	Embalagem sem Papel
Alumínio	Vidro colorido	Embalagem de Papelão
Baterias	Materiais não Ferrosos	Papelão não Embalagem
Resíduos de Construção	Materiais Ferrosos	Papelão Laminado sem Alumínio
Sapatos	Bateriais	Papelão Laminado com Alumínio
PEAD (filme)	Madeira	Outros Papelões Laminados
PEAD (rígido)	Material de Construção e Demolição	Embalagem Laminada sem Papelão
PP (filme)	Couro	Embalagem de Vidro Colorido
PP (rígido)	Resíduos finos	Vidro Colorido não Embalagem
PS expandido	Fibra de planta	Embalagem de Vidro Transparente
PVC	Fibra sintética	Vidro Transparente não Embalagem
PET (incolor)	Osso	Latas de alumínio
PET (colorida)	Borracha	Lata
Outros	Cerâmica	Embalagem Ferrosa
-	Plástico (filme)	Embalagem não Ferrosa
-	Plástico (rígido)	Ferro não Embalagem
-	Poliuretano	Material não Ferroso e Não Embalagem
-	PS	Embalagem de Argila
-	PP	Embalagem sem Argila
-	Poeira	Embalagem de Madeira
-	Outros	Embalagem sem Madeira
-	-	Material de Construção e Demolição
-	-	Osso
-	-	Borracha
-	-	Couro
-	-	Resíduo fino

-	-	Fibra de Planta
-	-	Embalagem de Fibra Sintética
-	-	Embalagem de Fibra não Sintética
-	-	Sacos de Plásticos de Lanches (filme)
-	-	PEBD (filme)
-	-	Plástico Laminado (filme)
-	-	PET (rígido)
-	-	PEAD (rígido)
-	-	PVC (rígido)
-	-	Outros Plásticos (rígido)
-	-	Plásticos não Embalagem (rígido)
-	-	Poliuretano
-	-	PS Expandido
-	-	PS não Expandido
-	-	PP
-	-	Baterias Elétricas
-	-	Outros

Salienta-se ainda que somente um dos estudos selecionados (MANCINI *et al.*, 2007) apresentou a divisão dos itens em termos de massa e volume, sendo que o restante restringiu-se à apresentação dos dados gravimétricos. A escassez de resultados semelhantes provavelmente se deve ao fato de que a caracterização volumétrica traz uma relativa subjetividade intrínseca a seus resultados, principalmente devido ao grau de compactação aplicado após a separação. Seus resultados não devem ser aplicados em estimativas de aumento da vida útil do aterro em caso de uma eventual recuperação destes resíduos. Isto porque num aterro certamente haverá uma compactação, inclusive a causada pelo próprio peso das camadas de resíduos alocadas acima. Esses fatores, assim como a composição e o tempo de aterramento (e, conseqüentemente, da decomposição), influirão no peso específico dos resíduos aterrados e assim, na capacidade e estabilidade estrutural do aterro. Para a reciclagem, porém, saber o quanto cada resíduo ocupa de espaço após a separação é importante para estabelecer diretrizes com relação ao armazenamento, à necessidade ou não de prensagem, ao transporte, dimensionamento de pátios de compostagem aeróbia, etc.

A caracterização gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos domiciliares traz informações que auxiliam no planejamento de ações de

gerenciamento. Identificar o quantitativo de matéria orgânica compostável, de resíduos com potencial e mercado para a reciclagem e/ou de resíduos combustíveis, permite estudar e identificar as técnicas mais vantajosas ambientalmente.

Para se realizar um estudo de caracterização física o primeiro passo é obter uma amostragem de resíduos sólidos e separá-la, em tantos itens quantos forem de interesse para a pesquisa. Foi possível observar que além dos objetivos traçados, o que norteia a separação dos itens são os hábitos de consumo da população que participa da amostragem da pesquisa. Estes hábitos estão relacionados com as classes socioeconômicas e as diferenças culturais locais.

Além de dados sobre tipo e quantidade de resíduos, é possível obter informações que relacionam os resíduos ao poder aquisitivo, à época do ano, comportamento dos geradores, biodegradabilidade e estabilidade da massa se aterrada, entre outros. Ainda, estudos deste tipo subsidiam o poder público com dados para o correto planejamento do manejo de resíduos (ZENG *et al.*, 2005; QU *et al.*, 2009; PAPACHRISTOOU *et al.*, 2009; THITAME, PONDHE e MESHRAM, 2010; MEUSER *et al.*, 2011).

3.3. Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Percebe-se hoje no Brasil uma melhoria na gestão dos resíduos sólidos municipais, porém muitos municípios brasileiros possuem serviços de coleta, disposição e limpeza urbana precários, e as informações disponíveis nem sempre são muito confiáveis (ANDRADE & FERREIRA, 2011). A gestão compartilhada de resíduos sólidos no Brasil teve início na década de 80 através da parceria do poder público municipal com catadores de material reciclável, trazendo inúmeras melhorias e vantagens (JACOBI, 2006).

Segundo Jacobi (2006), em São Paulo ocorreu a primeira iniciativa na gestão dos resíduos sólidos urbanos em 1989 através da estruturação de cooperativas de catadores de material reciclável. Porém, a falta de continuidade dos programas durante a mudança da gestão pública impediu o desenvolvimento e o aperfeiçoamento das técnicas implantadas (ANDRADE & FERREIRA, 2011).

Uma pesquisa realizada na região metropolitana de São Paulo por Jacobi e Besen (2006) mostrou que 59% dos municípios possuem programas de coleta seletiva, sendo que nenhum atende 100% dos domicílios e todos encaminham efetivamente para a reciclagem quantidades que variam entre 0,2% e 3% do total de resíduos produzidos. A falta de pesquisa, investimento, qualificação profissional, estruturação educacional e informativa, além da enorme difusão das práticas irregulares são os entraves da correta gestão dos resíduos sólidos municipais (ANDRADE & FERREIRA, 2011).

Segundo a última pesquisa realizada pelo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE) em 2012, cerca de 14% dos municípios brasileiros possuem coleta seletiva e 65% desta é realizada por cooperativas de catadores. Esta pesquisa, que é realizada a cada 2 anos através de um questionário enviado para as cidades participantes e visitas técnicas, também destacou a necessidade de conscientização da população, pois foram encontradas taxas de rejeito superiores a 17%, e a necessidade do aumento de mais de quatro vezes o valor do investimento financeiro, comparando-se com a coleta regular (CEMPRE, 2013b).

Em Sorocaba, a Lei nº 5.192 de 02 de setembro de 1996 instituiu a coleta seletiva de lixo no âmbito municipal, a forma de realização da coleta será definida pelos setores competentes e poderá ser porta-a-porta ou através de postos de entrega voluntária (PEV). Segundo Simões *et al.* (2011) a coleta seletiva no município iniciou-se informalmente e de maneira esparsa na década de 90. Ainda segundo os mesmos autores, em 2006 uma parceria entre a Prefeitura, Universidades e Entidades Sociais possibilitou a implantação da coleta seletiva no município, através da criação de “cooperativas de catadores de material reciclável”. As cooperativas foram se fortalecendo e em 2010 chegaram a coletar aproximadamente 6,1 toneladas por dia, gerando uma renda superior a 600 reais/mês para 95 trabalhadores (SIMÕES *et al.*, 2011).

Hoje o atual desafio do Brasil, lançado pela PNRS em seus artigos 15 e 16 é a implementação de planos de gestão de resíduos com metas para erradicação e recuperação dos lixões, ou seja, a eliminação da disposição de resíduos sólidos em vazadouros a céu aberto e locais sem proteção adequada.

A PNRS em seu artigo 54 estabelece que deve ser implantada até 2014 a disposição adequada de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

Aliado a isso, os baixos índices das formas alternativas de tratamento (incineração, reciclagem e compostagem) e a disposição final em aterros como a principal forma de gestão de resíduos sólidos são os principais pontos a serem discutidos e desenvolvidos.

Segundo Andrade e Ferreira (2011) países desenvolvidos priorizam a minimização da produção e a reutilização, seguidas da reciclagem e incineração com recuperação de energia, e por último a disposição em aterro sanitário, sendo isto, reflexo de investimentos em diversos setores. Essa tendência é movida por leis que hierarquizam os mecanismos de gestão de resíduos (PUNA e BAPTISTA, 2008).

Uma das coisas que difere a gestão de resíduos sólidos dos países desenvolvidos em relação ao Brasil é que parte dos resíduos gerados passa por diversas formas de tratamento antes de chegar ao aterro sanitário, como as cinzas de incineradores. Outro ponto relevante são os altos investimentos realizados neste setor (ANDRADE & FERREIRA, 2011).

A adoção de técnicas menos impactantes para o tratamento e a disposição de resíduos sólidos está de certa forma atrelada a imposições tarifárias e legais. Segundo Finnveden *et al.* (2005) o sistema de gestão de resíduos sólidos na Suécia foi alterado devido à duas imposições significativas: proibição da disposição de resíduos orgânicos e implementação de tarifa para disposição dos demais resíduos em aterros, no ano de 2005.

3.4. Formas de Manejo de Resíduos Sólidos

A gestão integrada dos resíduos sólidos urbanos é de fundamental importância e é realizada através da coleta de resíduos, valorização, tratamento e destinação final (PUNA e BAPTISTA, 2008).

O levantamento de algumas informações referentes ao município, tais como, população e classes socioeconômicas, informações referentes à geração de resíduos, como, montante *per capita* e composição gravimétrica, além da realização do diagnóstico do sistema de gerenciamento vigente dos

resíduos sólidos urbanos, são fundamentais para o planejamento das ações (GOMES & MARTINS, 2003).

As ações relacionadas à gestão dos resíduos urbanos estão de certa forma atreladas a saúde pública e necessitam de integração política para que possam ocorrer de forma adequada e efetiva (GOUVEIA, 2012).

Os mecanismos de coleta e transporte influenciam diretamente no gerenciamento dos resíduos, o exemplo mais claro é o fato de caminhões do tipo compactador não serem considerados adequados para a coleta seletiva, visto que a compactação dos resíduos dificulta a triagem (GOMES & MARTINS, 2003).

Souza *et al* (2012) realizou uma pesquisa quantitativa a fim de identificar a contribuição das cooperativas no cenário da reciclagem, o resultado mostrou que ela é pouco significativa, porém crucial na interligação entre o descarte dos resíduos pós-consumo pela população e a aquisição de matéria prima pela indústria da reciclagem.

Sendo assim, técnicas de tratamento de resíduos sólidos são identificadas como alternativas que possibilitam a geração de subprodutos e possuem a tendência de diminuir o potencial de poluição dos mesmos (GOMES & MARTINS, 2003).

Souza *et al* (2012) destacou também que as cooperativas possuem papel fundamental na melhoria da renda dos cidadãos com pouca instrução e com dificuldade de entrar no mercado, além da importância da ação perante a conservação de recursos naturais e financeiros (SOUZA *et al*, 2012).

A reciclagem de materiais é impulsionada principalmente pela valorização dos resíduos e pela oferta da matéria prima, mas pode ser também impulsionada pela educação dos agentes envolvidos, por legislações específicas e/ou pelas necessidades do mercado.

Os metais possuem geralmente maior valor agregado no mercado da reciclagem. Como já comentado no item 3.1.2, eles são classificados de acordo com suas características físico-químicas. Tanto os elementos puros, como as ligas e os metais revestidos são considerados recicláveis. A reciclagem é baseada na fusão da sucata e pode se dar sem perda de massa ou das propriedades dos materiais, dependendo do processo e do nível de separação

empregados. (KONRAD, 2006). Quando a separação das sucatas ferrosas é difícil ou muito cara, é possível que elas sejam recicladas juntas, pois existe mercado para o produto final. Quanto melhor a separação, maior o valor agregado, ou seja, tanto as propriedades como os preços são mais próximos dos materiais virgens.

Por exemplo, a reciclagem do alumínio, um dos mais comuns metais não ferrosos, poupa a extração da matéria prima e a geração dos rejeitos associados ao processo de transformação do minério, além de possibilitar uma enorme economia no consumo de energia (KONRAD, 2006).

A reciclagem de alguns materiais, principalmente dos plásticos, é dificultada devido à complexidade de sua separação (COLTRO *et al*, 2008).

Os plásticos podem ser reciclados através da: 1) reciclagem mecânica, que é contemplada pelas etapas de moagem, lavagem, secagem, aglutinação (no caso de filmes) e reprocessamento (nova fusão); 2) reciclagem química, que é a despolimerização pela ação de reagentes e/ou calor ou 3) reciclagem energética, combustão com recuperação da energia (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Santos *et al* (2004) identificaram os principais desafios da reciclagem de materiais plásticos e levantaram alguns aspectos importantes para o entendimento da tendência da reciclagem hoje. Para os autores o sistema de coleta é o ponto chave para a viabilização da reciclagem e o estabelecimento de leis e metas para a reciclagem de materiais é um fator determinante, porém no Brasil as dificuldades relacionadas com a falta de logística e a disponibilidade incerta de matéria prima deixam este setor vulnerável (SILVA, *et al*, 2004).

Segundo Iniguez-Covarrubias (2011), a compostagem de resíduos sólidos orgânicos como os restos de alimento e lixo de jardim é viável e o produto final possui bom desempenho na aplicação em culturas.

Abreu Júnior *et al* (2012) realizaram um estudo a fim de analisar a qualidade dos compostos produzidos em usinas de reciclagem e compostagem através de resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo. Os resultados obtidos foram o baixo grau de maturação, porém foram encontrados teores de carbono adequados para a classificação como fertilizante orgânico. Outras

importantes constatações dos autores foram: a alta variabilidade das características dos compostos, a obediência dos limites de teores de metais pesados e a importância de se ter critérios técnicos que garantam a qualidade dos produtos gerados na compostagem (ABREU JÚNIOR *et al*, 2012).

A reciclagem do vidro, embora seja dificultada pela diversidade nas composições e características físicas dos materiais, possui um enorme ganho energético e é considerada avançada e capaz de transformar o resíduo em produtos finais úteis e de interesse comercial (ASSIS, 2006)

Portanto a gestão dos resíduos sólidos urbanos e domiciliares requer uma infra-estrutura de limpeza urbana, educação, orientação, separação, coleta, transporte, tratamento e disposição final. As fases são interdependentes e determinantes para o bom funcionamento do sistema.

Os modelos atuais de gestão geralmente não focam na origem dos problemas e permanecem desperdiçando esforços e investimentos em soluções paliativas.

O primeiro passo é a erradicação das formas incorretas de disposição final de resíduos, principalmente os lixões e os aterros controlados. Isso possibilitaria que os esforços concentrem-se na educação, na cultura da redução e reutilização dos resíduos, na recuperação do material e da energia e deixando para última instância os aterros sanitários. Observa-se hoje que alguns países desenvolvidos estão aderindo este tipo de comportamento, impulsionados principalmente, pela legislação, pelas necessidades locais (falta de espaço para aterramento), pela estruturação do poder público e disponibilidade de serviços.

3.5. Ferramenta de Apoio a Gestão: Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

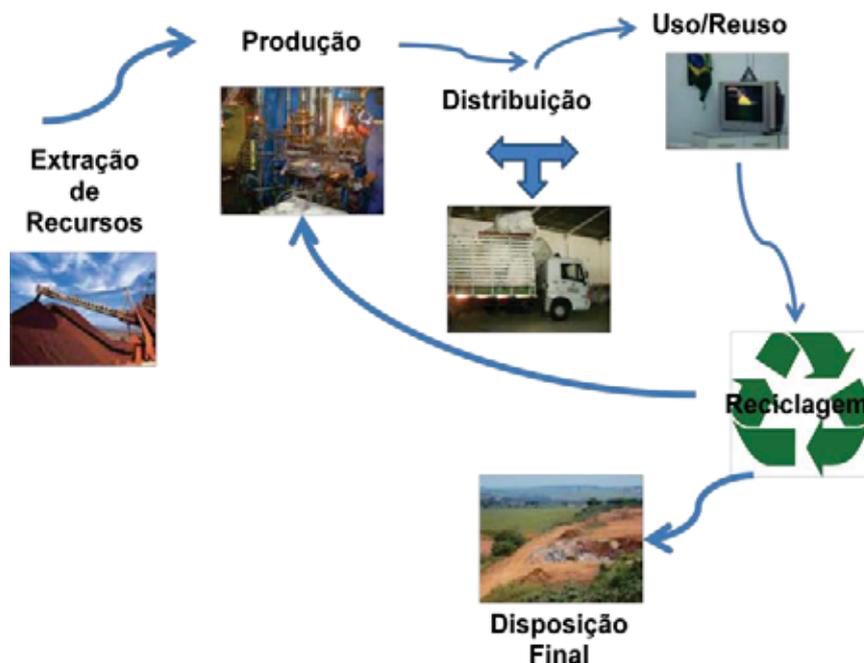
A pressão para a adoção de práticas menos impactantes traz em discussão a necessidade de avaliar como realmente as atividades influenciam a qualidade de vida e o meio ambiente. Questões relacionadas ao esgotamento dos recursos naturais, níveis elevados de poluição, aquecimento global e degradação ambiental são alvos de constantes discussões no mundo todo.

A crescente preocupação ambiental induziu muitas empresas a buscarem ferramentas mais complexas e que considerassem diversos aspectos, deixando de focar apenas na conformidade ambiental, controle da poluição e aplicação de sistemas de gestão ambiental (CURRAN, 2006).

A análise do desempenho ambiental de produtos e serviços configura-se uma importante ferramenta para a minimização dos impactos ambientais potenciais. Algumas empresas estão utilizando a avaliação de ciclo de vida para traçar estratégias que possibilitem otimizar seus processos, utilizar alternativas mais sustentáveis de energia e matéria-prima, e implementar soluções de prevenção à poluição.

3.5.1 Conceito ACV

Antes de iniciar uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é necessário entender o ciclo de vida do produto ou processo alvo do estudo e todas as etapas que o compreendem, desde a extração da matéria prima até o descarte final. A Figura 1 mostra as principais etapas do ciclo de vida de um produto.



Fonte: Adaptado de <www.ciraig.org>

Figura 1: Etapas do Ciclo de Vida de um produto

O estudo de ACV considera todas as fases do ciclo de vida de um produto, do berço ao túmulo, iniciando-se com a coleta da matéria prima e terminando quando o produto é descartado ou retorna ao processo produtivo, através da recuperação dos materiais ou da energia (CURRAN, 2006).

A ACV analisa os aspectos ambientais, e através do levantamento de informações relativas às entradas e saídas, é possível estimar e avaliar os impactos ambientais cumulativos de todas as fases, e por fim, interpretar os resultados, auxiliando na identificação de melhorias ambientais no ciclo de vida de produtos (ABNT, 2009a; CURRAN, 2006).

Além do mais, a ACV possibilita a comparação entre diferentes produtos, matérias-primas, energias, processos e cenários de destinação final (FINNVEDEN & EKVALL, 1998; COLTRO, 2007). É recomendado que seja utilizada em conjunto com outras ferramentas para tomadas de decisão, tais como, a análise do desempenho técnico, dos custos e dos aspectos políticos e sociais. Isso porque a ACV normalmente não considera esses fatores e utiliza uma abordagem com foco nos impactos no meio ambiente, na saúde humana e nos recursos naturais, associados ao produto ou processo estudado (CURRAN, 2006; ABNT, 2009a).

Nas análises comparativas entre produtos e processos que cumpram a mesma função, é necessário que as suposições e o contexto de cada estudo sejam equivalentes, que haja transparência, e quando houver diferença nos sistemas deve-se identificar e relatar com clareza, para que os resultados sejam analisados de maneira correta (ABNT, 2009a; COLTRO, 2007; FERREIRA, 2004).

Para a realização de um estudo de ACV é necessário seguir as 4 fases definidas pela norma NBR ISO 14.040 (ABNT, 2009a):

- (1) Identificação do objetivo e escopo: definição da razão do estudo, abrangência e suas fronteiras;
- (2) Análise do Inventário: identificação das entradas e saídas;
- (3) Avaliação do impacto ambiental: análise, quantificação e cálculo dos impactos em cada categoria de relevância selecionada;
- (4) Interpretação dos resultados: conclusões e recomendações.

Os estudos de ACV necessitam de embasamento científico e podem possuir abrangência ampla ou restrita. Ou seja, podem ser completos, do início até o fim do ciclo de vida ou parciais, ou podem considerar somente algumas etapas mais relevantes (COLTRO, 2007). Entretanto, em qualquer caso a análise deve ser feita de forma sistêmica.

Segundo Todd & Curran (1999) *apud* Bauer (2003, p.182) os estudos que consideram apenas algumas etapas, podem ser descritos conforme apresentado abaixo:

- ✓ Estudos Berço-Túmulo (*cradle-to-grave*): consideram todas as etapas desde a extração da matéria-prima até a disposição final;
- ✓ Estudos Berço-Portão (*cradle-to-gate*): consideram as etapas iniciais, extração da matéria-prima e manufatura do produto;
- ✓ Estudos Portão-Portão (*gate-to-gate*): consideram o processo de produção;
- ✓ Estudos Portão-Túmulo (*gate-to-grave*): consideram as etapas relacionadas ao uso e a disposição final.

Justificando-se a aplicação dos estudos é possível realizá-los do berço ao portão, portão-portão e fases específicas, além dos Estudos de Inventário de Ciclo de Vida (ICV) que são semelhantes a estudos de ACV, porém eles excluem a fase de avaliação do impacto (ABNT, 2009a).

Dessa forma, a ACV permite identificar com transparência os impactos ambientais em cada estágio do ciclo de vida e o resultante do ciclo todo. Com isso, é possível minimizar equívocos durante a escolha de produtos ou processos com menor impacto ambiental, pois ao se considerar o ciclo todo facilita-se a identificação a real contribuição de cada estágio e conseqüentemente realizar da escolha correta levando em conta diversos fatores (FERREIRA, 2004).

Portanto, estudos de ACV podem apoiar políticas públicas, dar suporte a certificação de produtos, fornecer informações para tomadores de decisão, auxiliar no desenvolvimento de novos produtos, processos, tecnologias ou atividades e identificar os que causam maior impacto ambiental total ou por categoria (CURRAN, 2006).

3.5.2. Histórico e Normalização

Na década de 60 iniciaram-se as preocupações com as mudanças climáticas e com a escassez da matéria-prima e dos recursos energéticos, impulsionando estudos de contabilização de consumo de energia, custos e impactos ambientais, que visavam também projetar utilizações futuras e novas fontes (CURRAN, 2006).

Segundo CURRAN (2006), na década de 70 diversas empresas dos Estados Unidos e da Europa realizaram estudos semelhantes e principalmente focado nas embalagens. Nos EUA se desenvolveu uma metodologia padrão para a realização destes estudos, tal metodologia sofreu constantes modificações das empresas e da Agencia de Proteção Ambiental (*Environmental Protection Agency - EPA*). Porém o crescimento era lento e os estudos eram sempre focados nos gastos energéticos. Na Europa foi criado um diretório ambiental que reunia os praticantes de ACV, para desenvolver uma abordagem paralela a que se estava usando nos EUA (CURRAN, 2006). Segundo as informações da Agencia de Proteção Ambiental a Comissão Européia emitiu uma diretiva que cobrava das empresas o acompanhamento do consumo de energia e matéria prima, a geração de efluentes e resíduos das embalagens de alimentos líquidos (CURRAN, 2006). Foi uma importante iniciativa para a construção de inventários no segmento.

No final da década de 80 os resíduos sólidos tornaram motivo de preocupação mundial e a ACV surgiu como uma importante ferramenta para análise de problemas ambientais, impulsionando a necessidade de ir além da quantificação do inventário, e avaliar os impactos ambientais na cadeia, levando a metodologia de ACV para outro ponto de evolução (CURRAN, 2006).

Como muitos estudos aparentemente iguais obtinham resultados diferentes devido as diversas considerações relacionadas a coleta de dados, matrizes energéticas, tecnologias e fronteiras adotadas, ficou evidenciada a necessidade de padronização da metodologia (COLTRO, 2007).

No início da década de 90, o uso inadequado da metodologia de ACV nas comparações dos impactos ambientais entre diferentes produtos que exercem a mesma função e para promoção dos benefícios dos produtos ao

meio ambiente levou ao desenvolvimento de metodologias uniformes (CURRAN, 2006). A SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) reunia diversos pesquisadores da área e produziu um documento que mais tarde foi utilizado pela ISO – *International Organization for Standardization* para normalização da tecnologia e lançamento da série ISO 14.040, que posteriormente a ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) traduziu e lançou a série NBR ISO 14.040, (COLTRO, 2007).

Segundo CURRAN (2006), em 2002, a UNEP (*United Nations Environment Programme*) e a SETAC se uniram e lançaram 3 programas para incentivar a prática e o pensamento do ciclo de vida, e assim, melhorar as ferramentas de suporte para novos dados e indicadores.

Os programas contemplavam:

- 1) Gestão do Ciclo de Vida: visa a produção de materiais, criação de fóruns de discussão e programas de formação e capacitação, para criar o pensamento do ciclo de vida e melhorar as habilidades dos praticantes.
- 2) Inventário do Ciclo de Vida: visa melhorar o acesso aos dados, torná-los transparentes e de alta qualidade.
- 3) Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida: visa aumentar a qualidade dos indicadores, promovendo a troca de opiniões entre especialistas, o trabalho resultante é uma lista de recomendações amplamente utilizada e aceita.

3.5.3. Fases da ACV

3.5.3.1. Objetivo e Escopo

Nesta fase estabelece-se o contexto, define-se o objetivo, o método do ciclo de vida e os impactos ambientais que serão considerados durante o processo de decisão, qual tipo de informação será necessário para agregar valor, qual será a precisão dos resultados, como eles serão interpretados e apresentados (COLTRO, 2007; CURRAN, 2006).

A ISO 14.040 define que nesta etapa deve ser descrita a função do sistema ou produto, a unidade funcional, as fronteiras, categorias de impacto, metodologias de análise, requisitos dos dados, limitações, requisitos de

qualidade dos dados, tipo de revisão e formato do relatório. Sendo que alguns destes termos estão definidos no glossário.

A Agência de Proteção Ambiental (EPA) recomenda o passo a passo descrito abaixo para auxiliar o estabelecimento do objetivo e do escopo de um estudo de ACV (CURRAN, 2006):

- ✓ Passo 1: Definir o objetivo do estudo;
- ✓ Passo 2: Estabelecer as informações base para o processo;
- ✓ Passo 3: Fornecer a contribuição individual de cada etapa do ciclo de vida;
- ✓ Passo 4: Identificar a lacuna dos dados;
- ✓ Passo 5: Determinar como os dados devem ser apresentados.

Segundo Coltro (2007) para a definição do Objetivo e Escopo, alguns questionamentos podem auxiliar a estruturação do estudo, tais como:

- ✓ Qual será a aplicação pretendida?
- ✓ Quais as razões para a realização do estudo?
- ✓ Qual o público-alvo para a comunicação dos resultados?
- ✓ Qual produto ou processo será estudado?
- ✓ Qual a função do sistema?
- ✓ Qual a unidade funcional?
- ✓ Quais as fronteiras do sistema?
- ✓ Quais serão os procedimentos de alocação?
- ✓ Quais são as categorias de impacto selecionadas como relevantes?
- ✓ Qual será a metodologia de avaliação de impacto utilizada?
- ✓ Quais as limitações?
- ✓ Quais os requisitos de qualidade dos dados?
- ✓ Qual será o tipo de revisão dos dados utilizada?
- ✓ Qual o formato do relatório a ser apresentado?

É necessário também especificar o tipo de estudo, se é exclusivo para uma empresa ou generalizado representando práticas comuns (CURRAN, 2006).

Segundo CURRAN (2006) as comparações sempre devem ser realizadas em base semelhante, ou seja, com unidades funcionais equivalentes. Os casos mais complexos devem ser vistos com mais cautela. Por exemplo, para o caso de paredes de isolamento térmico, deve-se

determinar a espessura das mesmas para que elas possuam um grau semelhante de isolamento, pois paredes de mesmo tamanho podem não oferecer o mesmo grau de isolamento (CURRAN, 2006).

3.5.3.2. Análise do Inventário

Durante a fase de análise do inventário são quantificadas as entradas e saídas do sistema consideradas relevantes, como por exemplo, energia, água, recursos naturais, produtos, co-produtos, efluentes gasosos, líquidos e resíduos sólidos (COLTRO, 2007; CURRAN, 2006). Geralmente o levantamento dos dados de cada processo incluído nas fronteiras do sistema é realizado nas empresas que operam os processos, e quando não disponíveis, na literatura publicada (FERREIRA, 2004)

Nesta etapa é construído um diagrama de fluxo, as entradas e saídas são mapeadas, e é estabelecido um plano de coleta de dados (CURRAN, 2006). Todas as interligações entre os subsistemas (cadeia de produção principal, cadeia de produção de materiais auxiliares, cadeia de produção de combustíveis e energia) que serão consideradas são descritas no diagrama, auxiliando assim, o entendimento do que será considerado durante o estudo (FERREIRA, 2004; COLTRO, 2007).

Sendo assim, são listados os tipos e as quantidades de substâncias liberadas para o meio ambiente quando certa quantidade de energia ou matéria prima é consumida, em todas as etapas incluídas na fronteira do sistema, as quais são relacionadas à unidade funcional (COLTRO, 2007, CURRAN, 2006). Os resultados podem ser separados em estágios do ciclo de vida, tipos do meio (ar, água, solo) ou processos específicos (CURRAN, 2006). A partir do momento que se inicia o procedimento de coleta dos dados é possível observar as limitações e quando necessário realizar a revisão do objetivo e escopo do estudo (ABNT, 2009a)

Segundo CURRAN (2006) as metas de qualidade dos dados são definidas através do estabelecimento de uma porcentagem mínima das entradas e saídas consideradas no estudo e da definição das fontes de dados (leitura do equipamento, literatura, relatório, banco de dados, teste em laboratório, estimativa e modelagem) e dos indicadores (determinar se os

requisitos foram cumpridos, avaliar a integridade e a representatividade dos dados) que serão utilizados.

Como geralmente os processos geram mais de uma saída, e estes produtos podem ser reciclados, reutilizados ou descartados, durante a ACV é necessário identificar processos que envolvam múltiplos produtos, para realizar a divisão dos fluxos e emissões (ABNT, 2009a).

3.5.3.3. Avaliação do Impacto

Durante a fase de avaliação do impacto são analisados os efeitos das entradas e saídas no homem, no meio ambiente e na extração dos recursos naturais (FERREIRA, 2004; CURRAN, 2006). Ou seja, os dados levantados na fase anterior são interpretados relacionando-os as categorias de impacto selecionadas como relevantes (COLTRO, 2007). É estudada a magnitude dos impactos ambientais utilizando como base os resultados dos inventários e através da coleta de informações que auxiliem no entendimento da significância ambiental dos mesmos (ABNT, 2009a, COLTRO, 2007).

A análise do inventário possui etapas obrigatórias segundo a norma ISO 14.044:2009, e citadas por COLTRO (2006) e CURRAN (2006). Essas etapas podem ser observadas abaixo:

- ✓ Seleção e Definição das Categorias de Impacto: identificar as categorias relevantes;
- ✓ Classificação: são selecionados os dados do inventário e atribuídos às categorias de impacto específicas;
- ✓ Caracterização: os dados do inventário são modelados multiplicando-os por fatores de conversão para cada categoria de impacto, sendo assim, todos os parâmetros de cada uma das categorias de impacto são somados, obtendo-se, um valor resultante.

Por exemplo, são selecionados os dados do inventário taxa de emissão de dióxido de carbono e metano que contribuem com a categoria “Mudança Climática”. Através do fator de caracterização toneladas de dióxido de carbono equivalente ($tCO_2\text{-eq}$), estabelecido pelo IPCC (Painel Intergovernamental de

Mudanças Climáticas), são quantificados e somados todas as entradas que contribuem, obtendo-se o resultante por categoria.

A avaliação do impacto possui também etapas consideradas opcionais que não são recomendadas para estudos de ACV no Brasil, pois os modelos utilizados para realização destas etapas foram produzidos na Europa, Estados Unidos e Austrália e não refletem a realidade brasileira (COLTRO, 2007). Essas etapas são definidas pela norma ISO 14.044 e citadas por COLTRO (2007) e CURRAN (2006) e estão descritas abaixo:

- ✓ Normalização: expressar os impactos de forma a possibilitar a comparação, ou seja, calcular a magnitude dos resultados por categoria de impacto, em relação a um valor de referência, por exemplo, o total de entradas e saídas é relacionado a certa área, que pode ser global, regional ou local.
- ✓ Agrupamento: consiste em agrupar as categorias de impacto em conjuntos, utilizando uma classificação definida, como por exemplo, prioridades (alta, média e baixa).
- ✓ Ponderação: converter os resultados através da atribuição de valores empregando fatores numéricos, ponderando os diferentes impactos ambientais e gerando um valor único que representa o impacto ambiental total do sistema específico.

Os métodos de avaliação de impacto podem ser *mid-point* ou *end-point*. Os métodos *mid-points* são mais fiéis, possuem abordagem orientada no problema, ou seja, avaliam a sensibilidade e quantificam os impactos por categoria através das informações relacionadas às propriedades fundamentais das substâncias, como taxas de extração de matéria prima e de emissão de poluentes, por exemplo (BARE *et al.*, 2000). Os métodos *end-points* são de fácil entendimento e utilizados como suporte para tomadas de decisão, tem abordagem orientada no dano, ou seja, utilizam informações relacionadas ao número de óbitos ou de casos de adoecimento, número de perdas de espécies e excedente energético para futuras extrações (BARE *et al.*, 2000).

Na etapa de avaliação do impacto há muitas limitações, tais como, dificuldade em coletar dados em grande quantidade, em evidenciar as diferenças entre as categorias de impacto, falta de metodologia definida e os

modelos de categoria de impacto estão em fase de desenvolvimento (ABNT, 2009a; FERREIRA, 2004).

3.5.3.4. Interpretação dos Resultados

Durante a fase de interpretação são avaliados os resultados da análise do inventário e da análise do impacto para seleção do produto ou processo com menor impacto ambiental (FERREIRA, 2004). Os resultados obtidos nas duas fases anteriores são relacionados e interpretados em conjunto e de acordo com os objetivos definidos na primeira fase, para que se possa elaborar conclusões e recomendações a fim de reduzir os impactos ambientais (COLTRO, 2007; ABNT, 2009a). Nesta fase são identificados os impactos ambientais mais relevantes, é avaliada a consistência, a sensibilidade e as lacunas do estudo (COLTRO, 2007).

A fase de interpretação tem como objetivo comunicar os resultados de forma adequada e com clareza ao público alvo que o estudo se destina através de uma apresentação compreensível, transparente, completa e uniforme (ABNT, 2009a; CURRAN, 2006). Os resultados são avaliados de modo a levantar os pontos críticos do sistema, embasar tomadas de decisão e fornecer recomendações (CURRAN, 2006).

Em certos casos talvez não seja possível afirmar com certeza qual alternativa é melhor, mas a ACV pode proporcionar uma maior compreensão dos impactos e da magnitude relativa em cada um, analisar as alternativas propostas e revelar prós e contras (CURRAN, 2006).

3.5.4 ACV como Ferramenta de Apoio a Decisão na Gestão de Resíduos Sólidos

Estudos de ACV auxiliam no entendimento e gerenciamento de temas complexos como: gestão e preservação dos recursos naturais; identificação dos pontos críticos e oportunidades de melhorias do desempenho ambiental nos sistemas; desenvolvimento de novos serviços e produtos; otimização de sistemas de reciclagem, de técnicas de tratamento de resíduos e de cenários de disposição final. A importância pela busca de processos e produtos mais

sustentáveis e pela eco-eficiência motiva as empresas a realizarem estudos de ACV, aumentando sua responsabilidade ambiental (COLTRO, 2007).

A ACV auxilia no gerenciamento de resíduos sólidos, pois origina informações essenciais para a gestão integrada, inclusive sobre destinação final, sendo que esta compõe uma etapa relevante em estudos de ACV. Os cenários de destinação final devem ser modelados a fim de refletir o mais fielmente possível a situação real que será avaliada, sendo também necessário obter dados relacionados ao tipo de coleta, tratamento e disposição final dos resíduos na região estudada e à distância percorrida entre os caminhões de coleta (COLTRO, 2007).

Segundo Coltro (2007), para realizar a ACV de cenários de disposição de resíduos sólidos, alguns aspectos devem ser levados em consideração e alguns dados devem ser levantados, tais como:

- Quantificar as emissões para água e ar ocasionadas na biodegradação da matéria orgânica;
- Quantificar a massa e o volume de resíduo enviado para disposição final;
- Avaliar as condições de funcionamento do aterro (se queima gás e o tipo de tratamento de efluentes);
- Estimar as emissões, para a incineração, considerando a composição dos resíduos;
- Avaliar o sistema de tratamento de gás que é utilizado (se ocorre aproveitamento energético, e como são depositadas as cinzas resultantes da queima);
- Levantar dados de quantidade e proporção dos tipos de resíduos orgânicos nos processos de compostagem.

Com informações referentes ao sistema de gestão dos resíduos de um município e utilizando as técnicas da ACV é possível conhecer o perfil do sistema de gestão, simular diferentes cenários de disposição, justificar investimentos, identificar formas menos impactantes de tratamento para os diferentes tipos de resíduos e contabilizar os ganhos quando se escolhe maneiras alternativas de gestão (COLTRO, 2007). Através da clareza com que todas as etapas, impactos da cadeia produtiva e o quantitativo dos dados referentes a cada opção de tratamento são apresentados é possível auxiliar o

planejamento e a conscientização ambiental, possibilitando retratar suas vantagens e limitações (COLTRO, 2007).

Sendo assim, com a caracterização dos resíduos sólidos e das formas de gestão, através da ACV é possível planejar, simular e analisar cenários com diferentes tipos de tratamento e destinação, fornecendo importantes informações que orientem a tomada de decisões do poder público e do setor privado (COLTRO, 2007).

3.5.5 Inventários de Ciclo de Vida de resíduos sólidos

Kulay e Seo (2006) definem Inventário de Ciclo de Vida (ICV) como uma lista de aspectos ambientais, matérias e energias das entradas e saídas, inseridas na fronteira do sistema de um produto.

Estudos de Inventário de Ciclo de Vida possuem como objetivo a quantificação das entradas e saídas do sistema, sendo assim, a etapa de delimitação das fronteiras é crítica, pois depende de fatores cruciais, como a determinação do objetivo de estudo e fatores limitantes, como a disponibilidade e confiabilidade dos dados disponíveis (GIANNETTI *et al*, 2008).

Para McDougall (2001) o estudo de inventário de ciclo de vida é uma ferramenta que possibilita a avaliação do consumo de recursos, geração de efluentes, resíduos e subprodutos úteis e tal avaliação pode auxiliar o planejamento das ações relacionadas à gestão de resíduos sólidos.

Durante a coleta dos dados as entradas e saídas são listadas e os aspectos ambientais são quantificados em cada subsistema que fazem parte das fronteiras internas do sistema KULAY & SEO (2006).

Kulay e Seo (2006) destacam a falta de dados concisos e confiáveis, e a necessidade de complemento dos dados primários, obtidos empiricamente, com dados secundários obtidos em levantamentos bibliográficos, banco de dados de ACV ou com terceiros (empresas, governos, organizações, instituições, laboratórios). Os autores destacam ainda o fato da utilização de banco de dados ser técnica recente mesmo em países onde a ACV está avançada.

Kajino e Hamada (2004), através de estudo de inventário de ciclo vida, identificaram os principais processos que ocorrem em um aterro sanitário,

possibilitando a disponibilização de informações para melhorar o dimensionamento dos espaços e escolhas das técnicas de tratamento dos subprodutos gerados no aterramento dos resíduos. Outro fator destacado pelos autores é a viabilidade de aplicação do modelo de estudo apresentado, devido à facilidade em se obter os dados que possibilitam a realização do estudo.

Os principais resultados de estudos de inventário de ciclo de vida são: a possibilidade de avaliar as etapas inseridas na fronteira do sistema a ser estudado e de identificar os pontos potenciais a serem melhorados ou alterados dentro do ciclo de vida (GIANNETTI *et al*, 2008).

Segundo Andersen *et al* (2011) estudos de inventário de ciclo de vida podem ser usados como ponto de partida para avaliação de melhorias ambientais. E Kulay e Seo (2006) afirmam que quando são realizados estudos de inventários com a finalidade de se obter melhorias no desempenho ambiental do ciclo de vida a abordagem deve ser mais ampla, mas não necessariamente mais detalhada.

3.5.6 Aplicação da ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos

A ACV é utilizada como uma ferramenta de apoio para tomada de decisões, pois possibilita analisar as vantagens e as desvantagens das diferentes técnicas de gestão dos resíduos sólidos urbanos (XARÁ *et al.*, 2001).

Foram analisados ao todo 14 trabalhos (sendo 9 a nível internacional e 5 a nível nacional) publicados entre os anos de 1998 e 2012, os quais utilizaram a ACV como ferramenta na gestão de resíduos e tomadas de decisões. Foram selecionados artigos publicados em revistas científicas, uma dissertação de mestrado e artigos publicados em congresso brasileiro específico da área de avaliação do ciclo de vida e/ou saneamento ambiental. A revisão incluiu apenas dois estudos de ACV de materiais individuais, sendo que os demais trabalhos consideraram a realidade dos resíduos gerados em um município, incluindo os itens que são mais comuns nos resíduos sólidos urbanos.

No geral os estudos possuem bases semelhantes, e a descrição dos itens abaixo tem o objetivo de auxiliar no entendimento dos estudos de ACV na área de gestão de resíduos sólidos.

- Objetivos;
- Cobertura geográfica;
- Tipos de resíduos considerados;
- Tecnologias de tratamento e disposição utilizados;
- Unidade funcional;
- Fronteiras do sistema;
- Aspectos e impactos ambientais relevantes identificados;
- Tipos e as fontes dos dados;
- Utilização de modelos computacionais ou bases de dados;
- Conclusões.

Todos os estudos tiveram como principal objetivo analisar o desempenho ambiental de diferentes formas alternativas de tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos por meio da Avaliação de Ciclo de Vida. Finnveden *et al.* (2005) teve também como objetivo avaliar vantagens, desvantagens e pontos críticos, além de testar a hierarquia de tratamento e disposição dos resíduos, e identificar onde ela não é válida. Já Fantoni e Blengini (2010) e Dmitrijevas (2010) além da análise ambiental, também tiveram como objetivo a realização de uma análise econômica. Merrield *et al.* (2012) analisaram a significância de cada material considerando a quantidade potencial encontrada nos resíduos sólidos da Dinamarca.

A Tabela 5 apresenta algumas considerações dos estudos, como a cobertura geográfica, os tipos de resíduos considerados e as opções de tratamento analisadas.

Tabela 5: Visão geral dos estudos de ACV selecionados

Referência	Abrangência	Tipo de Resíduos	Opção de tratamento
(1) Finnveden <i>et al.</i> (2005)	Suécia	Fração compostável e reciclável (Restos de Alimentos, Papel, Papelão, Jornal, PE, PP, PS, PVC)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Incineração, Compostagem e Digestão Anaeróbia
(2) Finnveden e Ekvall (1998)	Europa	Embalagem de Papel	Reciclagem e Incineração
(3) Wittmaier <i>et al.</i> (2009)	Norte da Alemanha	Resíduos Sólidos Domésticos e Comerciais, Embalagens e Resíduos de Demolição e Construção Civil	Incineração, Disposição em Aterros
(4) Hong <i>et al.</i> (2010)	China	Resíduos Sólidos Municipais (Resíduos de Alimento, Papel, Plástico, Fibra, Madeira, Metais, Vidro e Cinza)	Disposição em Aterro, Incineração e Compostagem
(5) Othman <i>et al.</i> (2012)	Tailândia, China, Turquia, Kuwait, Bangladesh, Singapura	Resíduos Sólidos Municipais	Disposição em Aterro, Incineração, Reciclagem, Compostagem, Digestão Anaeróbia,
(6) Xará, <i>et al.</i> (2001)	Portugal	Resíduos Orgânicos, Papel, Vidro, Metal, Plástico e Outros	Disposição em Aterro, Compostagem e Incineração
(7) Fantoni e Blengini (2010)	Itália	Resíduos Sólidos Municipais (Resíduos Orgânicos e de Jardim, Plástico, Papel, Madeira, Metal e Outros)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Compostagem, Incineração e Tratamento Mecânico Biológico
(8) Merrield <i>et al.</i> (2012)	Dinamarca	Papelão, Papel, Vidro, Plástico, Aço e Alumínio	Reciclagem e Incineração
(9) Banar <i>et al.</i> (2009)	Turquia	Resíduos Sólidos Municipais (Papel, Papelão, Metal, Plástico, Vidro, Matéria Orgânica, Cinzas e Outros)	Disposição em Aterro, Reciclagem, Incineração e Compostagem.
(10) Pecora <i>et al.</i> (2012)	Brasil	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Plástico, Metal, Vidro, Madeira Material Têxtil e Inerte) e Lodo de Estação de Tratamento de Esgoto	Disposição em Aterro, Incineração e Tratamento Mecânico-Biológico
(11) Leme <i>et al.</i> (2010)	Brasil (MG)	Resíduos Sólidos Urbanos (Restos de Alimento, Tecidos, Plásticos, Borracha, Papel, Papelão, Vidro e Metal)	Disposição em Aterro e Incineração
(12) Dmitrijevas (2010)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Tecido, Vidro, Metal e Outros)	Disposição em Aterro e Incineração.

(13) Mendes, Aramaki e Hanaki (2004)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Plástico, tecidos, Borracha, Couro, Madeira, Vidro, Metais Ferrosos, Alumínio e Outros)	Disposição em Aterro e Incineração.
(14) Mendes, Aramaki e Hanaki (2003)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Matéria Orgânica, Papel, Papelão, Madeira, Tecidos, Plástico, Borracha, Couro, Vidro, Metal e Cinzas)	Tratamento Biológico, Compostagem e Disposição em Aterro

Observa-se pela Tabela 5 que a maioria dos estudos analisou e comparou as formas de tratamento incineração e reciclagem, bem como a disposição final em aterros. A maior parte dos estudos teve como dados de entrada a caracterização de toda a corrente de resíduos sólidos urbanos. Porém, Merrield *et al.* (2012) considerou apenas a porção seca dos resíduos, Finnveden e Ekvall (1998) apenas as embalagens de papel e Wittmaier *et al.* (2009) considerou além dos resíduos domésticos, os comerciais e de construção civil.

A maioria dos estudos incluiu entre os limites do sistema em questão: a coleta, o transporte, o tratamento, e a disposição dos resíduos, e contabilizou o consumo de energia e a geração de subprodutos. Sendo que Hong *et al.* (2010), justificaram a exclusão do transporte pelo fato de ser comum em todos os cenários analisados. Por outro lado, Finnveden *et al.* (2005) observaram que o transporte pode ser uma atividade desfavorável para a incineração, uma vez que longas distâncias de transportes dos resíduos até o incinerador deixaram a disposição em aterro mais vantajosa. Em relação à unidade funcional, 9 dos 14 estudos utilizaram 1 tonelada de resíduos sólidos como unidade funcional.

Ainda, a metade dos estudos utilizou predominantemente dados secundários, ou seja, dados já publicados na literatura. É o caso dos trabalhos elaborados por Finnveden *et al.* (2005); Wittmaier *et al.* (2009); Hong *et al.* (2010); Merrield *et al.* (2012); Pecora *et al.* (2012); Leme *et al.* (2010) e Dmitrijevas (2010). Destaca-se também que em metade dos estudos analisados, ou autores deixaram claro qual software e/ou qual base de dados utilizaram para a realização da ACV.

O Tabela 6 apresenta as categorias de impacto consideradas relevantes em todos os estudos e utilizadas para avaliação dos cenários de tratamento e

disposição de resíduos. Os estudos foram numerados de acordo com o apresentado no Tabela 5, para facilitar a apresentação.

É importante resaltar que as categorias que representam praticamente o mesmo impacto ambiental foram agrupadas para melhor interpretação dos resultados. Por exemplo, alguns autores separaram as diversas fontes de energia e outros consideraram como uma categoria única.

Tabela 6: Visão geral dos impactos considerados na etapa de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida para cada um dos estudos

Categorias de Impactos	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
Energia total	X			X			X							
Mudanças Climáticas	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X		X	X
Depleção da Camada de Ozônio	X	X		X	X					X	X			
Esgotamento dos Recursos Naturais		X								X				
Impactos Toxicológicos		X		X	X				X		X	X		
Impactos Não toxicológicos		X												
Eutrofização		X		X	X			X	X	X	X		X	X
Acidificação		X		X	X			X	X	X	X		X	X
Impactos sobre a Biodiversidade		X												
Carcinogênicos				X										
Não Carcinogênicos				X										
Respiráveis Orgânicos				X										
Respiráveis Inorgânicos				X										
Radiação Ionizante				X										
Ocupação do Solo				X								X		
Extração Mineral				X										
Depleção Abiótica					X				X		X			
Formação Fotoquímica de Oxidantes					X			X	X	X				
Acidentes de Trabalho												X		
Doenças Ocupacionais												X		

Fonte: Referências listadas na Tabela 5

Segundo a Tabela 6, somente dois estudos não consideraram a categoria de impacto, Mudanças Climáticas. Consumo de Energia foi a segunda categoria mais considerada nos estudos, junto com Acidificação. Depleção da Camada de Ozônio, Impactos Toxicológicos e Eutrofização também foram categorias consideradas em 6, 6 e 5 estudos, respectivamente. As demais categorias de impacto apareceram em menor quantidade nos estudos provavelmente devido à indisponibilidade de dados confiáveis, bem como à maior incerteza dos métodos para a modelagem de tais categorias, como no caso da Toxicidade, e de Impactos sobre a Biodiversidade.

Finnveden *et al.* (2005), Xará *et al.* (2001), Wittmaier *et al.* (2009), Hong *et al.* (2010) e Leme *et al.* (2010), constataram que o aterramento de resíduos possui maior potencial de aquecimento global, devido aos altos índices de emissão fugitiva de metano.

Othman *et al.* (2012) e Xará *et al.* (2001) ressaltaram que a recuperação energética possibilita a redução na emissão dos gases de efeito estufa, e Hong *et al.* (2010) identificaram que a produção de eletricidade é o ponto chave para a diminuição do impacto ambiental dos cenários.

Pecora *et al.* (2012), Leme *et al.* (2010) e Dmitrijevas (2010) observaram que o aterro sanitário, comparado com a incineração, é mais impactante nas categorias: mudanças climáticas, eutrofização, acidificação, toxicidade humana, depleção da camada de ozônio recuperação de energia e consumo de recursos naturais. Isto reforça a necessidade de se aprimorar as técnicas para tratamento dos líquidos percolados em aterros.

Considerando as Mudanças Climáticas e os impactos Toxicológicos, a hierarquia encontrada foi: reciclagem mais favorável que a incineração que é mais favorável ao aterramento. Porém observou-se, que a disposição em aterro é favorável a incineração considerando o intervalo de tempo de um século e quando há longas distâncias para a incineração (FINNVEDEN *et al.*, 2005; XARÁ *et al.*, 2001).

Finnveden e Ekvall (1998) realizaram o estudo da embalagem de papel, e foi possível observar que a solução a ser escolhida para o tratamento dos resíduos depende do objetivo traçado. Ou seja, se o foco for reduzir o impacto nas mudanças climáticas, a incineração com recuperação de energia

substituindo os combustíveis fósseis é a alternativa mais favorável; mas se o foco for reduzir o uso de energia, a reciclagem é a alternativa que melhor se enquadra. Vale ressaltar que os autores tratam da realidade na Europa, no caso do Brasil os impactos associados a matriz energética são diferentes.

Merrield *et al.* (2012) realizou o estudo da fração seca e identificou claramente os benefícios ambientais na reciclagem do vidro, alumínio e aço. Porém para papel/papelão e plástico (itens com poder calorífico elevado) a incineração é vantajosa em alguns casos e depende do nível de recuperação de energia.

Fantoni e Blengini (2010) e Othman *et al.* (2012) observaram que os cenários com porcentagem maior de resíduos encaminhados para a reciclagem são mais favoráveis. Finnveden e Ekvall (1998) identificaram que o consumo de energia e a emissão de gases de efeito estufa são menores quando os resíduos são reciclados. Merrield *et al.* (2012) constatou que os impactos da coleta e do pré-tratamento não comprometem os benefícios da reciclagem.

Hong *et al.* (2010) constataram que os impactos da coleta e do transporte são pequenos em relação aos demais impactos associados a todo o sistema. Porém, Merrield *et al.* (2012) e Finnveden *et al.* (2005) observaram que o transporte pode interferir na escolha das estratégias de tratamento e disposição de resíduos mais apropriadas, dependendo da distância entre os centros geradores e a unidade de tratamento ou disposição final.

Hong *et al.* (2010) através do estudo de ACV identificaram o ponto crítico sistema e a oportunidade de redução dos impactos ambientais, ou seja, observaram que a recuperação do metano para produção de energia elétrica era o ponto chave para a redução do potencial de aquecimento global nos cenários onde havia a disposição de resíduos no aterro.

Sendo assim, a identificação dos principais fatores e dos pontos chaves na cadeia de gestão dos resíduos sólidos é de fundamental importância no aprimoramento das técnicas de tratamento, na melhoria das soluções de disposição final e na identificação e construção de soluções mais viáveis e ambientalmente adequadas.

Outros autores também realizaram o levantamento bibliográfico de publicações de estudos de ACV na gestão de resíduos sólidos. Björklund &

Finnveden (2005) analisaram 10 publicações e os autores dividiram os resultados em materiais não renováveis (plásticos, vidros e metais), onde a reciclagem consome menos energia, e materiais renováveis (papel e papelão), com economia inferior de energia na reciclagem, o que deixou a comparação entre a reciclar e incinerar bem sensível a diversos fatores. Outra conclusão importante enfatizada por Björclund & Finnveden (2005) foi a enorme dificuldade encontrada de analisar e identificar os fatores chaves, deixando de certa forma inconclusiva a comparação da reciclagem com outras formas de tratamento. Os autores destacam que no geral os resultados são bem claros, porém não são incontestáveis, e um ponto importante é determinar as características específicas de acordo com os limites geográficos e temporais.

Os resultados obtidos a partir de estudos de Avaliação do Ciclo de Vida com enfoque nos cenários de tratamento e disposição de resíduos sólidos fornecem subsídios importantes para as tomadas de decisões e investimentos voltados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Porém os estudos de ACV não contemplam todos os impactos e não consideram, na maioria das vezes, aspectos econômicos e sociais. Portanto, não podem ser utilizados sozinhos para as tomadas de decisão.

Baseando-se nas conclusões destes autores e nos estudos analisados observa-se a dificuldade em se obter dados para a estruturação e obtenção de resultados inteiramente conclusivos, e a necessidade de crescimento e aprimoramento na coleta dos dados para estudos realizados na área de ACV.

3.5.7 Limitações da aplicação de ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos

Segundo Finnveden (2000) a utilização de avaliação de ciclo de vida na comparação entre o desempenho ambiental de produtos ou processos pode gerar informações conflitantes e complexas, devido a dificuldade em compreender as reais razões das diferenças.

Souza & Rubinger (2005) e Finnveden (2000) destacaram a insuficiência e a falta de qualidade nos dados disponíveis como importantes limitações na aplicação da metodologia de ACV na gestão de resíduos sólidos urbanos. Finnveden (2000) destaca ainda o fato de a metodologia ser recente e não

possuir uma padronização na forma de utilização e a dificuldade considerável na interpretação dos resultados, devido as alocações diferenciadas e os distintos níveis de tecnologia.

Outra limitação significativa está na alocação das cargas ambientais em cenários com reutilização e recuperação de materiais e energia, como é o caso da reciclagem. Segundo Nogueira (2012) há duas formas de abordagem, uma baseada na expansão do sistema que compara o cenário com e sem a reciclagem através da contabilização e subtração das cargas ambientais que são evitadas quando há a reinserção do produto no sistema, e outra que considera que o produto irá atender outra função, logo, as cargas ambientais do processo de reciclagem são atribuídas ao novo ciclo de vida.

As diferentes escolhas metodológicas existentes em um estudo de ciclo de vida introduzem incertezas nos resultados. A ACV não pode decidir se um produto ou processo é realmente mais adequado ambientalmente que outro, entretanto é possível obter uma visão crítica de ambos os sistemas, facilita a identificação de aspectos importantes a serem discutidos e melhorados e pode oferecer maior embasamento nos processos de tomada de decisão (FINNVEDEN *et al.*, 2000).

Segundo Ekvall *et al.* (2007) a importância de se identificar as limitações de um estudo de ACV e de buscar ferramentas complementares, possibilitará sua melhor utilização na gestão de resíduos sólidos urbanos. A ACV possui a tendência de simplificar a realidade, entretanto quanto mais completa a descrição dos processos e a combinação de diversas ferramentas, mais facilmente possibilitará uma visão mais holística.

Apesar das limitações, restrições e falta de dados, certas decisões necessitam serem tomadas, como é o caso do destino do resíduo sólido urbano. Sendo assim, a ACV e outras metodologias podem servir de base para tomadas de decisões, que mesmo não sendo completas, ao menos são mais abrangentes (EKVALL *et al.*, 2007).

4. Metodologia

4.1 Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba

4.1.1. Características Gerais

O município de Sorocaba possui área de 449,8 km² e localiza-se nas coordenadas geográficas 23° 30' 22" latitude Sul e 47° 27' 21" longitude Oeste, na região sudoeste do estado de São Paulo. Apresenta economia baseada na indústria e, segundo projeções oficiais, baseadas no último censo demográfico (realizado em 2010), apresentava em 2011, população de 593.775 habitantes (IBGE, 2010b).

O sistema de gerenciamento de resíduos sólidos no município de Sorocaba funciona da seguinte maneira: a Prefeitura realiza a coleta dos resíduos misturados em todo o território do município e subsidia Cooperativas de Catadores para que elas possam se organizar e coletar o resíduo reciclável nas regiões.

A coleta de resíduos misturados, realizada pela Prefeitura, chamada de coleta comum, ocorre no mínimo três vezes por semana em todo o seu território. Os cidadãos são orientados a descartar seus resíduos comuns embalados, dentro de contêineres (geralmente de 240 L) espalhados pelas calçadas (na média 1 contêiner a cada 4 residências) em todo o território do município. O conteúdo destes contêineres é coletado por caminhões e funcionários da Prefeitura e encaminhado para aterro sanitário licenciado.

A Prefeitura auxilia na estrutura das Cooperativas através da doação do espaço físico para a organização da cooperativa (galpões) e instrumentos de trabalho (caminhão, esteira, prensa e outros maquinários) para que elas possam realizar a coleta, triagem e enfardamento dos resíduos que possuem mercado na região.

Existem 4 Cooperativas no município: Ecoeso, Catares, Coreso e Reviver. A Coreso é responsável pela coleta em metade do município, sendo o restante de responsabilidade das outras três Cooperativas que compartilham o mesmo espaço na Central de Reciclagem da Zona Oeste (Figura 2)



Figura 2: Central de Reciclagem Zona Oeste de Sorocaba (Julho-2011)

A coleta seletiva de materiais recicláveis, realizada pelas cooperativas, não abrange todo o município e funciona porta-a-porta uma vez por semana. Os trabalhadores coletam os resíduos diretamente dos cidadãos que colaboram e já nos caminhões é realizada uma pré-triagem com os materiais maiores (papelão) e que possam oferecer riscos (vidro).



Figura 3: Caminhões utilizados pelas Cooperativas durante a coleta seletiva em Sorocaba (Julho-2011)

As Cooperativas realizam a triagem, prensagem, enfardamento, negociação e venda para recicladores da região. Há também outras formas de coleta seletiva no município, realizadas por trabalhadores autônomos, porém não foram consideradas, pois não era o foco deste estudo.

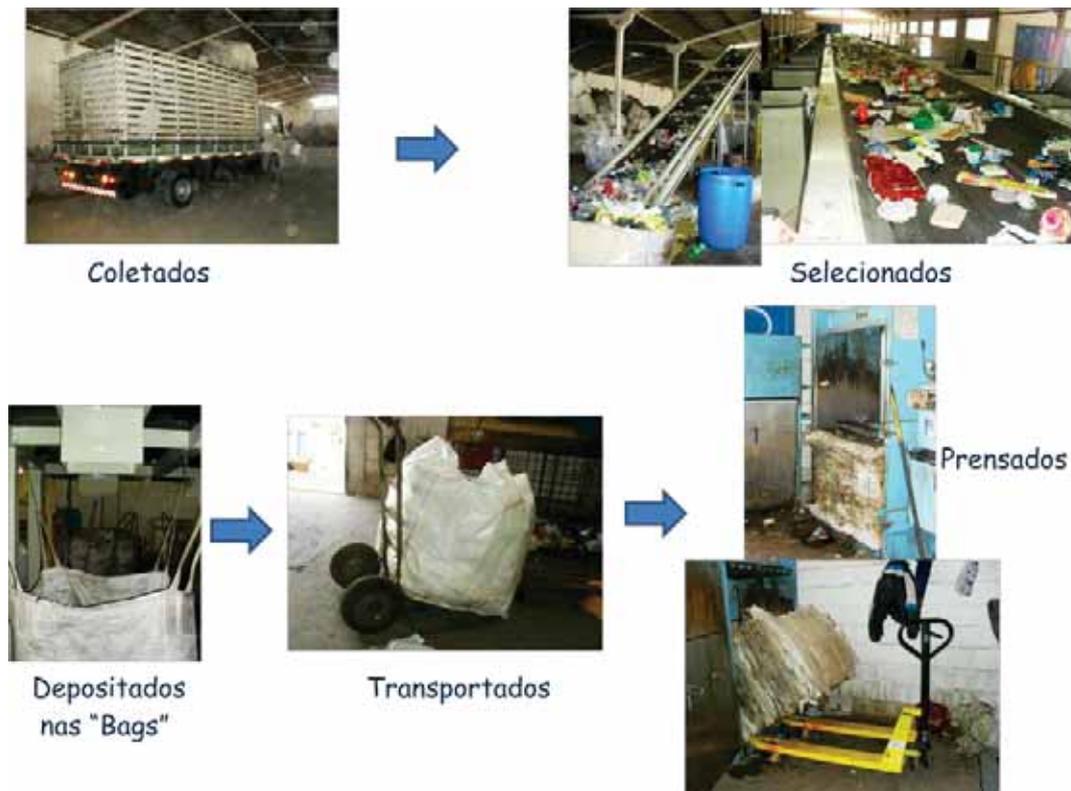


Figura 4: Etapas realizadas pelas Cooperativas durante a coleta, triagem e comercialização dos resíduos (Julho, 2011).

4.1.2. Amostragem

Para atingir os objetivos desta pesquisa, foi utilizada a divisão do município nas 6 regiões de coleta seletiva empregada pela Prefeitura (SIMÕES *et al.*, 2011). Esta divisão foi realizada a fim de que as regiões tivessem aproximadamente o mesmo número de residências.

A Cooperativa Coreso, localizada na zona norte do município, é responsável pelas regiões 3, 5 e 6 e os resíduos gerados nas regiões 1, 2 e 4 são coletados e levados para a Central de Reciclagem Zona Oeste. Estas regiões e suas divisões podem ser visualizadas na Figura 05.

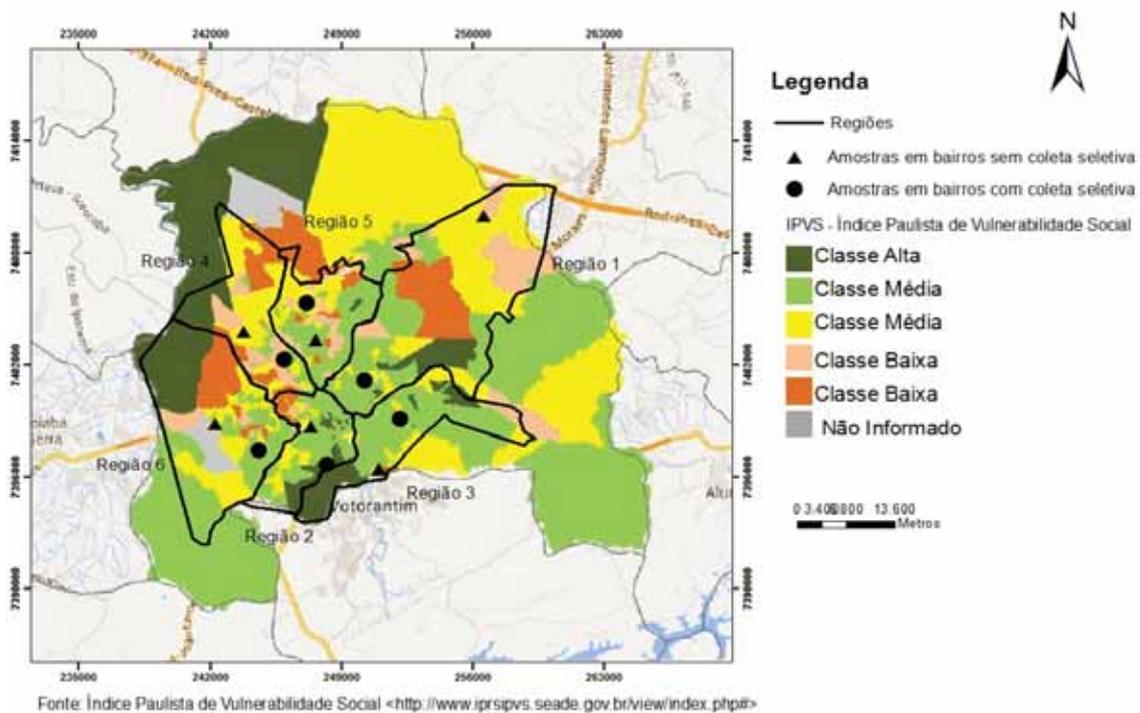


Figura 5 - Distribuição espacial das regiões e dos contêineres amostrados (6 por região) no município de Sorocaba.

Após contato com as cooperativas responsáveis por cada região, e acompanhando os cooperados durante um dia normal de coleta seletiva, foram visitados 6 bairros, ou seja, 1 bairro em cada região, que a própria cooperativa julgava que a coleta seletiva funcionava bem.

Durante a visita, identificaram-se, com a ajuda dos cooperados, várias casas que participavam da coleta seletiva. Foi definido o número de 6 contêineres por região, pois permitia a obtenção de pelo menos 91 kg de resíduos (somados com os resíduos obtidos na amostragem da coleta seletiva), quantidade suficiente segundo a normalização ASTM D5391-92 para uma amostragem visando a caracterização gravimétrica dos resíduos (ASTM, 2008).

Foram evitados contêineres e residências próximas a estabelecimentos comerciais, escritórios e indústrias, de modo a possibilitar que fossem mensurados somente os resíduos gerados nos domicílios.

Fixou-se o valor de 4 contêineres para as regiões com coleta seletiva e 2 para as regiões sem coleta seletiva, para que a amostra dos resíduos encaminhados para as cooperativas fossem representativas.

Sendo assim, com uma média de 4 domicílios por contêiner e 6 contêineres coletados em cada uma das 6 regiões, estabeleceu-se o mínimo de 144 domicílios participantes da amostragem.

Os moradores que depositavam os resíduos nos contêineres foram abordados e seus resíduos de coleta seletiva, quando esta ocorria, foram também coletados para posterior separação pela equipe. Foi perguntado quais outras residências utilizavam o mesmo recipiente, obtendo-se a informação de quantas pessoas faziam uso de cada recipiente. Algumas horas antes da coleta comum, o conteúdo era coletado dos contêineres para posterior separação.

Levando em conta a área de atendimento das cooperativas, foi solicitada a listagem dos bairros onde não havia a coleta seletiva porta-a-porta. Os bairros foram então escolhidos, um para cada região, de modo a abranger maior área e todas as classes sócio-econômicas possíveis (alta, média e baixa).

Da mesma forma anterior, foi solicitada informação aos moradores sobre quais as casas e o número de pessoas que usavam cada um dos contêineres selecionados (dois por bairro). Novamente, horas antes da coleta comum, foi obtido o conteúdo dos contêineres para a separação posterior.

A divisão socioeconômica utilizada foi a estabelecida pela SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados, que estabelece a divisão do território dos municípios do Estado de São Paulo através do índice paulista de vulnerabilidade social (IPVS), as áreas são classificadas de acordo com a concentração de populações vulneráveis à pobreza. O IPVS é calculado com base nos dados do último Censo Demográfico realizado em 2010, para o cálculo são consideradas além das variáveis socioeconômicas (renda e alfabetização), parâmetros relacionados a composição familiar, como a presença de crianças e a idade e o gênero do chefe da família (SEADE, 2010).

A Tabela 7 apresenta os 7 grupos de IPVS e o detalhamento das características que o compõe, a dimensão socioeconômica, a composição familiar e os setores territoriais. O Grupo 6 que enquadra apenas setores

classificados como aglomerados subnormais (favelas) com concentração de população jovem e de baixa renda e o Grupo 7 que enquadra as famílias de baixa renda nas áreas rurais não foram encontrados no município de Sorocaba.

Tabela 7: Índice de Vulnerabilidade Social

Grupo	IPVS (2010)	Dimensão Socioeconômica	Composição Familiar	Setores
1	baixíssima vulnerabilidade	Muito Alta	Famílias Jovens Adultas e Idosas	Urbanos e Rurais
2	vulnerabilidade muito baixa	Média	Famílias Adultas e Idosas	Urbanos e Rurais
3	vulnerabilidade baixa;	Média	Famílias Jovens	Urbanos e Rurais
4	vulnerabilidade média;	Baixa	Famílias Adultas e Idosas	Urbanos
5	vulnerabilidade alta	Baixa	Famílias Jovens	Urbanos
6	vulnerabilidade muito alta.	Baixa	Famílias Jovens	Urbanos Subnormais
7	alta ou muito alta vulnerabilidade	Baixa	Famílias Jovens Adultas e Idosas	Rurais

Fonte: Adaptado de SEADE (2012)

A coleta das amostras nos 12 bairros foi realizada em duas semanas de julho de 2011 e a separação realizada até no máximo 12 horas após a obtenção das amostras. Os bairros, as ruas, os números de residências e os índices de vulnerabilidade social de cada uma das 6 regiões onde as amostras foram coletadas estão listados nas Tabela 8 a 13

Tabela 8: IPVS dos domicílios amostrados na Região 1

Região 1	Vila Progresso e Cajuru	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas atendidas pela coleta seletiva	Rua A	4	2
	Rua B	4	3
	Rua C	6	2
	Rua D	4	2
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua E	3	4
	Rua F	5	4

Tabela 9 IPVS dos domicílios amostrados na Região 2

Região 2	Jardim América e Santa Terezinha	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas atendidas pela coleta seletiva	Rua G	3	2
	Rua H	5	1
	Rua I	3	2
	Rua J	4	2
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua K	3	1
	Rua L	3	1

Tabela 10: IPVS dos domicílios amostrados na Região 3

Região 3	Três Meninos e Vila Zacarias	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua M	6	2
	Rua N	6	2
	Rua O	4	3
	Rua P	3	2
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua Q	3	5
	Rua R	4	5

Tabela 11: IPVS dos domicílios amostrados na Região 4

Região 4	Nova Sorocaba e Jardim Botucatu	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas atendidas pela coleta seletiva	Rua S	4	3
	Rua T	4	3
	Rua U	4	2
	Rua V	3	4
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua X	3	4
	Rua W	4	4

Tabela 12 IPVS dos domicílios amostrados na Região 5

Região 5	Parque das Paineiras	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas atendidas pela coleta seletiva	Rua γ	5	3
	Rua ζ	6	3
	Rua μ	5	3
	Rua α	2	4
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua β	6	2
	Rua π	6	2

Tabela 13: IPVS dos domicílios amostrados na Região 1

Região 6	Central Parque e Santa Bárbara	Número de Residências	Índice de Vulnerabilidade Social
Ruas atendidas pela coleta seletiva	Rua Ω	4	2
	Rua ξ	3	2
	Rua Υ	3	2
	Rua $\&$	4	2
Ruas não atendidas pela coleta seletiva	Rua ϵ	5	3
	Rua δ	5	3

Sendo assim a Tabela 14 apresenta a distribuição por região das classe socioeconômica das residências que tiveram suas amostras coletadas durante a pesquisa.

Tabela 14: Número de residências por classe socioeconômica

Classe Socioeconômica	Número de Moradias	Região					
		1	2	3	4	5	6
Classe Alta	11	0	11	0	0	0	0
Classe Média	111	18	10	19	12	28	24
Classe Baixa	27	8	0	7	10	2	0
Total	149	26	21	26	22	30	24

Na Figura 5 foi possível observar a distribuição espacial dos contêineres coletados nas regiões atendidas e não atendidas pela coleta seletiva (Tabela 8 a 13), bem como a divisão dos seis grandes setores de coleta seletiva do município.

Para a obtenção dos dados referentes a composição gravimétrica e volumétrica todo o resíduo de cada contêiner foi separado e, posteriormente, pesado em recipientes de volume conhecido (Figura 6). Utilizou-se balança digital eletrônica com capacidade máxima de 100 kg e divisão de 20 g, marca Michelletti, modelo MIC 100 para quantidades superiores a 50 g (Figura 8). Para quantidades menores, foi utilizada a balança digital eletrônica portátil de capacidade máxima de 5 kg e divisão de 1 g, marca Plenna, modelo MEA 6100 (Figura 7). Os resíduos da coleta comum foram divididos em 47 itens diferentes em termos de massa e volume, visando estabelecer dados para a estimativa do potencial de reciclagem e também poder inferir sobre os hábitos de consumo e descarte da população. Já os resíduos de coleta seletiva foram segregados em 41 diferentes itens, e posteriormente aferiram-se suas massas e volumes, utilizando os mesmos equipamentos já descritos.



Figura 6: Recipientes de volume conhecido - Julho, 2011



Figura 7: Balança (100 kg) - Julho, 2011



Figura 8: Balança (5 kg) - Julho, 2011

4.1.3 Identificação dos Itens

Para a determinação da quantidade de itens que seriam separados utilizou-se informações coletadas nas Cooperativas de Reciclagem e durante o levantamento bibliográfico apresentado no Item 3.2.

A diferença na divisão dos itens entre a coleta comum e a coleta seletiva pode ser justificada pelos itens que não aparecem na coleta seletiva (*lixo de*

jardim, fezes de animais, lixo de banheiro, fraldas, madeira, gesso, cerâmica e resíduos da construção civil). Outro fator que diferenciou a divisão foram os papéis que na coleta comum foram divididos entre bom e mau estado, pois este é o fator que determina o seu valor agregado durante a comercialização. Nos resíduos de coleta seletiva, além da divisão em bom e mau estado, os papéis em boas condições foram divididos em branco, jornal e revista, com a finalidade de inferir características de consumo da população e avaliá-los segregadamente, visto que, as cooperativas vendem-nos separadamente conforme pode ser observado na Figura 9 a, b, c..

No Quadro 01 estão descritos os resíduos que possuem mercado para a reciclagem e que são comercializados pelas Cooperativas de Sorocaba. Tal descrição reflete a maneira que estes itens são listados para que a população possa identificá-los sem grandes dificuldades.

Quadro 01: Resíduos com Mercado para a Reciclagem e Comercializados pelas Cooperativas de Sorocaba.

Copos de Água e Café	Folhas de Caderno
Garrafas	Formulários de Computador
Sacos e Sacolas	Caixas em Geral (ondulada)
Canos e Tubos de PVC	Aparas de Papel
Embalagens PET (refrigerante, sucos, óleos, etc.)	Fotocopias
Embalagens de Plástico	Envelopes
Tampinhas de garrafa	Cartazes
Latas	Garrafas de Vidro
Paneles sem Cabo	Potes de Vidro
Ferragens, Chapas, Pregos, Cobre	Embalagens de Vidro
Jornais e Revistas	Frascos de Remédio
Listas Telefônicas	Copos Vidro
Papel Sulfite e Rascunho	Cacos dos Produtos Citados
Papel de Fax	Eletrônicos

Na Figura 14 são apresentados os itens que são separados e comercializados pelas Cooperativas, tal separação é realizada de acordo com o tipo de material e com o mercado para a reciclagem existente na região.



a: Jornal



b: Papel Arquivo



c:: Papel Revista



d: Papelão



e: Longa Vida



f: Vidro



g: Latas de Alumínio



h: Material Fino



i: Latas de Aço



j: Eletrônico



l: Apara Mista



m: Apara Cristal



n: PEAD branco



o: PEAD colorido



p: PP



q: PS



s: PEBD



t: PET óleo



u: PET colorida



v: PET transparente

Figura 9: Itens segregados e comercializados pelas Cooperativas de Sorocaba (Julho, 2011)

Durante o estudo definiu-se que a divisão seria realizada em quantos itens fossem encontrados e quantos itens fossem possíveis de serem identificados, seria realizada, possibilitando a análise minuciosa dos tipos de materiais que se fazem presentes nos resíduos sólidos urbanos. Assim, aumentam-se as possibilidades de se identificar soluções e destinações adequadas e viáveis aos materiais que compõe os resíduos descartados no município.

Destaque se dá aos resíduos plásticos que foram divididos com alto grau de detalhamento, através de critérios bem estabelecidos por empresas de reciclagem, definidos principalmente pela impossibilidade de se reciclar conjuntamente plásticos de composição química distinta sem o uso de compatibilizantes ou de estudos prévios para verificação de percentuais aceitáveis sem depreciar o produto final.

Parte dessas propriedades geram diferenças em comportamentos macroscópicos, como transparência, barulho no manuseio, queima (cheiro e fumaça) e principalmente visuais. A distinção entre filmes e rígidos se faz necessária, pois a reciclagem de filmes é realizada de maneira diferente, dada a necessidade de uma etapa adicional na reciclagem dos filmes, a aglutinação (MANO & MENDES, 2000, MANRICH; FRATTINI; ROSALINI, 2007; WIEBECK & PIVA, 2004; ZANIN & MANCINI, 2004).

O item PET foi dividido em *PET incolor* e *PET colorido*, uma vez que as fábricas de reciclagem preferem a compra dessa maneira e pagam até 20% mais pelo material incolor. A distinção das embalagens de *PET óleo*, subdivididas dentro da classe de *PET incolor*, também é importante, pois trata-

se de um material cujo preço também é menor por conta da necessidade, praticamente certa, da utilização de produtos de limpeza na etapa de lavagem. Numa linha de reciclagem de embalagens de refrigerante, água mineral, isotônicos ou outros tipos de embalagens de PET encontrados nas amostras, é comum a utilização de tanques somente com água durante a lavagem ou com uma concentração menor de agentes de limpeza (MANO & MENDES, 2000; MANRICH; FRATTIN; ROSALINI, 2007; SPINACÉ & DE PAOLI, 2005; WIEBECK & PIVA, 2004; ZANIN & MANCINI, 2004).

4.1.4. Cálculos

O cruzamento dos dados gravimétricos e volumétricos obtidos na separação dos resíduos dos contêineres e da coleta seletiva com as informações a respeito do número de pessoas e da variação temporal da coleta seletiva e da coleta comum, obtidas através da população geradora dos resíduos permitiu a obtenção do valor de descarte *per capita*.

Para o cálculo do descarte *per capita* da coleta comum nas regiões que possuíam ou não a coleta seletiva, o total separado dos contêineres foi dividido pelo número de pessoas que usam cada recipiente, e dividido pelo número de dias que passaram entre a última coleta e a coleta da equipe.

Para o cálculo do *per capita* da coleta seletiva a quantidade encaminhada para a coleta seletiva foi dividida pelo número de pessoas nas residências que colaboravam com a mesma e pelo número de dias entre a última coleta e a realizada pela equipe (geralmente 7 dias). No caso dos bairros que possuíam coleta seletiva, esse valor foi somado ao *per capita* da coleta comum para obtenção do *per capita* geral, respeitados os números de pessoas que colaboravam com a coleta seletiva e que utilizavam o contêiner.

Para a caracterização geral, tanto em massa quanto volume, o valor absoluto de cada resíduo segregado das amostras de coleta seletiva foi somado ao seu respectivo valor obtido na coleta comum domiciliar, obedecidos quando itens idênticos ou após a realização dos devidos ajustes, quando não coincidentes. Conforme mencionado no item 4.1.2 na caracterização da coleta seletiva os vários tipos de papéis foram divididos em *papel branco*, *papel revista*, *papel Kraft*, *papel jornal*, *papel em mau estado* e *papelão*, enquanto na

caracterização do resíduo domiciliar este foi dividido em *papel em bom estado*, *papel em mau estado*, *papel Kraft* e *papelão*. Logo, para a caracterização geral enquadraram-se os papéis *branco*, *revista* e *jornal* na categoria *papel em bom estado*. A subdivisão do papel em *bom* e *mau estado* foi baseada em umidade e impurezas visivelmente presentes e obviamente carrega uma subjetividade intrínseca.

4.1.5 Ensaios para a Quantificação da Umidade e de Impurezas

Todos os itens segregados dos resíduos provenientes da coleta comum tiveram amostras trazidas ao laboratório do Núcleo de Automação e Tecnologias Limpas (NATEL) na UNESP Sorocaba para secagem durante 48h a 70°C em estufa com circulação de ar forçada Quimis 630L (Figura 10).

Segundo Lange *et al* (2003) a utilização de amostras de 100 gramas a uma temperatura na faixa de 100°C por 24 horas é a melhor metodologia para análise do teor de umidade em amostras de resíduos sólidos urbanos. Escolheu-se separar amostras de cerca de 300 gramas, pois alguns materiais eram mais difíceis de serem separados em porções menores, sendo assim, optou-se por usar um valor aproximado que cobrisse o maior número de itens possíveis. Para garantir que toda a secagem fosse completa optou-se o tempo de 48 horas, o dobro do proposto pelos autores.



Figura 10: Quantificação do Teor de Umidade em Estufa (Julho, 2011)

Posteriormente, obteve-se a nova massa, a partir da qual foi calculado o teor de umidade de cada item. A amostra seca foi submetida à retirada mecânica de impurezas para nova pesagem, da qual se obteve o teor de impurezas associadas a cada item, característico da coleta comum domiciliar (Figura 11).



Figura 11: Retirada mecânica de impurezas (Julho, 2011)

Esta impureza é definida como todo tipo de material que não faz parte do resíduo, como restos de alimento, sedimentos e outros materiais não pertencentes a classe de resíduos selecionada.

4.2. Inventário de materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares coletados pelos sistemas de coleta seletiva e comum visando aplicação em estudos de ACV

A estruturação do estudo seguiu os passos sugeridos pela NBR ISO 14.040:2009, através da determinação dos seguintes itens: objetivo, função, unidade funcional, fluxo de referência e fronteiras, que podem ser observados a seguir.

O estudo foi realizado com o objetivo de levantar o inventário de ciclo de vida (ICV) dos materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares coletados em Sorocaba pelo sistema de coleta comum e seletiva, analisar o potencial dos resíduos que possuem mercado de comercialização, os reutilizáveis e os rejeitos visando identificar oportunidade de melhorias.

A função estabelecida, ou seja, a necessidade a ser atendida foi de analisar a destinação final dos resíduos sólidos de Sorocaba. Para a definição do sistema de coleta foi considerado sistema gestão de resíduos do município de Sorocaba (triagem, comercialização e disposição dos rejeitos em aterro) vigente em 2011.

A unidade funcional do sistema foi estabelecida como a quantidade diária de resíduos sólidos coletados pelas cooperativas e pela coleta comum em Sorocaba no ano de 2011.

O cálculo do fluxo de referência, ou seja, a quantidade diária de cada tipo de resíduo coletado pelo sistema de coleta comum e seletiva, foi calculada

e está demonstrada no item 4.1. A fronteira estabelecida pelo sistema está descrita na Figura 12, através da limitação estabelecida em tracejado:

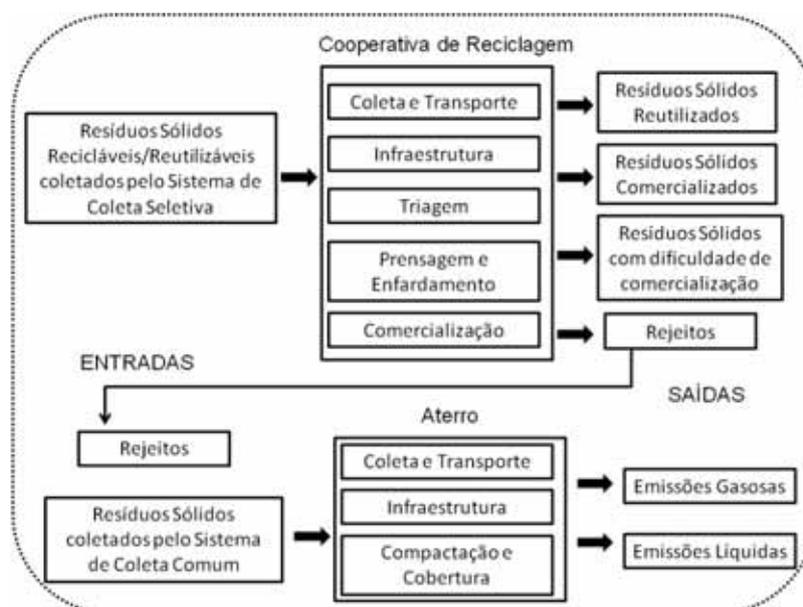


Figura 12: Fluxo de massa no sistema

Durante a etapa de levantamento dos dados, encontrou-se dificuldade em mensurar dados referentes a gastos de energia durante a etapa da triagem, pois a Central de Reciclagem não recebe tais informações, visto que os gastos de energia elétrica são de responsabilidade da Prefeitura. Portanto não foram levantados dados referentes a este gasto energético.

Outra consideração a ser feita está relacionada com os dados de consumo de combustível durante as etapas de coleta. Tais dados não foram coletados tendo em vista que Merrield *et al* (2002) e Hong *et al* (2010) constataram que impactos da coleta, transporte e do pré-tratamento não comprometem os benefícios da reciclagem e são considerados pequenos quando comparados com os demais impactos associados à todo o sistema.

Outra importante consideração a ser levantada está relacionada com o disposição final em aterro sanitário dos resíduos coletados pelo sistema de coleta comum e dos rejeitos da coleta seletiva. Esta parte também não foi incluída no estudo, pois o foco está direcionado para o sistema de coleta seletiva e triagem dos materiais. Logo todas as outras implicações ligadas a esta etapa também foram desconsideradas.

Outra justificativa pertinente para tais considerações está relacionada com o objetivo principal da pesquisa, o qual é elaborar um diagnóstico detalhado da geração de resíduos sólidos de Sorocaba e através do inventário de ciclo de vida do sistema de coleta seletiva identificar melhorias. Sendo assim o foco nos dados relacionados a geração de resíduos, composição gravimétrica e suas características serão o alvo deste levantamento de dados.

Portanto, o sistema será avaliado no que se refere ao potencial de geração de resíduos do município de Sorocaba e suas características relacionadas ao potencial de reciclagem, mercado para a reciclagem, porcentagem de umidade e de impurezas impregnadas. Após a definição mais detalhada da abordagem, pode-se traçar uma nova fronteira para o sistema a qual está apresentada pela linha pontilhada na Figura 13.

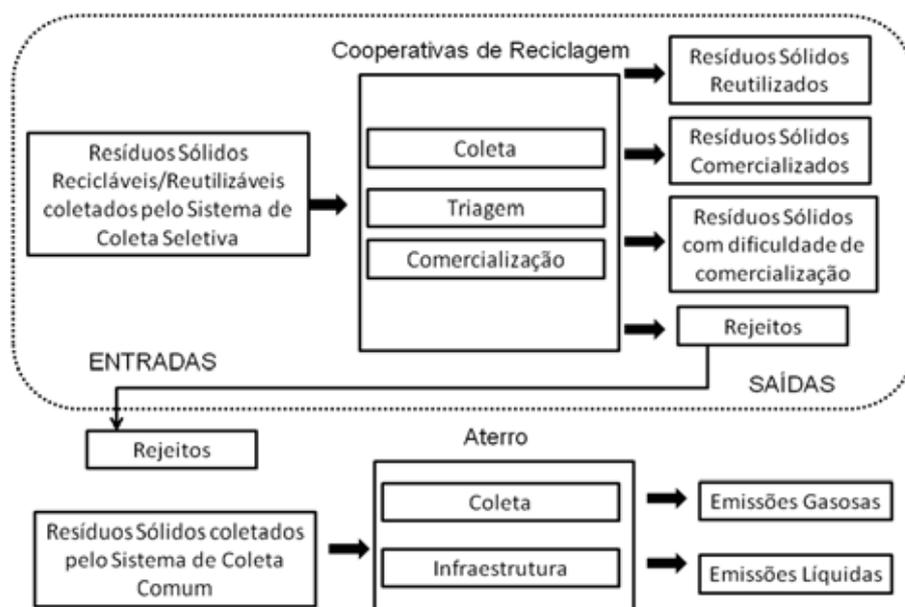


Figura 13: Fronteira do Sistema após as considerações feitas durante a etapa de coleta de dados

Conforme já mencionado no Item 4.1.1 foram considerados como dados de entrada os resíduos coletados pelo sistema de coleta seletiva e pelo sistema de coleta comum, além dos rejeitos gerados após a triagem. Como dados de saídas foram considerados os resíduos comercializados, os resíduos com dificuldades de comercialização, os resíduos reutilizáveis e os rejeitos.

As porcentagens e o montante (kg) dos dados de entrada foram demonstrados na etapa de caracterização descrita no item 4.1.

5. Resultados e Discussões

5.1. Caracterização dos Resíduos Sólidos de Sorocaba

5.1.1. Dados per capita

A Tabela 15 apresenta o descarte *per capita* diária de resíduos domiciliares por parte dos habitantes dos bairros não atendidos (Tabela 8 a 13) por coleta seletiva em cada uma das regiões e a média das regiões. Apresenta também, para os bairros atendidos por coleta seletiva (Tabela 8 a 13), o descarte *per capita* de resíduos encaminhados à coleta comum e o descarte *per capita* de resíduos encaminhados à coleta seletiva. Vale ressaltar que esse último valor diz respeito à quantidade de resíduos encaminhada para a coleta seletiva dividida pelo número de habitantes que efetivamente contribuíram.

Tabela 15: Descarte *per capita* diária média de resíduos dos habitantes atendidos e não atendidos por coleta seletiva em cada uma das regiões e a média das regiões.

REGIÃO	Bairros Não Atendidos por Coleta Seletiva			Bairros Atendidos por Coleta Seletiva					
	Coleta Comum			Coleta Comum			Coleta Seletiva		
	Massa (g/hab)	Volume (L/hab)	Massa Específica (g/L)	Massa (g/hab)	Volume (L/hab)	Massa Específica (g/L)	Massa (g/hab)	Volume (L/hab)	Massa Específica (g/L)
1	409,6	3,4	120,5	308,1	2,9	106,2	176,8	4,8	36,8
2	1525,7	13	117,4	607,4	4,2	144,6	398,4	6,3	63,2
3	702,9	5,8	121,2	476	2,4	198,3	262,2	6,7	39,1
4	471,6	3,6	131,0	504,5	3,2	157,7	93,6	3,1	30,2
5	571,4	4,4	129,9	580,8	3,9	148,9	92	2,5	36,8
6	566,9	4,4	128,8	414,4	2,9	142,9	320,3	13,3	24,1
Sorocaba	708	5,8	122,1	481,9	3,2	150,6	223,9	6,1	36,7

Observa-se pela Tabela 15, que nos bairros não atendidos pela coleta seletiva, diariamente, cada habitante gerou 708 g e pouco menos de 6 litros de resíduos sólidos, os quais foram encaminhados para o aterro sanitário através de sistema de coleta de resíduos comuns mencionados no Item 4.1.1. Já nos bairros atendidos pela coleta seletiva, o descarte diário foi de cerca de 482 g e 3,2 litros, sendo que não é possível afirmar que esses últimos valores foram

obtidos apenas dos habitantes que colaboram com o sistema de coleta seletiva, pois em um mesmo contêiner foram depositados resíduos de residências que colaboraram e que não colaboraram com a coleta seletiva. Para os que colaboraram, os outros 224 g e 6 litros de resíduos *per capita* diários foram encaminhados às cooperativas. As Equações 1 e 2 calculam o quanto isso significa em porcentagem.

$$\% \text{ Desviada (peso)} = \frac{m(\textit{per capita} \text{ coleta seletiva})}{m(\textit{per capita} \text{ total})} * 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ Desviada (volume)} = \frac{v(\textit{per capita} \text{ coleta seletiva})}{v(\textit{per capita} \text{ total})} * 100\% \quad (2)$$

Onde m=massa

v=volume

Isto significa que o atual sistema de coleta seletiva tem o potencial de desviar, dos aterros sanitários, cerca de 32% em massa dos resíduos gerados por pessoa diariamente. Em termos de volume, a média dos dados da Tabela 15 indica que esse desvio representa aproximadamente 65% de todos os resíduos. No entanto estes resultados devem ser vistos com cautela, pois se tratam de acondicionamentos e compactações completamente diferentes. Dessa forma, numa eventual expansão do sistema de coleta seletiva, esse percentual não pode ser usado para o dimensionamento da coleta comum remanescente e muito menos para cálculos de volume ocupado em aterro.

A Tabela 16 apresenta o descarte *per capita* de resíduos em cada uma das regiões e a média do município. Para o cálculo do *per capita* em cada uma das regiões e o do município foi utilizada a média entre os *per capita*s das regiões sem coleta e das regiões com coleta seletiva. Entretanto, nos bairros com coleta seletiva não seria correto apenas somar os valores médios da coleta comum com os da seletiva (apresentados na Tabela 15), pois nem todas as pessoas que usavam os contêineres participavam da coleta seletiva. Assim, neste caso, o valor total coletado diariamente na coleta comum foi somado ao valor total coletado diariamente na coleta seletiva e então dividido pelo total de pessoas que utilizavam o contêiner.

Tabela 16: Descarte *per capita* de resíduos em cada uma das regiões e em todo o município, bem como os respectivos erros.

Região	Massa (g)	Erro (g)	Volume (L)	Erro (L)
1	396,4	188,1	4,3	2,1
2	1061,6	349,5	8,5	3,8
3	585,5	156,8	4,4	1,4
4	513,8	150,4	3,9	1,2
5	601,9	407,5	4,5	1,7
6	510,6	174,5	5,2	1,2
Sorocaba	611,6		5,2	

^aErro= $(t_{90\%} \cdot D) / \sqrt{n}$, onde $t_{90\%}=2,015$; D= desvio padrão, n=6)

Observa-se pela Tabela 16 que, em média, cada sorocabano descartou, diariamente, cerca de 612 g e 5 litros de resíduos em suas residências (ressalta-se que se procurou evitar que os resíduos separados tivessem conteúdos que não de domicílios). É importante salientar que não se trata do total de resíduos gerado por cada habitante no dia, uma vez que muitos cidadãos passam a maior parte do dia fora de suas residências, onde certamente também geram resíduos. As 612 g/hab.dia encontradas em Sorocaba superam o valor de descarte de resíduos domiciliares *per capita* de outros países que obtiveram dado similar (Tabela 17) e mais próximas de valores semelhantes obtidos em outras cidades brasileiras. Nesse último caso, porém, os dados não foram obtidos somente de domicílios.

Se considerarmos o montante encaminhado ao aterro sanitário no município de Sorocaba, que equivale em média a 411,4 toneladas/dia e a população estimada para o ano de 2011 de 593.775 habitantes, o *per capita* de 693 g/hab.dia supera os apresentados nas Tabelas 17 e 18, porém ainda é menor que a média nacional de 962 g/hab.dia (CETESB, 2012; IBGE, 2010a; IBGE, 2010b).

Tabela 17: Descarte *per capita* de resíduos domiciliares em outros países

Município - País	<i>Per capita</i>	Referência
Pequim - China	230 g/hab.dia	QU <i>et al.</i> (2009)
Gaborone - Botswana	330 g/hab.dia	BOLAANE e ALI (2004)
Sisimiut - Groenlândia	365 g/hab.dia	EISTED e CHRISTENSEN (2011)
Phnom Penh - Camboja	487 g/hab.dia	SENG <i>et al.</i> (2010)
Guadalajara - México	508 g/hab.dia	BERNACHE-PÉREZ <i>et al.</i> (2001)

Tabela 18: Descarte *per capita* de resíduos sólidos domiciliares em outros municípios do Brasil

Município - UF	<i>Per capita</i>	Referência
Botucatu - SP	479 g/hab.dia	OLIVEIRA <i>et al.</i> (1999)
Campina Grande - PB	665 g/hab.dia	OLIVEIRA <i>et al.</i> (2009)
João Pessoa - PB	500 g/hab.dia	ATHAYDE JÚNIOR; BESERRA; FAGUNDES (2007)
Lavras - MG	530 g/hab.dia	FRANCO <i>et al.</i> (2011)
Jaú - SP	643 g/hab.dia	REZENDE <i>et al.</i> (2013)

Cabe, nesse momento, comentar sobre as diferenças encontradas, nas Tabela 15 e Tabela 16, entre as regiões do município relacionando-as com as classes sócio-econômicas dos geradores.

A Figura 14 apresenta os valores de descarte de resíduos sólidos domiciliares *per capita* município de Sorocaba por região e a média.

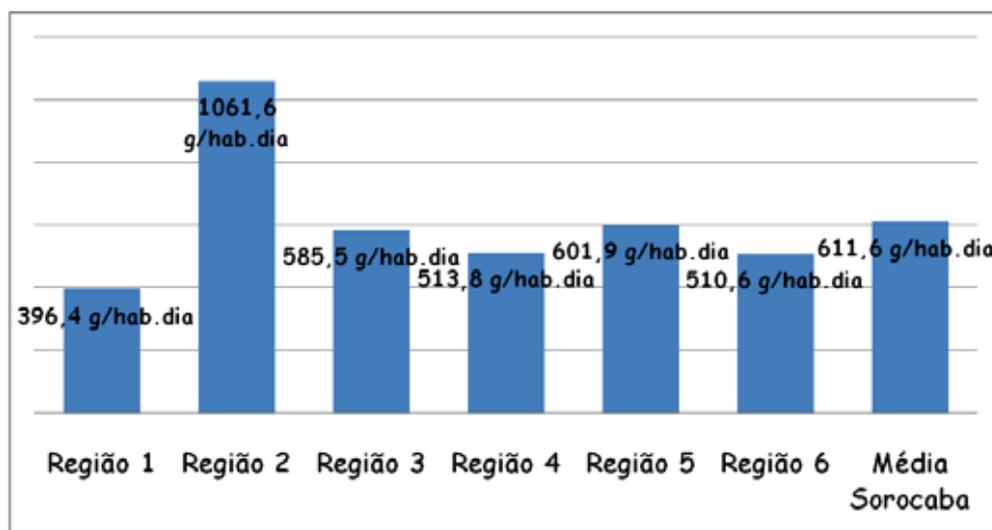


Figura 14: Resultados *per capita* do município de Sorocaba por região e média.

A Região 2 que possui maior descarte *per capita* é a região onde se concentraram as residências de classe socioeconômica alta (Tabela 9), sendo as demais residências todas enquadradas na classe socioeconômica média.

A Região 4 possui o maior número de residências enquadradas como classe socioeconômica baixa (Tabela 11), porém não foi a que apresentou o menor *per capita*. Tal valor foi encontrado na Região 1 que se caracterizou como a segunda maior concentração de residências de classe socioeconômica baixa (Tabela 8).

As Regiões 3 e 5 apresentaram predominância de classe média (Tabela 10 e Tabela 12) e valores *per capita* próximos a média do município.

A Região 6 que apresentou o segundo maior descarte *per capita* apresentou classificação socioeconômica exclusivamente média (Tabela 13). Já a Região 3 possui 19 residências que se enquadram na classe socioeconômica média e 7 residências na classe socioeconômica baixa.

Ou seja, tirando a Região 2, as demais regiões apresentaram valores semelhantes de geração *per capita*.

5.1.2. Caracterização dos Resíduos da Coleta Seletiva

A Tabela 19 apresenta a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos coletados pelo sistema de coleta seletiva de Sorocaba e a estimativa da coleta diária em massa e em volume.

Observa-se que, dos 41 itens separados, 15 apresentaram erros maiores do que a média, isto pode ser explicado pela alta heterogeneidade nas amostras de coleta seletiva. Esta heterogeneidade pode estar relacionada com os diferentes hábitos de consumo e de descarte dos usuários, e também porque haviam alguns itens que apareceram somente nas amostras de uma região, como por exemplo, *sapato em bom e mau estado*, *termofixos* e *firos de cobre*, outra razão para este resultado é a divisão detalhada dos itens.

A separação em menor número de itens pode minimizar este problema (discussão Tabela 20). Maiores quantidades de amostras ou amostras maiores dos resíduos podem fornecer uma grande quantidade de cada item e então reduzir os erros.

Tabela 19: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica da Coleta Seletiva de Sorocaba, com os respectivos erros e a estimativa de coleta diária em massa e volume.

Itens	Composição Gravimétrica (%)	Erro ^a (%)	Estimativa de coleta diária (kg)	Composição Volumétrica (%)	Erro ^a (%)	Estimativa de coleta diária (m ³)
Restos de Comida	0,3	0,3	36,4	0,1	0,1	0,2
Tecidos em Bom Estado	1,8	2	207,9	1	1,5	3,1
Tecidos em Mau Estado	0,2	0,4	23,5	0,0 ^b	0,1	0,1
Calçados em Bom Estado	0,6	1,2	66,9	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b
Calçados em Mau Estado	0,3	0,4	31,7	0,0 ^b	0,0 ^b	0,1
Papel Branco	4,9	6,3	574,3	2	1	6,5
Papel Revista	4,2	2,9	490,9	3,2	3,4	10,2
Papel Jornal	3,9	3,5	456,9	3,4	2,7	11
Papel Kraft	2,2	3,3	259,6	1,6	1,6	5,2
Papel em Mau Estado	0,3	0,4	35,2	0,2	0,2	0,7
Papelão	18,9	4,5	2.215,1	27,3	6,6	87,7
Embalagens Longa Vida	4,9	1,5	576,7	7,9	1,2	25,3
Embalagens Mistas (Papel e plástico)	0,2	0,2	18,8	0,1	0,1	0,3
Embalagens Metalizadas	0,7	0,2	78,7	2,4	0,4	7,6
Latas de Alumínio	2,4	4	278,4	0,2	0,2	0,6
Alumínio (outros)	0,0 ^b	0,1	3,5	0,2	0,4	0,6
Latas de Aço	3,2	2,2	373,5	1,2	1,3	3,8
Outros Metais Ferrosos	3	5,2	347,7	0,2	0,3	0,8
Fios de Cobre	3,9	7,8	454,5	1,1	2,2	3,5
Vidros (embalagens inteiras)	16,2	12,6	1.905,0	2,6	2	8,5
Vidros (quebrado)	0,8	0,7	90,4	0,1	0,2	0,4
PET (incolor)	4,6	2,7	535,6	8,3	4,3	26,6
PET (colorida)	1,1	0,3	128	2,3	1,8	7,4
PET (óleo)	0,4	0,2	49,3	0,8	0,5	2,6
PET (termoformado)	1,1	0,7	132,7	2,7	1,5	8,5
PEAD (filme)	2,4	2	286,6	5,6	1,7	17,9
PEAD (rígido)	2,8	1,4	328,9	4,1	2,2	13,3
PVC	2,3	3,3	265,4	2,9	3	9,2
PEBD (filme)	1	0,5	113,9	5,7	2,4	18,1
PEBD (rígido)	0,1	0,1	9,4	0,4	0,7	1,1
PP (filme)	0,6	0,5	65,8	3,2	1,4	10,3
PP (rígido)	0,9	0,4	106,9	1,5	1,1	4,9
Poliestireno Expandido	0,3	0,2	35,2	1,5	1,3	4,8
Poliestireno (rígido)	0,4	0,2	42,3	0,7	0,6	2,2

Outros Plásticos (rígidos)	0,6	0,5	71,6	0,9	0,6	2,9
Outros Plásticos (filmes)	0,4	0,3	45,8	0,5	0,6	1,5
Polímeros Termofixos	0,1	0,2	11,7	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b
Borrachas	0,1	0,2	9,4	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b
Resíduos Eletroeletrônicos	3,7	4,9	435,7	0,9	1,6	2,9
Resíduos Potencialmente Perigosos	1,3	1,3	151,5	0,1	0,2	0,4
Itens Eventuais	3,3	3,1	389,9	3,2	6,2	10,4
	100		11.745,0	100		321

^a Erro= $(t_{90\%}.D/\sqrt{n})$, onde $t_{90\%}=2,015$; D= desvio padrão, n=6)

^b valores menores que 0,05%

A estimativa da coleta seletiva diária em peso e volume (quarta e sétima colunas da Tabela 19) foi baseada na informação que em 2011 as cooperativas do município de Sorocaba comercializaram diariamente uma média de 10,7 toneladas de resíduos recicláveis (CAMPOS, 2012). Há, porém, dentre os resíduos coletados, alguns que são rejeitos, por não serem recicláveis ou reaproveitáveis, ou por não haver mercado desenvolvido na região para o comércio destes, sendo então destinados ao aterro. Com base neste parâmetro os seguintes resíduos foram considerados como rejeito: *restos de comida, tecidos e calçados em mau estado, embalagens mistas e metalizadas, resíduos potencialmente perigosos, borrachas, termofixos e itens eventuais* (Quadro 02). Há ainda os *tecidos e calçados em bom estado* que também não são comercializados, mas não são descartados, pois geralmente acabam sendo distribuídos entre os cooperados, seus familiares e amigos. Foram considerados *Tecidos em Bom Estado* roupas que ainda podiam ser usadas e os *Calçados em Bom Estado*, aqueles que, além de boas condições, apresentavam-se em pares. Sendo assim, no Quadro 02 são apresentados os resíduos que não são comercializados pelas Cooperativas.

Quadro 02: Resíduos encontrados na coleta seletiva que não são comercializados pelas Cooperativas e foram considerados rejeitos

Restos de comida
Tecidos em bom estado
Tecidos em mau estado
Calçados em bom estado
Calçados em mau estado
Embalagens mistas
Embalagens metalizadas
Resíduos potencialmente perigosos
Borracha
Termofixos
Itens eventuais

Observa-se pela Tabela 19 que 8,9% dos resíduos não são comercializados (listados no Quadro 02). Assim, o montante comercializado em 2011 (m_{cm}), 10,7 toneladas/dia, corresponde, em média, 91,1% do resíduo coletado (R_c). A Figura 15 apresenta a porcentagem de resíduos comercializada e a porcentagem que não é reciclável ou não possui mercado para a reciclagem na região, tais resíduos são enviados pela população para o sistema de coleta seletiva do município equivocadamente.

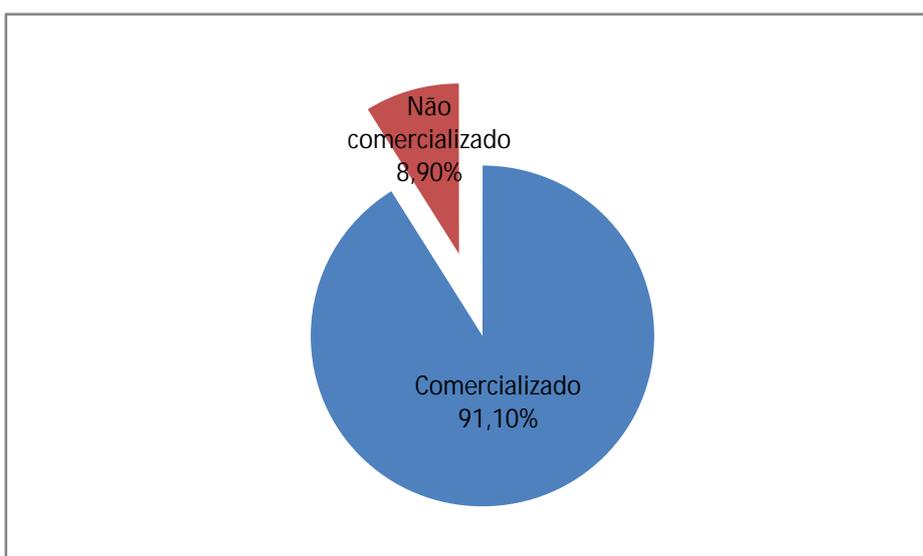


Figura 15: Porcentagem de Resíduos Comercializados pelas Cooperativas

Em seguida, para calcular a quarta coluna da Tabela 19, foi utilizada a Equação 3 e estimando-se que, em média, as cooperativas coletaram (mc), cerca de 11,8 toneladas de resíduo por dia.

$$mc = mcm * \frac{100\%}{Rc} \quad (3)$$

Onde mcm = massa de resíduos comercializada (10,7 toneladas)

Rc = porcentagem de resíduos comercializados (91,1%)

Através da Equação 4 e considerando a massa *per capita* encaminhada para as cooperativas ($m_{per\ capita\ coleta\ seletiva}$) de 224 gramas (Tabela 15), foi possível estimar que 52.914 pessoas, ou 9% da população, participaram da coleta seletiva (n).

$$n = \frac{mc}{m(percapita\ coleta\ seletiva)} \quad (4)$$

Assim, a estimativa do volume coletado por dia (vc) (Tabela 19 ultima linha e sétima coluna) foi calculada usando a Equação 5, considerando o volume ($v_{per\ capita\ coleta\ seletiva}$) de 6,1 litros por pessoa enviado para a cooperativa (também na Tabela 15).

$$vc = \frac{n}{v(percapita\ coleta\ seletiva)} \quad (5)$$

Dos resíduos encaminhados para a coleta seletiva, observa-se pela Tabela 19 que 6,5% em massa e 5,8% em volume, correspondentes a cerca de 760 kg/dia e 19 m³/dia, são considerados rejeitos (Quadro 03). Esta consideração, a respeito dos resíduos que são definidos como rejeitos, é baseada nas potencialidades de reciclagem dos resíduos. Estudos sobre coleta

seletiva no Brasil consideram índices de rejeitos abaixo de 7% em massa como baixos (BESEN, 2006). Segundo pesquisa realizada através da aplicação de questionários em 18 municípios de todas as regiões do Brasil (Sorocaba não foi incluída) em 2012, o índice de rejeitos foi superior a 17% (CEMPRE, 2013b).

Quadro 03: Resíduos encontrados na coleta seletiva que são considerados rejeitos

Restos de comida
Tecidos em mau estado
Calçados em mau estado
Embalagens mistas
Embalagens metalizadas
Resíduos potencialmente perigosos
Borracha
Termofixos
Itens eventuais

Campanhas de conscientização podem ser feitas para diminuir o percentual de rejeitos, pois se tratam de resíduos encaminhados erroneamente para as cooperativas, os quais, depois de separados, têm como destino final a disposição em aterro sanitário.

Considerando que 6,5% dos resíduos coletados pelas cooperativas são rejeitos (Tabela 19) e de acordo com a Equação 1, a Equação 6 mostra a correção determinada pela exclusão dos rejeitos. A população que contribui com o sistema de coleta seletiva evita que 30% e não 32% (Tabela 15) dos seus resíduos sejam encaminhados para o aterro.

$$p = \frac{[m(\textit{per capita coleta seletiva}) - m(\textit{per capita coleta seletiva}) * 0,065]}{m(\textit{per capita total})} * 100\% \quad (6)$$

Essa disposição ocorre inclusive com os resíduos potencialmente perigosos (lâmpadas, pilhas, seringas, embalagens de inseticida) que, pela

legislação brasileira, são aqueles que apresentem caráter reativo, inflamável, corrosivo, tóxico e/ou patogênico (ABNT, 2004). Exemplos típicos desses resíduos encontrados nas amostragens foram lâmpadas fluorescentes, pilhas e latas de inseticidas, que devem ser encaminhados para destinação específica, como unidades de tratamento ou de reciclagem licenciadas para tal fim. Ressalta-se que, no município de Sorocaba, não existe coleta específica para este fim e nem local destinado para estes tipos de resíduos.

Os valores em termos de volume apresentados na Tabela 19 são interessantes para avaliar a necessidade de espaço físico para o manejo de resíduos. Ao todo, por dia as cooperativas do município coletaram 302 m³ de resíduos comercializáveis, que precisam ser prensados e/ou armazenados soltos e comercializados o mais rápido possível para não comprometer espaço das cooperativas, que não suportam grandes acúmulos de materiais. Por exemplo, o *papelão* e *PET incolor*, os itens mais volumosos (88 m³/dia e 23 m³/dia, respectivamente), são prensados no local assim que ocorre a separação.

Em resumo observa-se que, contrapondo os 6,5% de rejeitos, 93,5% dos resíduos encaminhados, aproximadamente 11 toneladas diárias e 302 m³, podem ser considerados recicláveis ou reaproveitáveis. Ressalta-se que nessa última classe foram enquadrados os *Tecidos* e *Calçados em Bom Estado* (275 kg/dia).

Sendo assim, a Figura 16 apresenta a Porcentagem de resíduos recicláveis, reaproveitáveis e rejeitos existente nos resíduos coletados pela coleta seletiva.

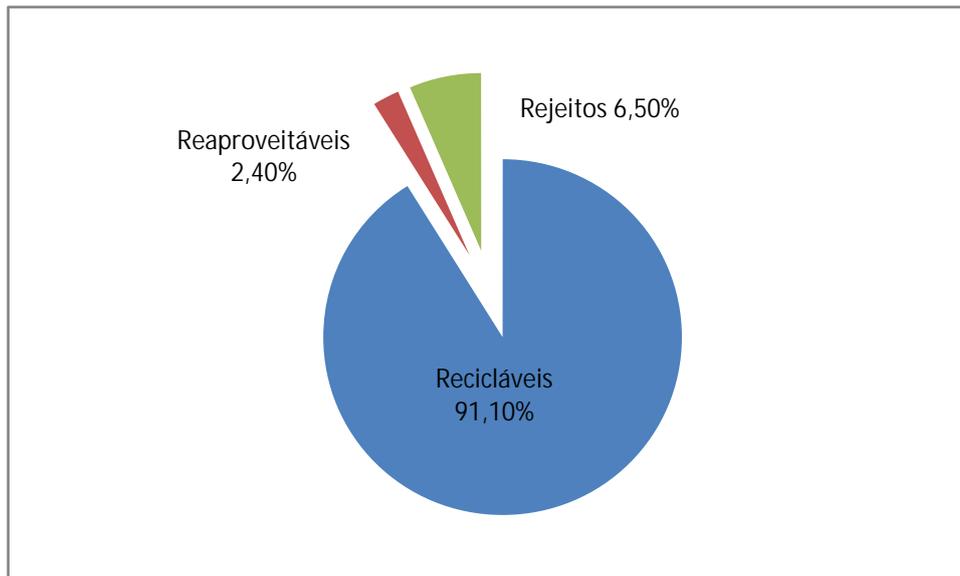


Figura 16: Porcentagem de resíduos recicláveis, reaproveitáveis e rejeitos coletados pela coleta seletiva.

Através dos dados coletados nas cooperativas descritos no Item 4.1.2, além dos resíduos que não são comercializados, existem alguns resíduos que, embora recicláveis, são difíceis de vender sazonalmente ou sempre. Isso geralmente ocorre devido a quantidade e a qualidade de suas matérias-primas, ou a abundância de outros resíduos mais convenientes para os recicladores. Esses resíduos são *Poliestireno Expandido* (isopor), *Outros Plásticos (rígido e filme)* e *PET termoformado* (blísteres, caixas, etc.)

Se considerarmos que estes resíduos descritos não são comercializados pelas cooperativas a porcentagem de rejeitos aumenta em 2%, conforme pode ser observado na Figura 17.

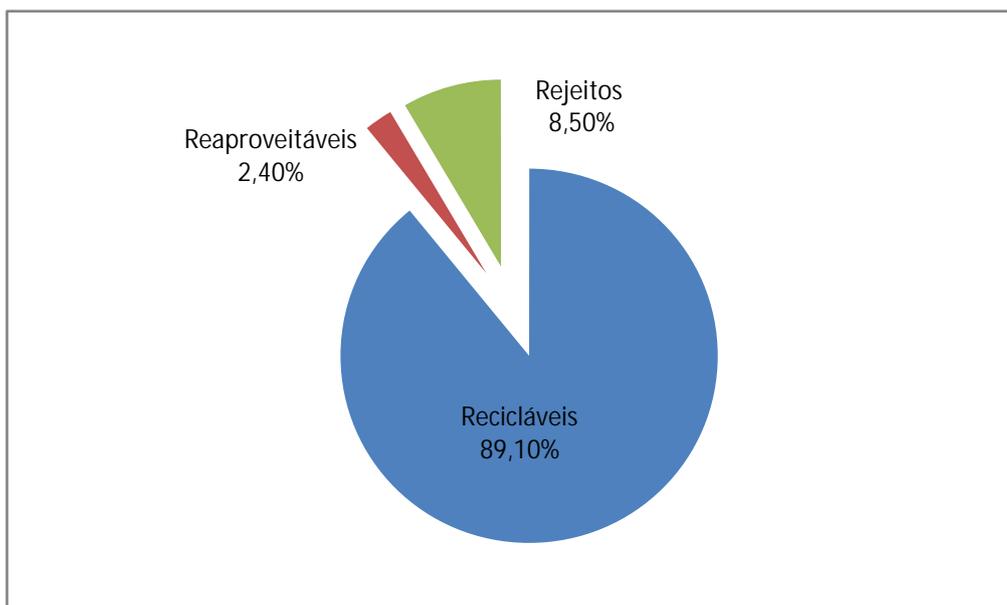


Figura 17: Porcentagem de rejeitos considerando os polímeros que possuem dificuldade de comercialização coletados pelo sistema de coleta seletiva.

Sendo assim é possível observar que os plásticos rígidos *PEAD*, *PP*, *PS*, *PEBD*, *PVC* e *PET* possuem mercado de reciclagem mais desenvolvido na região, pois sua venda é relativamente fácil. Inclusive, o *PET* é o tipo de plástico mais descartado na coleta seletiva (em termos de peso e volume), geralmente sob a forma de garrafas, incluindo embalagens de óleo de cozinha (*PET* óleo).

Os itens *outros plásticos filmes e rígidos* agruparam os plásticos que não foram possíveis de serem identificados pela equipe.

As Cooperativas comercializam os plásticos filmes *PP*, *PEAD* e *PEBD* juntos, e como não há a segregação destes materiais pelos cooperados considerou-se que os *outros plásticos filmes* também são comercializados pelas cooperativas, tais plásticos representam 4,4% em massa e 15,4% em volume.

Estes resíduos são comercializados juntos pois é a única possibilidade disponível na região, e desta maneira conseguem mercado para a destinação de uma quantidade superior de material,

Apesar dos *Poliestirenos Expandidos* apresentarem densidade baixa e necessidade de armazenamento em longo prazo para ser viável sua reciclagem, e ter comercialização difícil na região, este resíduo é

encaminhado para a coleta seletiva pela população e existem técnicas de reciclagem disponíveis no mercado (CHAGAS; BERRETA-HURTADO; GOUVEA, 2011).

Já os *plásticos termofixos* constituem a classe dos rejeitos e demonstra que a população que participa do sistema de coleta seletiva ainda possui dúvidas em relação a quais resíduos possuem mercado de reciclagem e são triados e comercializados pelas cooperativas.

A Tabela 20 apresenta a composição dos resíduos recicláveis e reutilizáveis de Sorocaba divididos em sete itens (em vez de 41 da Tabela 19), bem como os resíduos coletados diariamente, em peso e volume.

Tabela 20: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica da Coleta Seletiva de Sorocaba, e a estimativa de coleta diária em massa e volume, agrupada em 7 itens.

Itens	Composição Gravimétrica (%)	Erro ^a (%)	Estimativa de Coleta Diária (kg)	Composição Volumétrica (%)	Erro ^a *(%)	Estimativa de Coleta Diária (m ³)
Papel (incluindo papelão)	34,3	10,4	4.032,0	37,8	5,1	121,3
Plástico (Filme e Rígido)	18,9	3,3	2.217,8	40,9	7,2	131,3
Vidro	17,0	12,3	1.995,9	2,8	1,9	8,9
Metal	12,4	7,6	1.457,9	2,9	1,9	9,2
Embalagem Longa-Vida	4,9	1,5	576,2	7,9	1,2	25,3
Resíduos Elétrico e Eletrônico	3,7	4,9	435,6	0,9	1,6	2,9
Sapatos e Tecidos em Bom Estado	2,3	2,3	275,2	1,0	1,5	3,1
Total	93,5		1.0990,6	94,1		301,9

^aErro= $(t_{90\%} \cdot D / \sqrt{n})$, onde $t_{90\%}=2,015$; D=desvio padrão; n=6)

Como foi mencionado, durante a apresentação dos resultados da Tabela 19 o agrupamento de vários tipos de resíduos num único grupo permitiu a redução de erros (inferiores à média). A variabilidade das amostras, no entanto, ainda pode ser considerada alta e pode ser explicada por diferenças de classe social, nível de educação e cultura entre as regiões do município de Sorocaba. As diferenças nos hábitos de consumo e compreensão sobre quais materiais

são recicláveis, também podem influenciar o tipo e a quantidade de resíduos a serem enviados para reciclagem pela população.

Observa-se na Tabela 20 que a ênfase deve ser dada ao *papel* (incluindo *papelão*), que representa o item com a maior incidência no resíduo reciclável, em termos de massa. O *papel* corresponde a cerca de 4 toneladas ou 121 m³/dia, independentemente de sua classificação pela equipe de triagem como sendo em mau (com excesso de impurezas e umidade) ou bom estado. Os papéis também são os resíduos mais comuns na coleta seletiva de Mashhad, no Irã, representando 51% do total separado (FARZADKIA, 2012).

Outro material que merece destaque são os *plásticos*, que aparecem em segundo lugar em termos de massa e equivalem a cerca de 2,2 toneladas e 131 m³/dia, na forma de filmes (sacos) e plásticos rígidos (o resto). Juntos, *papéis* e *plásticos* representam quase 80% em volume dos resíduos de coleta seletiva de Sorocaba e mais de 50% em massa. Na pesquisa realizada em 20 municípios brasileiros, os papéis representam 45,9% e os plásticos 15,6% em massa, ou seja, 61,5% no total em 2012 (CEMPRE, 2013b).

Além de *papéis* e *plásticos*, completam a lista dos materiais mais comuns em programas de coleta seletiva os *vidros* (17% em massa e 2,7% em volume, cerca de 2 toneladas e 9 m³ diários) e os *metais* (12,5% em massa e 2,9% em volume, aproximadamente 1,5 toneladas e m³ diários).

Embora compostas de alumínio, plástico e papel, as *embalagens longa-vida* (aproximadamente 560 kg diários) foram somadas ao conjunto de resíduos recicláveis/reaproveitáveis por possuírem comércio relativamente fácil na região. Geralmente as *embalagens longa-vida* são compradas por recicladores de papel, o qual representa cerca de três quartos da massa da embalagem. O restante, composto por plástico e alumínio geralmente é prensado a quente para a fabricação de telhas chamadas “ecológicas”.

Os *Resíduos Eletroeletrônicos* (cerca de 430 kg diários) também foram considerados recicláveis (computadores, aparelhos de som, mouse, controle remoto, teclado, equipamentos elétricos e eletrônicos em geral), pois há no município um sistema de recolhimento, desmontagem, separação e comercialização dos mesmos.

O cruzamento dos resultados da Tabela 16 e Tabela 19 pode trazer informações importantes numa eventual expansão do sistema de coleta seletiva no município. Através da Equação 7 onde $m_{per\ capita\ médio}$ é a massa dos resíduos por pessoa (Tabela 16) e P é a população estimada para o ano de 2011 (IBGE, 2010b), é possível observar que no ano o município descartou (D) 363,2 toneladas/dia de resíduos sólidos domésticos.

$$D = m(per\ capita\ médio) * P \quad (7)$$

Segundo dados oficiais, Sorocaba destinou ao aterro sanitário nesse mesmo ano uma média diária de 411,4 toneladas de resíduos sólidos, não somente domiciliares (CETESB, 2012).

O total de resíduos domésticos gerados por dia no município (m_{total}) considerando a massa encaminhada para o aterro, a massa coletada pelo sistema de coleta seletiva (m_c) e os rejeitos (m_r) é determinado conforme a Equação 08 e corresponde a 422,4 t/dia:

$$m_{total} = m_{aterro} + m_c - m_r \quad (8)$$

Onde: $m_{aterro} = 411,4$ t/dia;

m_c = massa dos resíduos coletado pelo sistema de coleta seletiva, 11,8 t/dia (Equação 1);

m_r = massa dos resíduos destinados a coleta seletiva e encaminhado pelas cooperativas para o aterro, 760 kg/dia (massa dos rejeitos, Tabela 19)

Através da Equação 9 é possível concluir que cerca de 2,6% de todos os resíduos de Sorocaba são “desviados” (R_d) do aterro sanitário pelo atual sistema de coleta seletiva. Este resultado se encontra dentro do esperado por Fehr *et al.* (2009), que afirmam que sistemas de coleta seletiva tradicionais são capazes de desviar, no máximo, 15% dos resíduos encaminhados a aterros sanitários. Porém, quando se considera somente a população atendida pela coleta seletiva, o valor de 30% de desvio supera o determinado pelos autores.

$$R_d = \frac{m_c - m_r}{m_{total}} (\%) \quad (9)$$

Com este resultado e considerando a massa 363,2 toneladas/dia (Equação 7) de resíduos sólidos domésticos gerados por dia, pode-se estimar que, se toda a população participasse da coleta seletiva, seria possível desviar do aterramento cerca de 109 toneladas de resíduos a cada dia (Equação 10).

$$M = 363,2 * 30\% \quad (10)$$

Onde: 363,2 t/dia é o total gerado de resíduos sólidos domiciliares;
30% é a porcentagem que a população que participa da coleta seletiva tem o potencial de desviar do aterramento

Ao aplicar esse possível aumento de mais de 10 vezes (Equação 11) na quantidade de resíduos coletada diariamente em termos de massa, à cada item da caracterização gravimétrica da Tabela 19 (ou seja, multiplicar cada item da quarta coluna da Tabela 19 por 10) pode-se estimar a quantidade que seria coletada se todos os habitantes do município participassem de uma forma semelhante.

$$F = \frac{109}{(mc - mr)} \quad (11)$$

Onde: F= fator de multiplicação para ser aplicado no caso hipotético de participação de toda a população.

A Equação 12 foi usada para calcular a densidade (d) dos resíduos de coleta seletiva, que são baseadas em estimativas do total coletado diariamente apresentada na Tabela 19 (11.754 kg e 321 m³)

$$d = \frac{m(\text{estimativa da coleta diária})}{v(\text{estimativa da coleta diária})} \quad (12)$$

Através da densidade de 36,6 kg/ m³ descrito na Equação 12 é possível encontrar que a ampliação para 109 toneladas significaria um montante de

cerca de 3.002 m³ de resíduos diários. Dessa forma, assim como no caso dos valores de massa, as estimativas de volume de cada resíduo podem ser feitas multiplicando-se por 10 os dados da última coluna da Tabela 19. Nesse caso, ressaltam-se os problemas já discutidos anteriormente com relação à cálculos volumétricos (formas de acondicionamento e compactação).

Todas essas estimativas, em especial as gravimétricas, podem ser utilizadas no planejamento visando a coleta seletiva de quantidades cada vez maiores. Para as cooperativas, quantidades maiores de cada resíduo talvez possam significar uma possível eliminação de intermediários ou mesmo abrir mercados para resíduos que apresentam dificuldades ou que não são negociados, como as *borrachas*. Pode ainda, estimular inclusive o próprio beneficiamento de resíduos, para a venda de produtos manufaturados, com maior valor agregado. Por outro lado, mantendo-se o mesmo sistema de coleta seletiva e a mesma produtividade atual do sistema, verifica-se que a infraestrutura atual de espaço, número de caminhões e número de cooperados também deveria ser incrementada em aproximadamente dez vezes.

5.1.3. Caracterização dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba (Coleta Seletiva e Coleta Comum Misturados)

A Tabela 21 apresenta a composição gravimétrica e volumétrica de todos os resíduos coletados no município de Sorocaba, considerado as coletas comum e seletiva. Para a elaboração da Tabela foram considerados os resíduos coletados e não coletados pelo sistema de coleta seletiva implantado no município. As estimativas de massa e volume foram realizadas conforme as médias *per capita* da Tabela 16 multiplicadas pela população do município e resultaram em, respectivamente, cerca de 363 toneladas e 3088 m³ diários. A proximidade deste último valor com o volume estimado de coleta seletiva no caso de todo o município participar (3.002 m³) reforça a dificuldade de utilizar os dados volumétricos para eventuais projeções, sem que as devidas ressalvas sejam feitas. No caso, as duas coletas (que geraram os dados da Tabela 19 e Tabela 21) foram feitas a partir de acondicionamentos diferentes, pois na coleta

seletiva a compactação era inclusive desencorajada, para facilitar a separação posterior.

Tabela 21: Composição Percentual Gravimétrica e Volumétrica dos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba, com os respectivos erros e a estimativa de descarte diário em massa e volume.

Itens	Composição Gravimétrica (%)	Erro ^a (%)	Descarte diário (t)	Composição Volumétrica (%)	Erro ^a (%)	Descarte diário (m3)
Restos de comida	41,4	4,1	150,4	6,6	1,9	204,2
Lixo de jardim	6,8	3,0	24,6	3,7	2,5	115,0
Fezes de Animais	2,9	1,2	10,6	0,6	0,3	19,7
Lixo de Banheiro	2,7	0,4	9,9	3,1	1,3	96,0
Fraldas	3,2	1,3	11,6	1,2	0,8	38,0
Tecidos em Bom Estado	2,0	1,5	7,1	1,5	0,9	45,3
Tecidos em Mau Estado	0,8	0,3	2,9	0,8	0,3	25,5
Calçados em Bom Estado	0,3	0,3	1,0	0,1	0,2	2,9
Calçados em Mau Estado	0,2	0,1	0,7	0,1	0,1	2,0
Papel em Bom Estado	5,6	4,3	20,5	6,2	3,2	192,4
Papel em Mau Estado	3,2	1,0	11,7	2,2	0,4	66,7
Papel Kraft	0,7	0,4	2,7	2,5	1,4	75,8
Papelão	5,8	1,7	21,0	19,0	4,2	586,7
Longa Vida	1,7	0,5	6,0	6,0	1,4	186,8
Embalagens mistas (papel e plástico)	0,2	0,2	0,9	0,3	0,1	8,8
Embalagens Metalizadas	0,4	0,1	1,6	2,6	0,5	81,3
Latas de Alumínio	0,7	1,1	2,6	0,4	0,3	13,0
Alumínio (outros)	0,2	0,1	0,6	0,3	0,1	8,7
Latas de Aço	1,0	0,6	3,5	1,0	0,8	30,2
Outros Metais Ferrosos	0,4	0,5	1,5	0,2	0,3	6,8
Fios de Cobre	0,8	1,5	2,8	0,5	1,1	16,8
Vidros intactos	4,8	2,1	17,4	1,8	0,9	55,4
Vidros quebrados	0,6	0,4	2,0	0,1	0,1	2,7
PET (incolor)	1,4	0,3	5,2	6,0	0,9	185,6
PET (colorido)	0,3	0,1	1,1	1,1	0,8	35,5
PET (óleo)	0,3	0,2	1,0	0,9	0,5	26,4
PET (termoformado)	0,3	0,1	0,9	1,7	0,5	52,0
PEAD (filme)	2,0	0,4	7,1	8,3	0,4	254,8
PEAD (rígido)	1,0	0,2	3,5	2,8	0,9	85,3

Itens	Composição Gravimétrica (%)	Erro ^a (%)	Descarte diário (t)	Composição Volumétrica (%)	Erro ^a (%)	Descarte diário (m3)
PVC	0,4	0,6	1,6	0,7	0,8	22,6
PEBD (filme)	1,1	0,3	3,9	5,5	1,1	170,2
PEBD (rígido)	0,1	0,1	0,2	0,1	0,3	4,6
PP (filme)	0,4	0,0 ^b	1,4	3,0	0,3	91,4
PP (rígido)	0,6	0,3	2,0	1,5	0,6	45,3
Poliestireno Expandido	0,2	0,1	0,8	1,8	1,0	56,4
Poliestireno (rígido)	0,3	0,1	1,1	0,9	0,7	28,7
Outros Plásticos (rígidos)	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b	0,1
Outros Plásticos (filmes)	0,7	0,6	2,6	0,9	0,7	28,3
Polímeros Termofixos	0,4	0,1	1,3	1,3	0,6	41,5
Borrachas	0,0 ^b	0,1	0,2	0,0 ^b	0,0 ^b	0,2
Resíduos Eletroeletrônicos	0,6	0,9	2,1	0,5	0,9	14,8
Madeira	0,0 ^b	0,0 ^b	0,1	0,0 ^b	0,0 ^b	0,0 ^b
Gesso	0,2	0,4	0,8	0,0 ^b	0,1	1,5
Cerâmica (argilosas e porcelanas)	0,1	0,2	0,3	0,0 ^b	0,0 ^b	0,3
Resíduos de Construção Civil	1,8	2,7	6,5	0,2	0,3	6,3
Resíduos Potencialmente Perigosos	0,5	0,2	1,9	0,3	0,1	8,1
Itens Eventuais	1,1	0,4	3,9	1,5	1,9	47,2
TOTAL	100,0		363,2	100,0		3088,0

^a Erro = $(t_{90\%} \cdot D) / \sqrt{n}$, onde $t_{90\%} = 2,015$; D = desvio padrão, n = 6)

^b valores menores que 0,05%

Analisando a Tabela 21, pode-se considerar novamente que (assim como na Tabela 19) existem alguns materiais que não são recicláveis ou reaproveitáveis, ou não possuem mercado de comércio desenvolvido na região. Além desses itens mencionados nas discussões da Tabela 19, foram também separados, *Lixo de jardim*, *Fezes de Animais*, *Lixo de Banheiro*, *Fraldas*, *Madeira*, *Gesso* e *Cerâmica* (Tabela 22), os quais também podem ser enquadrados como os anteriores, porém não foram encontrados nos resíduos de coleta seletiva. Isso demonstra que a população que participa da coleta seletiva possui conhecimento sobre as propriedades desses resíduos.

Tabela 22: Resíduos que não são recicláveis, reaproveitáveis ou não possuem mercado de comércio desenvolvido na região

Itens	Composição Gravimétrica (%)	Composição Volumétrica (%)
Restos de Comida	41,4	6,6
Lixo de jardim	6,8	3,7
Fezes de Animais	2,9	0,6
Lixo de Banheiro	2,7	3,1
Fraldas	3,1	1,2
Tecidos em Mau Estado	0,8	0,8
Calçados em Mau Estado	0,2	0,1
Embalagens Mistas	0,2	0,3
Embalagens Metalizadas	0,4	2,6
Resíduos Potencialmente Perigosos	0,5	0,3
Borrachas	0,0 ^b	0,0 ^b
Termofixos	0,4	1,3
Madeira	0,0 ^b	0,0 ^b
Gesso	0,2	0,0 ^b
Cerâmica	0,1	0,0 ^b
Itens Eventuais	1,1	1,5
Total	60,8	22,1

^b valores menores que 0,05%

Dessa forma, de acordo com a Tabela 22, 60,8% em massa e 22,8% em volume, o que corresponderia a cerca de 220 toneladas e 704 m³ diários de resíduos, não são recicláveis ou reaproveitáveis, ou não há mercado para comercialização destes. Dessa forma, “sobram” 143,2 toneladas de resíduos recicláveis (com mercado) e reaproveitáveis nos resíduos de Sorocaba, número acima das 109 toneladas calculadas que seria possível de se obter com a expansão da coleta seletiva para todo o município (Equação 10). Com base nessa diferença, pode-se sugerir que, mesmo com a expansão da coleta seletiva para todo o município, 34,2 toneladas diárias de resíduos recicláveis/reaproveitáveis estariam sendo descartados erroneamente pela população e sendo encaminhados indevidamente para aterramento. Campanhas de esclarecimento poderiam contribuir para melhoria da efetividade da separação na fonte e, a partir desta, também da coleta seletiva.

Outra forma de ampliar os índices da coleta seletiva no município visando encaminhar cada vez menos resíduos para aterramento é tentar viabilizar a reciclagem/reaproveitamento dos outros resíduos. Itens como *Restos de Comida*, *Lixo de Jardim*, *Embalagens Mistas* e *Metalizadas*,

Borrachas, *Gesso* e até mesmo os *Resíduos Potencialmente Perigosos* podem ser reciclados se aplicadas as técnicas corretas e se houver mercado para seus produtos finais. Por exemplo, as *Cerâmicas*, devidamente separadas, podem ter o mesmo destino que os *Resíduos de Construção Civil* (compostos majoritariamente de materiais cerâmicos). Em Sorocaba há uma usina que tritura parte dos resíduos de construção civil do município, aplicando o produto na própria construção civil (PRESTES *et al.*, 2012).

Somente a implantação de um sistema de compostagem no município, que reciclasse todos os *Restos de Comida* e o *Lixo de Jardim* para a produção de composto orgânico, evitaria o aterramento de cerca de 48% em massa dos resíduos do município (aproximadamente 174 toneladas diárias). Isso, porém, ainda não é realidade no Brasil que, ao contrário de alguns países desenvolvidos, não possui legislações rígidas para o reaproveitamento destes resíduos (comumente chamados de *matéria orgânica*) no planejamento de programas oficiais de coleta seletiva.

Puna e Baptista (2008) citam a compostagem como uma solução adequada para os resíduos sólidos orgânicos e definem a dificuldade na triagem e a necessidades de eliminação dos maus odores gerados no processo através da lavagem e biofiltração dos gases gerados durante o processo.

Segundo Gallardo *et al.* (2012), em 6 dos 8 diferentes sistemas de coleta seletiva existentes em municípios de 5.000 a 50.000 habitantes da Espanha há a coleta específica de *matéria orgânica*. Os autores determinaram, para estes 103 municípios, a composição dos resíduos domiciliares a partir da média das composições encontradas nos oito sistemas de coleta, o que forneceu, como resíduo mais gerado, a *matéria orgânica* com 37%, seguida de papel/papelão (18%) e plásticos (9%).

Assim como em Sorocaba e nos municípios espanhóis, a *matéria orgânica* também é o resíduo de maior percentual de descarte em diversas cidades, conforme pode ser observado na Tabela 23 abaixo.

Tabela 23: Porcentagem de matéria orgânica descartada em outras cidades

Cidade (País)	Matéria Orgânica (%)	Autor
Sisimiut (Groenlândia)	43	EISTED & CHRISTENSEN, 2011
Guadalajara (México)	53	BERNACHE-PÉREZ <i>et al.</i> , 2001
Botucatu (Brasil)	74	OLIVEIRA <i>et al.</i> , 1999
Indaiatuba (Brasil)	54	MANCINI <i>et al.</i> , 2007
Morelia (México)	56	BUENROSTRO, BOCCO e BERNACHE, 2001
Mostaganen (Argélia)	65	GUERMOUD <i>et al.</i> , 2009
Phnom Penh (Camboja)	63	SENG <i>et al.</i> , 2010
Erbil (Iraque)	79	AZIZ <i>et al.</i> , 2011

Esses dados poderiam funcionar como um estímulo ao poder público e iniciativa privada em buscar estabelecer condições de coleta e reciclagem para esses resíduos e comércio para seus produtos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, legislação aprovada em 2010 no Brasil, impõe a obrigatoriedade de iniciativas nesse sentido, bem como outras relativas à implantação e/ou ampliação da coleta seletiva de outros resíduos. Estas devem ser compromissadas em planos municipais, estaduais e federal específicos, de modo que a não apresentação destes (prazo inicial: 2012) e o seu não cumprimento (num horizonte de 4 anos) pode acarretar em prejuízo e sanções para a administração pública (BRASIL, 2010).

Além de composto orgânico, parte dos restos de comida poderia ser utilizada na fabricação de ração animal, respeitadas as propriedades requeridas para essa finalidade (FEHR *et al.*, 2009). Outra solução viável seria a biodigestão anaeróbia através de reatores contínuos ou em batelada, tais reatores são compostos basicamente por um leito filtrante, coletores de biogás e percolados, a necessidade de resíduos orgânicos segregados corretamente e a adição de lodos de tratamento de efluentes domésticos ou outros resíduos que contam com a presença de microorganismos que facilitem a digestão da matéria orgânica dificultam a utilização em larga escala desta técnica (LEITE; LOPES; PRASAD, 2001; LEITE *et al.*, 2008).

Sendo assim, se considerarmos que *Restos de Comida, Lixo de Jardim, Embalagens Mistas e Metalizadas, Borrachas, Gesso, Resíduos Perigosos, Cerâmica* podem ser recicladas se aplicarmos técnicas corretas e se houver mercado para seu produto final, a partir da Tabela 21, pode se considerar que

apenas 11,2% em massa (Figura 18) e 8,6% em volume (37 toneladas e 265,6 m³, respectivamente) não possuem potencial de reaproveitamento ou reciclagem (*Fezes de Animais, Lixo de Banheiro, Fraldas, Tecidos e Calçados em mau estado, Termofixos e Itens eventuais*).

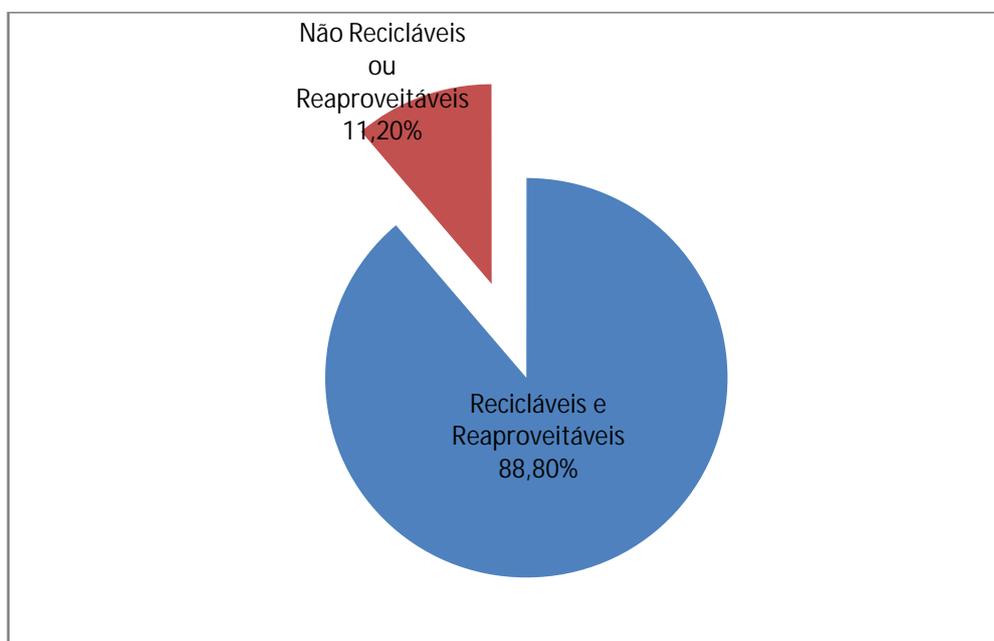


Figura 18: Porcentagem de materiais não recicláveis ou reaproveitáveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba

Após a *matéria orgânica*, o resíduo mais descartado em Sorocaba é o *papel/papelão*, com 15,3% e posteriormente os *plásticos*, com 9,1%. Em Mostaganen, Morelia e Sisimiut o *papel/papelão* também é o resíduo mais descartado após a *matéria orgânica* (igualmente, os *plásticos* vem em terceiro lugar), porém em Phnom Penh, Erbil, Indaiatuba e Botucatu o *papel/papelão* é o terceiro resíduo mais descartado, ficando atrás da *matéria orgânica* e dos *plásticos*. Deve-se considerar, entre outras diferenças, que os dados foram obtidos em épocas distintas umas das outras, o que dificulta comparações quantitativas mais precisas (EISTED e CHRISTENSEN, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 1999; MANCINI *et al.*, 2007; BUENROSTRO, BOCCO e BERNACHE, 2001; GUERMOUD *et al.*, 2009; SENG *et al.*, 2010; AZIZ *et al.*, 2011).

Por estarem presentes em quantidades relativamente grandes nos resíduos sólidos domiciliares e por apresentarem poder calorífico bastante interessante, os *papéis* (incluindo *papelão*) e *plásticos* são os resíduos mais

visados quando se fala em incineração de resíduos domiciliares visando o aproveitamento energético. Outros resíduos como *Restos de Comida, Lixo de Jardim, Fezes de Animais, Fraldas, Tecidos e Calçados em Bom Estado, Embalagens Longa Vida, Mistas e Metalizadas, Borrachas, Resíduos Eletroeletrônicos, Madeira, Resíduos Potencialmente Perigosos* e os *Itens Eventuais* (Figura 19) são constituídos de uma considerável porção de materiais de alto poder calorífico (ou os possuem em sua totalidade) e poderiam ser igualmente queimados visando obtenção de energia (considerações sobre a umidade intrínseca de cada resíduo e suas implicações na queima destes serão feitas posteriormente).

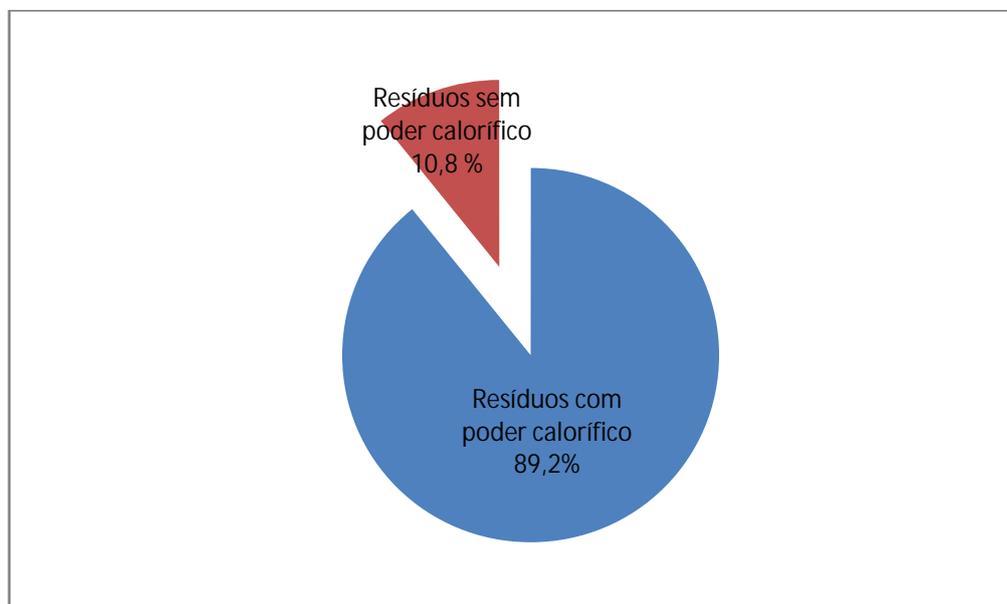


Figura 19: Porcentagem de materiais que possuem poder calorífico nos resíduos sólidos de Sorocaba

Porém, como a maioria destes resíduos possui possibilidades concretas de recuperação do material e/ou do produto, afirmações mais precisas a respeito da viabilidade ambiental da queima ou reciclagem necessitam de estudos mais detalhados.

Assim, excluindo-se os *Tecidos e Calçados em Mau Estado*, bem como os *Polímeros Termofixos*, considerou-se que apenas as *Fezes de Animais, Lixo de Banheiro, Fraldas e Itens Eventuais* sejam resíduos que devem realmente ser aterrados. Ressalva-se que cada um deles possui possibilidades de recuperação, porém as dificuldades intrínsecas de processo e os próprios

impactos ambientais associados tornam isso bastante improvável. As *Fezes de animais*, por exemplo, poderiam entrar junto com *Restos de Comida* e *Lixo de Jardim* em sistemas de compostagem, porém a presença no produto final de coliformes fecais certamente restringiria o uso (SDA, 2006). Dessa forma, considerando apenas *Fezes de Animais*, *Lixo de Banheiro*, *Fraldas* e *Itens Eventuais*, deveriam ser aterrados somente 9,9% em massa de todos os resíduos do município, o que representa 35,9 toneladas diárias. Em Indaiatuba, em estudo utilizando metodologia muito semelhante, determinou-se em 9% a quantidade de resíduos que deveria ser aterrada (MANCINI *et al.*, 2007).

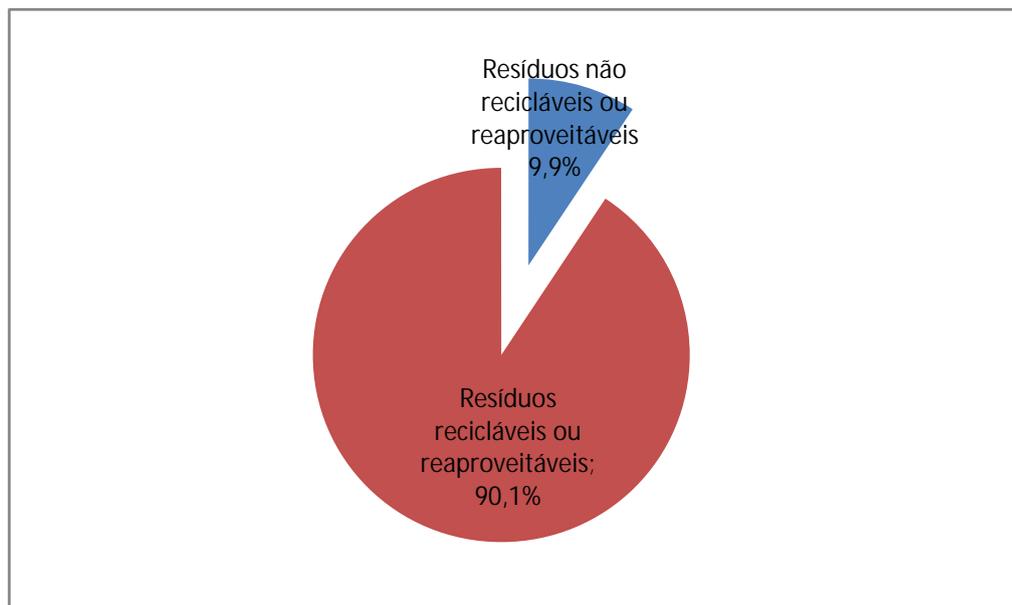


Figura 20: Porcentagem dos materiais recicláveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba

Com relação aos *resíduos potencialmente perigosos*, o pequeno percentual observado (0,5% em massa) sugere uma dispersão entre os outros resíduos dentro de um aterro sanitário, diminuindo as chances de problemas relacionados a contaminação que poderia haver se estivessem concentrados. Porém, *Lixo de banheiro*, *fraldas* e *fezes de animais* também podem ser considerados potencialmente perigosos, o que eleva os índices para 9,3% em massa e 5,2% em volume e significa o aterramento diário de 33,8 toneladas e 160,6 m³.

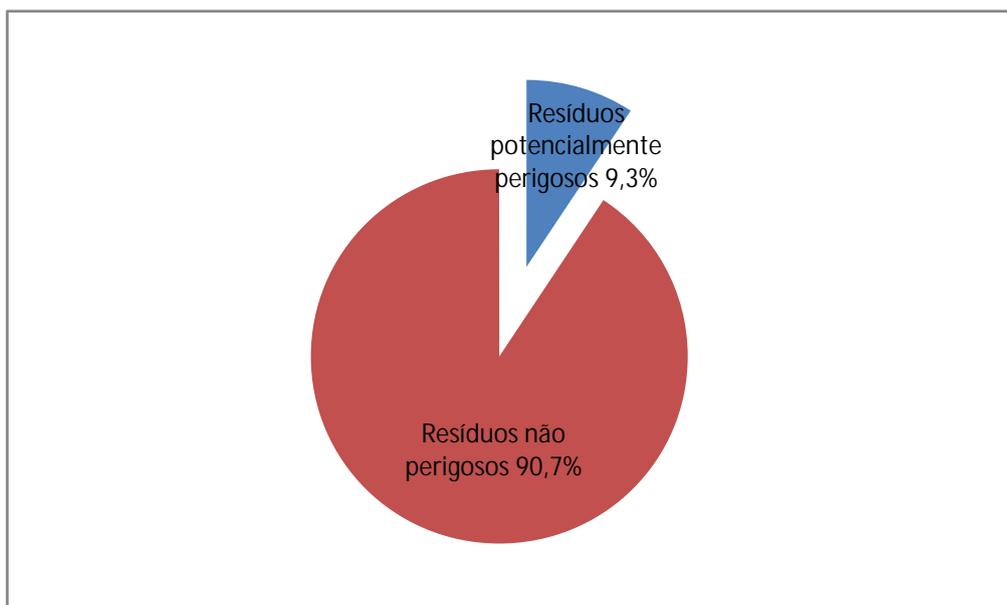


Figura 21: Porcentagem dos materiais com potencial de periculosidade presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba

Ainda pela Tabela 21 observa-se que o somatório de todos os resíduos biodegradáveis descartados pela população (*restos de comida, fezes de animais, lixo de jardim, lixo de banheiro, papéis, tecidos e madeira*) compõe 71,9% dos resíduos gerados em massa e 46,2% em volume, ou seja, 261,1 toneladas e 1426,7 m³ (Figura 22).

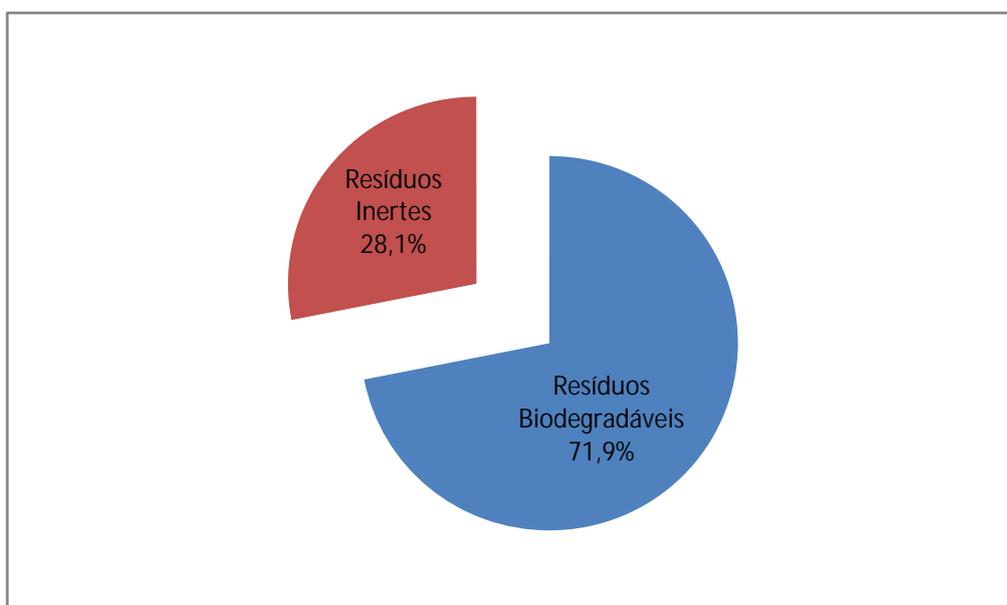


Figura 22: Porcentagem de materiais biodegradáveis presentes nos resíduos sólidos de Sorocaba

Essas informações podem ser úteis para fins de dimensionamento da quantidade de biogás possível que pode ser gerada pela digestão anaeróbia dos resíduos (UNFCCC, 2012; JEON *et al.*, 2007), e que poderia inclusive traduzir-se em créditos de carbono para o aterro. Ou então para obter informações a respeito do poder calorífico de resíduos orgânicos e analisar a viabilidade da incineração com recuperação de energia (FRUERGGAARD & ASTRUP, 2010). Apesar dessa possibilidade, a grande quantidade de resíduos biodegradáveis e potencialmente perigosos existentes mostra também como não é simples a tarefa de realizar o acondicionamento final seguro de resíduos sólidos domiciliares.

Outro componente que torna o processo de aterramento mais complexo, bem como a reciclagem de alguns materiais, é a umidade intrínseca de cada resíduo. Todas as Tabelas apresentadas até o momento trazem resultados em base úmida, o que representa a realidade da coleta (comum e seletiva) e disposição final do município. Na Tabela 24 observa-se, todos os itens separados, o percentual de umidade, de impurezas e do material presente nos resíduos, a massa total de cada classe de resíduo em toneladas (descontadas a umidade e as impurezas), além de apresentar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares considerando a umidade e as impurezas como itens presentes nos resíduos sólidos domiciliares, ou seja, os resultados da Tabela 21 em base seca.

Tabela 24: Descarte diário de umidade (%), impurezas (%) e material (% e toneladas) existentes em cada classe dos resíduos, composição gravimétrica em "base seca" considerando a umidade e as impurezas como itens presentes nos resíduos sólidos domiciliares.

Item	Umidade	Impurezas	Material presente (descontando umidade e impurezas)	Material Presente (descontando umidade e impurezas)	Composição Gravimétrica dos Resíduos em "Base Seca"
	(%)	(%)	(%)	(t)	(%)
Restos de comida	64,9	1,1	34	50,9	14,0
Lixo de jardim	43,6	2,8	53,6	13,0	3,6
Fezes de Animais	75	0	25	2,5	0,7
Lixo de Banheiro	21,3	16,6	62,1	6,1	1,7
Fraldas	54,4	11,5	34,1	3,8	1,1
Tecidos em Bom Estado	14,9	9,9	75,1	5,5	1,5
Tecidos em Mau Estado	22,4	13,6	64,1	1,9	0,5
Calçados em Bom Estado	0,7	0,1	99,2	1,1	0,3
Calçados em Mau Estado	17,3	0,2	82,5	0,6	0,2
Papel em Bom Estado	12,7	6,9	80,4	16,6	4,6
Papel em Mau Estado	35,1	7,5	57,5	6,7	1,8
Papel Kraft	21,3	5,9	72,8	2,1	0,6
Papelão	19,4	9,3	71,3	15,0	4,1
Longa Vida	18,1	5,4	76,5	4,7	1,3
Embalagens mistas (papel e plástico)	14,9	1,7	83,4	0,9	0,3
Embalagens Metalizadas	15,4	5,8	78,9	1,1	0,3
Latas de Alumínio	10,6	0,9	88,5	2,2	0,6
Alumínio (outros)	23	20,9	56,1	0,4	0,1
Latas de Aço	5,7	14,9	79,3	2,9	0,8
Outros Metais Ferrosos	0,4	0,2	99,5	1,4	0,4
Fios de Cobre	0	0	100	2,9	0,8
Vidros intactos	1,7	1	97,3	17,0	4,7
Vidros quebrados	0,7	0,5	98,8	2,2	0,6
PET (incolor)	20,6	5,6	73,8	3,8	1,0
PET (colorido)	15,1	2,9	82,1	0,9	0,2
PET (óleo)	5,2	10,5	84,3	0,9	0,3
PET (termoformado)	9,7	5	85,3	0,9	0,3
PEAD (filme)	31,1	13	56	4,1	1,1

Item	Umidade	Impurezas	Material presente (descontando umidade e impurezas)	Material Presente (descontando umidade e impurezas)	Composição dos Resíduos "Base Seca"
	(%)	(%)	(%)	(t)	(%)
PEAD (rígido)	13,3	6,7	80	2,9	0,8
PVC	2,8	1,1	96,2	1,4	0,4
PEBD (filme)	17,4	4	78,6	3,1	0,9
PEBD (rígido)	2	0,3	97,7	0,4	0,1
PP (filme)	8,5	7,1	84,3	1,2	0,3
PP (rígido)	10,6	19,2	70,2	1,5	0,4
Poliestireno Expandido	15,2	6,3	78,4	0,6	0,2
Poliestireno (rígido)	20,5	10	69,5	0,8	0,2
Outros Plásticos (rígidos)	3,7	16,8	79,5	2,0	0,6
Outros Plásticos (filmes)	15,5	2,9	81,6	1,2	0,3
Polímeros Termofixos	0	0	100	0,0	0,0
Borrachas	5,2	6,6	88,2	0,0	0,0
Resíduos Eletroeletrônicos	2,4	0	97,6	2,1	0,6
Madeira	12,3	0,1	87,6	0,0	0,0
Gesso	33,6	0	66,4	0,5	0,1
Cerâmica (argilosas e porcelanas)	0,1	0,1	99,9	0,4	0,1
Resíduos de Construção Civil	2,8	0	97,2	6,4	1,7
Resíduos Potencialmente Perigosos	5,3	8,9	85,8	1,6	0,4
Itens Eventuais	16,8	9	74,2	3,0	0,8
Total de Resíduos				201,1	55,4
Umidade				146,4	40,3
Impurezas				15,7	4,3
TOTAL				363,2	100,0

Observa-se, pela Tabela 24 que o item água (umidade) com 40,3% representa o maior valor comparado aos demais itens listados. Este valor está dentro da faixa esperada para resíduos sólidos brasileiros (MACIEL & JUCÁ, 2011) e relativamente próximo dos 47% registrados para os resíduos de Guangzhou, China (CHUNG e POON, 2001). As mais de 146 toneladas de umidade descartadas diariamente nos resíduos de Sorocaba significam mais de 146 mil litros de água sendo enterrados a cada dia. Como já comentado, isto é mais um fator de dificuldade para o confinamento seguro de resíduos,

uma vez que esta água (somada com a da chuva) tende a arrastar outros resíduos (potencialmente perigosos ou não), percolar e até mesmo infiltrar pelo solo, caso não haja uma impermeabilização bem feita. Num aterro sanitário, essa fração líquida (chorume) deve ser coletada e tratada.

A impregnação de umidade em alguns itens já era esperada, como no caso de *restos de comida*, *lixo de jardim*, *fezes de animais* e *fraldas* (43 a 75%). Outros resíduos que merecem destaque são os que apresentaram índices de umidade acima de 30%, como o caso de *gesso* (que tende a absorver umidade), *PEAD filme* (com os quais normalmente são feitos os sacos de lixo) e os *papéis em mau estado*. Com relação a este último item, a separação visual realizada foi suficiente para identificar resíduos com mais de 20% de umidade, que possuem normalmente preço bem inferior de compra por parte de recicladores de papel. Outras subdivisões em *bom e mau estado* (*tecidos e calçados*) também se mostraram eficientes com relação à umidade.

Teores altos de umidade em materiais como *plásticos* (a maioria), *papéis* e outros com poder combustível atraente, como *tecidos*, *embalagens mistas*, *metalizadas* e *longa vida*, *restos de comida*, *lixo de jardim* e *fezes de animais*, podem tornar a queima desses resíduos desinteressante, ao menos quando provenientes de coleta comum. No caso de separação na fonte geradora e encaminhamento a um sistema de coleta seletiva o teor de umidade é bem menor e, não havendo mercado ou potencialidades de reciclagem, poderiam ter na queima controlada uma possibilidade de disposição.

O teor de impurezas não mostrou muita associação com o de umidade, embora certamente a água presente em quase todos os resíduos, num sistema de coleta comum, tende a facilitar a impregnação de um resíduo por outro(s). As impurezas foram retiradas mecanicamente após a secagem, sendo observado que eram constituídas de vários tipos de materiais, em especial *restos de comida* (no caso dos *restos de comida*, as impurezas foram em sua maioria papéis e plásticos não bem separados). A idéia dessa retirada mecânica era simular um processo de reciclagem, onde essa etapa agrega valor ao material de interesse ao isolá-lo. Assim, para os produtos comercializados pelas cooperativas destaca-se a grande quantidade de impurezas impregnadas no *alumínio* (exceção de latas), *latas de aço*, *PP rígido*

e *PEAD filme* (13 a 21%) quando encaminhados a aterro. Por exemplo, caso alguma empresa se interesse em captar *PEAD filme* do aterro para onde são encaminhados os resíduos de Sorocaba, deve levar em conta que, a cada 1.000 kg obtidos, somente 560 kg seriam efetivamente polímero, sendo o restante, umidade e impurezas a serem retiradas no processo de reciclagem.

5.2 Inventário de materiais presentes nos resíduos sólidos domiciliares coletados pelos sistemas de coleta seletiva e comum visando aplicação em estudos de ACV.

Os resultados obtidos no item 5.1 permitem a construção de tabelas de inventários de materiais que mostram a dinâmica da coleta seletiva no município de Sorocaba e as oportunidades de melhorias com a expansão, com a diminuição da taxa de rejeitos e com a abertura para novos mercados de reciclagem de materiais.

As tabelas apresentadas a seguir mostram o montante dos resíduos coletados pelo sistema de coleta seletiva e o total de resíduos coletados (coleta seletiva + coleta comum), em Sorocaba no ano de 2011, divididos pela destinação final dada pelo sistema vigente. Foi ainda considerada a dificuldade de comercialização de alguns tipos de resíduos.

A Tabela 25 apresenta a porcentagem e o montante dos resíduos comercializados pelo sistema de coleta seletiva diariamente. As colunas apresentam a composição gravimétrica (%) e o total (kg) dos resíduos coletados diariamente pelo sistema de coleta seletiva, bem como a composição gravimétrica (%) e o total (kg) coletado por dia no município considerando os dois sistemas de coleta, seletiva e comum. A última coluna apresenta o quanto este sistema de coleta seletiva consegue desviar da disposição final em aterros, ou seja a porcentagem do total coletado que efetivamente é comercializada.

Tabela 25: Resíduos Sólidos Comercializáveis diariamente coletados na Coleta Seletiva e Comum de Sorocaba, em 2011

Itens	Coleta Seletiva: resíduos comercializados		Coleta Total (Coleta Comum+Seletiva) : resíduos comercializados+resíduos enviados para o aterro		% Comercializada
	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	
Papel em Bom Estado	13	1.522,1	5,6	20.339,2	7,5
Papel em Mau Estado	0,3	35,2	3,2	11.622,4	0,3
Papel Kraft	2,2	259,6	0,7	2.542,4	10,2
Papelão	18,9	2.215,1	5,8	21.065,6	10,5
Longa Vida	4,9	576,7	1,7	6.174,4	9,3
Latas de Alumínio	2,4	278,4	0,7	2.542,4	11,0
Alumínio (outros)	0,0 ^b	3,5	0,2	726,4	0,5
Latas de Aço	3,2	373,5	1	3.632,0	10,3
Outros Metais Ferrosos	3	347,7	0,4	1.452,8	23,9
Fios de Cobre	3,9	454,5	0,8	2.905,6	15,6
Vidros intactos	16,2	1.905,0	4,8	17.433,6	10,9
Vidros quebrados	0,8	90,4	0,6	2.179,2	4,1
PET (incolor)	4,6	535,6	1,4	5.084,8	10,5
PET (colorido)	1,1	128	0,3	1.089,6	11,7
PET (óleo)	0,4	49,3	0,3	1.089,6	4,5
PEAD (filme)	2,4	286,6	2	7.264,0	3,9
PEAD (rígido)	2,8	328,9	1	3.632,0	9,1
PVC	2,3	265,4	0,4	1.452,8	18,3
PEBD (filme)	1	113,9	1,1	3.995,2	2,9
PEBD (rígido)	0,1	9,4	0,1	363,2	2,6
PP (filme)	0,6	65,8	0,4	1.452,8	4,5
PP (rígido)	0,9	106,9	0,6	2.179,2	4,9
Poliestireno (rígido)	0,4	42,3	0,3	1.089,6	3,9
Outros Plásticos (filmes)	0,4	45,8	0,7	2.542,4	1,8
Resíduos Eletroeletrônicos	3,7	435,7	0,6	2.179,2	20,0
Total	89,1	10.475,3	34,7	126.030,4	8,3

Sendo assim, é possível observar pela Tabela 25 que do total de resíduos que possuem mercado para comercialização gerados no município de Sorocaba, apenas 8,3% são efetivamente comercializados pelo sistema de coleta seletiva.

A Tabela 25 ainda mostra que o sistema de coleta seletiva possui eficiência de cerca de 89% na comercialização dos resíduos coletados e isto representa cerca de 10,5 toneladas/dia. Considerando as duas coletas, seletiva e comum, o potencial de comercialização para tais resíduos cai para 34,7% e isto representa cerca de 126 toneladas/dia.

Os resíduos que possuem maior porcentagem desviada dos aterros pelo sistema de coleta seletiva são: *Outros metais ferrosos* (23,9) *Resíduos eletroeletrônicos* (20%), *PVC* (18,3%), *Fios de cobre* (15,6%).

Observa-se ainda que o município de Sorocaba deixa de comercializar por dia 115,5 toneladas de resíduos recicláveis. Isto representa, se utilizarmos a tabela de preços que as empresas compradoras da Cooperativa possuíam na época (Maio-2011), aproximadamente R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) por dia (Tabela 26).

Tabela 26: Preço de comercialização dos resíduos recicláveis no município de Sorocaba (Maio-2011)

Itens	Quantidade não comercializada	Preços (R\$/kg)	Total (R\$)
Papel em Bom Estado	18.817,1	0,13	2.446,22
Papel em Mau Estado	11.587,2	0,1	1.158,72
Papel Kraft	2.282,8	0,13	296,76
Papelão	18.850,5	0,22	4.147,11
Longa Vida	5.597,7	0,1	559,77
Latas de Alumínio	2.264,0	3	6.792,00
Alumínio (outros)	722,9	0,7	506,03
Latas de Aço	3.258,5	0,35	1.140,48
Outros Metais Ferrosos	1.105,1	0,35	386,79
Fios de Cobre	2.451,1	3,5	8.578,85
Vidros intactos	15.528,6	0,4	6.211,44
Vidros quebrados	2.088,8	0,15	313,32
PET (incolor)	4.549,2	1,1	5.004,12
PET (colorido)	961,6	1,05	1.009,68
PET (óleo)	1.040,3	0,3	312,09
PEAD (filme)	6.977,4	0,4	2.790,96
PEAD (rígido)	3.303,1	0,8	2.642,48
PVC	1.187,4	0,4	474,96
PEBD (filme)	3.881,3	0,4	1.552,52
PEBD (rígido)	353,8	0,7	247,66
PP (filme)	1.387,0	0,4	554,80
PP (rígido)	2.072,3	0,6	1.243,38
Poliestireno (rígido)	1.047,3	0,2	209,46
Outros Plásticos (filmes)	2.496,6	0,4	998,64
Resíduos Eletroeletrônicos	1.743,5	0	0,00
			49.578,24

Na Tabela 26 não foram considerados os *resíduos eletroeletrônicos*, pois estes são encaminhados para outro local, para separação e posterior venda. Se estes resíduos fossem encaminhados diretamente para o local onde eles são separados evitaria que os cooperados realizassem a separação de 3,7 toneladas/dia o que implicaria no aumento da produtividade da separação dos demais itens.

Destaque deve-se dar aos *fios de cobre, latas de alumínio, vidros intactos, plásticos filme, PET incolor, papelão e papel em bom estado* que representam mais de 80% do valor dos resíduos que não foram comercializados pela cooperativa. Tal número representa a potenciabilidade de expansão do sistema de coleta aliado a conscientização das pessoas à

participarem do mesmo. Possibilita ainda o cálculo da viabilidade do investimento ao se estudar a expansão da coleta seletiva baseando-se no que a cidade coletava na época e qual área as cooperativas conseguiam cobrir da cidade.

A Tabela 27 apresenta a porcentagem e o montante dos resíduos reutilizados pelos cooperados durante a triagem dos resíduos da coleta seletiva. As colunas apresentam a composição gravimétrica (%) e o total (kg) dos resíduos reutilizados diariamente, apresentam também a composição gravimétrica (%) e o total (kg) coletado no município considerando os dois sistemas de coleta, seletiva e comum, e a última coluna apresenta o quanto esta reutilização consegue desviar da disposição final em aterros.

Tabela 27: Resíduos Sólidos Reutilizáveis diariamente coletados em Sorocaba

Itens	Coleta Seletiva		Coleta Total (Comum+Seletiva)		% Reutilizada
	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	
Tecidos em Bom Estado	1,8	207,9	2	7.264,0	2,9
Calçados em Bom Estado	0,6	66,9	0,3	1.089,6	6,1
Total	2,4	274,8	2,3	8.353,6	9,0

É possível observar pela Tabela 27 que do total de resíduos reutilizáveis descartados pelos cidadãos sorocabanos apenas 9% é efetivamente reutilizado pelos cooperados que participam da triagem dos resíduos do sistema de coleta seletiva. Outra importante observação é que os cooperados separam cerca de 275 kg diariamente de material para consumo próprio, ou seja, 2,4% do material triado não é comercializado. Se observado tal fato sob o ponto de vista da cadeia produtiva, o tempo gasto para separação de tais resíduos pode ser considerado um tempo desperdiçado que poderia ser utilizado para a triagem de materiais que possuem mercado de comercialização e aumentar a produtividade do sistema.

O estabelecimento de um programa de doação solidária de roupas e calçados em bom estado poderia possibilitar que a cooperativa economizasse tempo devido a não separação desse montante e poderia encorajar a população a destinar estes itens para a reutilização e ainda auxiliar as pessoas carentes do município. Sistemas desse tipo geralmente são organizados somente uma vez por ano, na época da chegada do inverno (campanha do agasalho).

A Tabela 28 apresenta a porcentagem e o montante dos resíduos que possuem dificuldade na comercialização. As colunas apresentam a composição gravimétrica (%) e o total (kg) de tais resíduos coletados pelo sistema de coleta seletiva diariamente, apresenta também a composição gravimétrica (%) e o total (kg) coletado no município considerando os dois sistemas de coleta, seletiva e comum, e a última coluna apresenta o quanto destes resíduos encaminhados para a coleta seletiva representam do total gerado no município.

Tabela 28: Resíduos Sólidos com dificuldade de comercialização diariamente coletados no sistema em Sorocaba

Itens	Coleta Seletiva		Coleta Total (Comum+Seletiva)		% coletada pelo sistema de coleta seletiva
	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	
PET (termoformado)	1,1	132,7	0,3	1.089,6	12,2
Poliestireno Expandido	0,3	35,2	0,2	726,4	4,8
Outros Plásticos (rígidos)	0,6	71,6	0,0 ^b	145,3	49,3
Total	2	239,5	0,5	1.961,28	12,2

É possível observar pela Tabela 28 que do total de resíduos que possuem dificuldade de comercialização gerados no município de Sorocaba, cerca de 12% são encaminhados para o sistema de coleta seletiva. Tais resíduos representam 2% dos resíduos encaminhados para a coleta seletiva e 0,5% do total gerado no município. Destaque se dá aos *Outros Plásticos Rígidos*, a porcentagem desviada pela coleta seletiva representa quase 50% do total.

A Tabela 29 apresenta a porcentagem e o montante dos resíduos que são considerados rejeitos no sistema de coleta seletiva. As colunas apresentam a composição gravimétrica (%) e o total (kg) de tais resíduos coletados pelo sistema de coleta seletiva diariamente, apresentam também a composição gravimétrica (%) e o total (kg) coletado no município considerando os dois sistemas de coleta, seletiva e comum, e a última coluna apresenta o quanto destes resíduos encaminhados para a coleta seletiva representam do total gerado no município.

Tabela 29: Rejeitos diariamente coletados em Sorocaba

Itens	Coleta Seletiva		Coleta Total (Comum+Seletiva)		% coletada pelo sistema de coleta seletiva
	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	Composição Gravimétrica (%)	Média da Coleta Diária (kg)	
Restos de comida	0,3	36,4	41,4	15.0364,8	0,0
Lixo de jardim	0	0	6,8	24.697,6	0,0
Fezes de Animais	0	0	2,9	10.532,8	0,0
Lixo de Banheiro	0	0	2,7	9.806,4	0,0
Fraldas	0	0	3,2	11.622,4	0,0
Tecidos em Mau Estado	0,2	23,5	0,8	2.905,6	0,8
Calçados em Mau Estado	0,3	31,7	0,2	726,4	4,4
Embalagens mistas (papel e plástico)	0,2	18,8	0,2	726,4	2,6
Embalagens Metalizadas	0,7	78,7	0,4	1.452,8	5,4
Polímeros Termofixos	0,1	11,7	0,4	1.452,8	0,8
Borrachas	0,1	9,4	0,0 ^b	145,3	6,5
Madeira	0	0	0,0 ^b	145,3	0,0
Gesso	0	0	0,2	726,4	0,0
Cerâmica (argilosas e porcelanas)	0	0	0,1	363,2	0,0
Resíduos de Construção Civil	0	0	1,8	6.537,6	0,0
Resíduos Potencialmente Perigosos	1,3	151,5	0,5	1.816,0	8,3
Itens Eventuais	3,3	389,9	1,1	3.995,2	9,8
Total	6,5	751,6	62,7	22.8017,0	0,3

É possível observar pela Tabela 29 que do total de resíduos que são considerados rejeitos gerados no município de Sorocaba, cerca de 0,3% são encaminhados para o sistema de coleta seletiva. Tais resíduos representam 6,5% dos resíduos encaminhados para a coleta seletiva e 63,7% do total gerado no município. Ou seja, cerca de 752 kg/dia de resíduos são encaminhados erroneamente para a coleta seletiva e são selecionados e encaminhados para o aterro pelos cooperados.

Sendo assim, em relação aos resíduos coletados pelas cooperativas, se considerarmos que 3,7% são *resíduos eletroeletrônicos* e estes resíduos são encaminhados para outro centro de separação de materiais, e se

considerarmos ainda que 2,4% dos resíduos são reutilizados, 2% possuem dificuldade de comercialização e 6,5% são rejeitos, o sistema de triagem não comercializa 14,6% do total encaminhado para a coleta seletiva, ou seja, aproximadamente 1,7 toneladas são separados mas não serão vendidos.

Caso a população fosse orientada a não destinar tais resíduos para a coleta seletiva, a produtividade do sistema poderia ser aumentada em 14,6%, ou seja, por dia o atual sistema de coleta e triagem poderia coletar e separar 1,7 toneladas a mais sem que houvesse mudança em sua estrutura.

As emissões referentes ao transporte e ao gasto energético durante a segregação dos resíduos que não são comercializados pelas cooperativas podem ser reduzidos caso esses materiais não sejam enviados para a coleta seletiva. Sendo assim os impactos relacionados a consumo de energia, mudanças climáticas, respiráveis orgânicos e inorgânicos podem ser minimizados.

6. Conclusões

6.1 Caracterização dos resíduos sólidos de Sorocaba

Determinou-se que, em média, cada habitante de Sorocaba, SP, Brasil, descartou, diariamente, cerca de 612 g de resíduos sólidos em suas residências. A região que possui a maior concentração de residências de classe socioeconômica alta teve o maior *per capita*, os habitantes descartaram em média, cerca de 1kg/hab.dia.

Considerando os rejeitos (6,5% do total) erroneamente encaminhados à coleta seletiva, a população que colabora com a coleta seletiva evita que 30% de seus resíduos sólidos domiciliares sejam aterrados. Isso significa cerca de 11 toneladas e 302 m³ diários de resíduos recicláveis ou reaproveitáveis, ou 2,6 % do total de resíduos sólidos domiciliares gerados em todo o município. Os papéis são os itens de maior destaque seguidos dos plásticos (respectivamente 34,3% em massa e 37,8% em volume / 18,9% em massa e 40,9% em volume).

Cerca de 61% em massa de todo o resíduo sólido domiciliar do município, o que corresponderia a 220 toneladas diárias de resíduos, não é reciclável ou reaproveitável, ou não há mercado para comercialização na região. Dentre estes resíduos, destacam-se os *Restos de Comida* e o *Lixo de Jardim*, que representam 48,2% em massa ou aproximadamente 175 toneladas diárias. Assim, uma das formas de diminuir significativamente a quantidade de resíduos encaminhados ao aterro é a implantação de um sistema de compostagem no município que recicle esta *matéria orgânica* para a produção de composto orgânico.

Há, nos resíduos sólidos domiciliares de Sorocaba, cerca de 143 toneladas diárias de resíduos recicláveis (com mercado) e reaproveitáveis. Os principais deles são os vários tipos de *papel/papelão*, com 15,3% e os *plásticos*, com 9,1%.

Baseados em potencialidades de reciclagem de cada resíduo, pode-se considerar que apenas 11,2% em massa e 8,6% em volume (37 toneladas e 265,6 m³, respectivamente) não possuem potencial de reaproveitamento ou

reciclagem (*Fezes de Animais, Lixo de Banheiro, Fraldas, Tecidos e Calçados em mau estado, Termofixos e Itens eventuais*).

Obteve-se ainda que 9,3% em massa dos resíduos encaminhados podem ser considerados potencialmente perigosos, 71,9% biodegradáveis e que 40% da massa de todos os resíduos corresponde à umidade. Essas características fazem com que o confinamento dos resíduos domiciliares do município deva ser extremamente cuidadoso, para evitar infiltração de poluentes no solo.

Todos os dados obtidos e projeções realizadas podem ser utilizados no planejamento visando a coleta seletiva de quantidades cada vez maiores, de forma a dimensionar com maior precisão a necessidade de espaço físico, equipamentos, trabalhadores e transporte, bem como melhores possibilidades de comercialização ou até mesmo beneficiamento de resíduos.

6.2. Inventário de Materiais presentes nos Resíduos Sólidos Domiciliares de Sorocaba

Observou-se que do total de resíduos que possuem mercado para comercialização coletados no município de Sorocaba, apenas 8,3% são efetivamente comercializados pelo sistema de coleta seletiva e este sistema possui eficiência de cerca de 85,4% na comercialização.

Observou-se ainda que os resíduos que possuem maior porcentagem desviada dos aterros pelo sistema de coleta seletiva são: *Outros metais ferrosos* (23,9) *Resíduos eletroeletrônicos* (20%), *PVC* (18,3%), *Fios de cobre* (15,6%).

O município de Sorocaba deixa de comercializar por dia cerca de 115,5 toneladas de resíduos recicláveis, isto representa aproximadamente R\$ 50.000,00 (cinquenta mil reais) se considerarmos a tabela de preços que as empresas compradoras da Cooperativa possuíam na época (Maio-2011).

Em relação aos resíduos coletados pelas cooperativas, 3,7% são *resíduos eletroeletrônicos* e estes são encaminhados para outro centro de separação de materiais. Outros 2,4% dos resíduos são reutilizados, 2% possuem dificuldade de comercialização e 6,5% são rejeitos. Assim, considerando todos esses resíduos, o sistema de triagem desperdiça tempo

segregando 14,6% do total encaminhado para a coleta seletiva, ou seja, aproximadamente 1,7 toneladas são separados mas não serão vendidos.

Portanto, caso a população fosse orientada a não destinar tais resíduos para a coleta seletiva, a produtividade do sistema poderia ser aumentada em 14,6%.

7. Referências Bibliográficas

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental** – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, NBR 14.040. Rio de Janeiro, 2009a. 21p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental** – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações, NBR 14.044. Rio de Janeiro, 2009b. 46p.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos**: Classificação, NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004. 71p.

ABREU-JÚNIOR, C. H.; BASSO, A. C.; CHITOLINA, J. C.; SILVA, F. C.; BORALLI, K.; WENDEL, C. F. Caracterização de compostos de resíduos sólidos urbanos orgânicos de unidades de reciclagem e compostagem dos municípios de São Paulo e de São José dos Campos. **Holos Environment**. vol. 1, n. 2, 2012. p. 225-240

ANDERSEN, J.K. , Boldrin A., Christensen T.H., Scheutz C. Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste **Waste Management**, v. 31, n. 9–10, 2011, p. 1934–1942

ANDRADE, R. M.; FERREIRA, J. A. A gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil frente às questões da globalização. Revista Eletrônica do PRODEMA. Vol 6. Num 1. 2011. 7-22 p.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 306/2004**.

ASSIS, O. B. G. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração. **Cerâmica**. 2006. v.52, p. 105-113.

ASTM INTERNATIONAL. **Standard Test Method for Determination of the Composition of Unprocessed Municipal Solid Waste / D 5231-92.** (EUA): ASTM International, 2008.

ATHAYDE JÚNIOR, G. B., BESERRA, L. B. S., FAGUNDES, G. S. Sobre a geração de resíduos sólidos domiciliares em bairros de classe média e alta de João Pessoa. **Revista de Estudos Ambientais.** v. 9.n. 2. 2007: p. 73-88.

AZIZ, S. Q.; AZIZ, H. A.; BASHIR, M. J. K.; YUSOFF, M. S. Appraisal of domestic solid waste generation, components, and the feasibility of recycling in Erbil, Iraq. **Waste Management & Research.** v.29, n.8, p. 880-887, 2011.

BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life Cycle Assessment of Solid Waste Options for Eskisehir, Turkey. **Waste Management.** v. 29, p. 54 - 62. 2009.

BARE, J. C.; HOFSTETTER, P.; PENNINGTON, D. W.; HAES, H. A.U. Midpoints versus Endpoints: The Sacrifices and Benefits. **Life Cycle Impact Assessment.** v. 6, n. 5, 319-326 p, 2000.

BAUER, P. E. **Metodologia e Procedimento para a Consideração Ambiental no Projeto de Processos Químicos.** 2003. 338 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

BERNACHE-PÉREZ, G. *et al.* Solid Waste Characterization Study in the Guadalajara Metropolitan Zone, Mexico. **Waste Management & Research.** v.19, p. 413-424, 2001.

BESEN, G.R. **Programas municipais de coleta seletiva em parceria com organizações de catadores na Região Metropolitana de São Paulo.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BOLAANE, B.; ALI, M. Sampling Household Waste at Source: Lessons Learnt at Gaborone. **Waste Management & Research**. v. 22, 142-148, 2004.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências. Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2010.

BUENROSTRO, O.; BOCCO, G.; BERNACHE, G. Urban Solid Waste Generation and Disposal in Mexico: a Case Study. **Waste Management & Research**, Reino Unido, 19, p. 169-176, 2001.

BJÖRCLUND, A.; FINNVEDEN, G. Recycling revisited - life cycle comparisons of global warming impact and total energy use of waste management strategies. *Resources, Conservation and Recycling*. Vol 44. 2005. 309-317 p.

CAMPOS, C. Coleta seletiva deve atingir 100% da cidade. **Jornal Bom Dia**, Sorocaba, SP, 02 abr. 2012. Disponível em: <
<http://www.redebomdia.com.br/noticia/detalhe/17731/Coleta+seletiva+deve+atingir+100%25+da+cidade>> Acesso em: 27 ago. 2012

CANEVAROLO, V.S. **Ciência dos polímeros**: um texto básico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2002.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Fichas Técnicas**. São Paulo: CEMPRE, 2013a. Disponível em: <
http://www.cempre.org.br/ft_plastico.php>. Acesso em 09 jun. 2013.

CEMPRE – COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Pesquisa Ciclosoft**. São Paulo: CEMPRE, 2013b. Disponível em: <
http://www.cempre.org.br/ciclosft_2012.php>. Acesso em 09 jun. 2013.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares 2011**. São Paulo: CETESB, 2012.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Base Legal, Normas e Procedimentos - Setembro 2008**. São Paulo: CETESB, 2013. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/residuos-solidos/residuos-urbanos/3-residuos-solidos-industriais>> Acesso em 30 de maio de 2013.

CHUNG, S.S.; POON, C.S. Characterization of Municipal Solid Waste and its Recyclables Contents of Guangzhou. **Waste Management & Research**. n. 19, p. 473-485, 2001.

CHAGAS, F. H. C.; BERRETA-HURTADO, A. L.; GOUVÊA, C. A. K. **Logística Reversa: destinação dos resíduos de poliestireno expandido (Isopor®) pós-consumo de uma indústria catarinense**. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3, 2011, São Paulo. **Anais**..Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>>. Acesso em: 20 abri. 2013. São Paulo: Universidade Paulista, 2011.

CIRAIG - Centre Interuniversitaire de Recherche sur le Cycle de Vie des Produits et Services. Disponível em: < www.ciraig.org >. Acesso em 30 de Maio de 2013.

COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.

COLTRO, L., GASPARINO, B. F. QUEIROZ, G. C.. Reciclagem de materiais plásticos: a importância da identificação correta. **Polímeros**. 2008, vol.18, n.2, pp. 119-125.

CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA/600/R-06/060. (National Risk Management Research Laboratory). Cincinnati, Ohio, USA. May. 2006.

DEMAJOROVIC, J.; BESEN, G. R.; RATHASAM, A. A. Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face a logística do mercado. **Diálogos em ambiente e sociedade no Brasil**. vol. 1. 2006

DMITRIJEVAS, C. **Análise da Ecoeficiência de Técnicas para Tratamento e Disposição de Resíduos Sólidos**. 2010. 115f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2010.

EISTED, R., CHRISTENSEN, H. Characterization of household waste in Greenland. **Waste Management**. v. 31. p. 1461-1466. Dinamarca. 2011

EKVALL, T.; ASSEFA, G.; BJÖRKLUND, A.; ERIKSSON, O.; FINNVEDEN, G. What life-cycle assessment does not do in assessments of waste management. **Waste Management**. Vol. 27. 2007. 989-996 p.

FANTONI, M; BLENGINI, G. A. LCA of **Integrated Municipal Solid Waste Management: A Case Study in Torino and Cuneo, Italy**. In: Congresso Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, II, Florianópolis, 2010.

FARZADKIA, M.; JORFI, S.; HAMIDEH, A.; GHASEMI, M. Evaluation of dry solid waste recycling from municipal solid waste: case of Mashhad city, Iran. **Waste Management & Research**. Irã, v.30, n.1, p.106-112, 2012.

FEHR, M.; SOUSA, K. A.; SANTOS, M. Q.; DOMINGUES, M. M. O. Using test communities to demonstrate household waste separation procedures in Brazil. **Environmental Practice**, Brasil, v. 11, p. 25-31, 2009.

FERREIRA, J. V. R. **Gestão Ambiental: Análise de Ciclo de Vida de Produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004

FINNVEDEN, G. On the Limitations of Life Cycle Assessment and Environmental Systems Analysis Tools in General. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. Vol 5. Num 4. 2000. 229-238 p.

FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P.; MOBERG, A. 2000 Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste. University of Stockholm, Sweden. Disponível em: <<http://www.imamu.edu.sa/topics>> Acesso em 09 Ago. 2012.

FINNVEDEN, G.; JOHANSSON, J.; LIND, P.; MOBERG, A. Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 2005. Vol. 13. 213-229 p.

FINNVEDEN, G; EKVALL, T. Life-cycle assessment as a decision-support tool - the case of recycling versus incineration of paper. *Resources, Conservation and Recycling*, 1998. Vol. 24. 235–256 p.

FRANCO, C. S. *et al.* Caracterização dos resíduos sólidos urbanos gerados no município de Lavras - MG. **Anais...XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2011 Cuiabá - MT, 2011.**

FRUERGAARD, T., ASTRUP, T. Optimal utilization of waste-to-energy in an LCA perspective. **Waste Management**, v. 31, n. 3, 2011, p. 572–582

GALLARDO, A.; BOVEA, M. D.; COLOMER, F. J.; PRADES, M. Analysis of collection systems for sorted household waste in Spain. **Waste Management**. v. 32, p. 1623-1633, 2012.

GOMES, L. P.; MARTINS F. B. **Projeto, Implementação e Operação de Aterros Sustentáveis de Resíduos Sólidos Urbanos para Municípios de Pequeno Porte** In: ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p. 51-106.

GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência Saúde Coletiva** 2012, vol.17, n.6, pp. 1503-1510.

GUERMOUD, N. *et al.* Municipal Solid Waste in Mostaganen City (Western Algeria). **Waste Management**. 29, p. 896-902, 2009.

GIANNETTI, B. F. *et al.* Inventário de ciclo de vida da manufatura de seringas odontológicas. **Produção**. v.18. n.1. 2008. p. 155-169.

HONG, J.; XIANGZHI, L.; ZHAOJIE, C. Life cycle assessment of four municipal solid waste management scenarios in China. *Waste Management*. Vol 30. 2010. 2362-2369 p.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010a

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010b. Disponível em: < www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_domicilios_sao_paulo.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2012

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas de Saneamento 2011**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.

INIGUEZ-COVARRUBIAS, G.; INIGUEZ-FRANCO, F. M.; MARTINEZ-GUTIERREZ, G. A., RYCKEBOER, J. Separación de residuos domiciliarios para la preparación de compost y su análisis en la producción de pepinos. **Agrociencia**. 2011, vol.45, n.5, pp. 639-651.

IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT, 2000.

JACOBI, P. Gestão compartilhada de Resíduos Sólidos no Brasil: inovação com inclusão social. São Paulo. Ed. Annablume. 2006

JACOBI, P.; BESEN, G.R. Gestão de resíduos sólidos na Região Metropolitana de São Paulo: avanços e desafios. *São Paulo em Perspectiva*, São Paulo, Fundação Seade, v. 20, n. 2, p. 90-104, abr./jun. 2006. Disponível em: <<http://www.seade.gov.br>> Acesso em 23 de agosto de 2012.

JEON, E. J.; BAE, S. J.; LEE, D. H.; SEO, D. C.; CHUN, S. K.; LEE, N. H.; KIM, J. Y. Methane generation potential and biodegradability of MSW components. In: Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium, 2007, Italia. **Anais...**Sardinia, Italia, 2007.

KAJINO, L. K.; HAMADA, J. Aplicação do inventário de ciclo de vida para planejamento e gerenciamento de aterros para resíduos sólidos urbanos. **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável**. Florianópolis - SC. ICTR - 2004

KONRAD, M. R. Reciclagem de alumínio: Impactos econômicos e sociais. **Revista Científica**. ano. 5, n. 5, p. 23-23, 2006

KULAY, L., SEO, E. S. M. Orientações conceituais para elaboração de inventários de ciclo de vida. **InterfacEHS-Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**. v.5. n.1. (2006).

LANGE, L. C. *et al.* **Metodologia para Análises Laboratoriais de Resíduos Sólidos Urbanos, Líquidos Lixiviados de Aterros Sanitários e Solos** In: ZANTA, V. M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. Rio de Janeiro: ABES, RiMa, 2003. p. 199-221.

LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; PRASAD, S. Bioestabilização anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos em reatores de batelada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2001, vol.5, n.1, pp. 119-123

LEITE, V. D. et al. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 2009, vol.13, n.2, pp. 190-196.

LEME, M. M. V. et al. **Avaliação Ambiental das Opções Tecnológicas para Geração de Energia Através dos Resíduos Sólidos Urbanos: Estudo de Caso**. In: Congresso Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, II, Florianópolis, 2010.

MACEDO, A. R. P.; VALENÇA, A. C. V. Reciclagem de Papel. **BNDES Setorial**. n. 2, p. 5-22, 1996

MACIEL, F.J.; JUCÁ, J.F.T. Evaluation of landfill gas production and emissions in a MSW large scale experimental cell in Brazil. **Waste Management**, v. 31, p. 966-977, 2011.

MANCINI, S. D. *et al.* Potential Recycling of Urban Solid Waste Destined for Sanitary Landfills: the Case of Indaiatuba, SP, Brazil. **Waste Management & Research**, Reino Unido, v. 25, p. 517-523, 2007.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. Edgar Blucher. São Paulo, 1985. 111 p.

MANO, B. E.; MENDES, C. L. **Identificação de plásticos, borrachas e fibras**. São Paulo: Edgar Bluncher, 2000.

MANRICH, S.; FRATTINI, G.; ROSALINI, A. C. Identificação de Plásticos: uma ferramenta para a reciclagem. São Carlos: EDUFscar, 1997.

MARIANO, M. O. H.; JUCA, J. F. T. Ensaio de campo para determinação de emissões de biogás em camadas de cobertura de aterros de resíduos sólidos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2010, vol.15, n.3, pp. 223-228.

MARTINS, A. F.; SUAREZ, J. C. M., MANO, E. B. Produtos poliolefinicos reciclados com desempenho superior aos materiais virgens correspondentes. **Polímeros**. 1999, vol.9, n.4, pp. 27-32.

MATTEI, G.; ESCOSTEGUY, P.A.V. Composição Gravimétrica de Resíduos Sólidos Aterrados. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Brasil, v.12, n.3, p. 247-251, 2007.

MATOS, T. F. L.; SCHALCH, V. Composição dos Resíduos Poliméricos, Pós-consumo, Gerados no Município de São Carlos, SP. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**. v. 17, n. 4, p. 346-351, 2007.

McDOUGALL, F Life Cycle Inventory Tools: Supporting the Development of Sustainable Solid Waste Management Systems Corporate **Environmental Strategy**, v. 8, n. 2, 2001, p. 142–147

MELO, L. A.; SAUTTER, K. D., JANISSEK, P. R. Estudo de cenários para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos de Curitiba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2009, vol.14, n.4, pp. 551-558.

MENDES, M. R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. **Assessment of Environmental Impact of Management Measures for the Biodegradable Fraction of Municipal Solid Waste in São Paulo City**. *Waste Management*. vol. 23. 2003. 403-409 p.

MENDES, M. R.; ARAMAKI, T.; HANAKI, K. **Comparison of the Environmental Impact of Incineration and Landfilling in São Paulo City as determined by LCA**. *Resources, Conservation and Recycling*. vol 41. 2004. 47-63p.

MERRILD, H.; LARSEN, A. W.; CHRISTENSEN, T. H. Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. **Waste Management**. v. 32. p.1009-1018.

MEUSER *et al.* Physical Composition, Nutrients and Contaminants of Typical Wastes Dumping Sites. **American Journal of Environmental Sciences**. Estados Unidos, v.7, n.1, p.26-34, 2011.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 358**. Brasília, MMA, 2005.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 307**. Brasília, MMA, 2002.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: Versão Preliminar**. Brasília: MMA, 2011.

MOBERG, A., FINNVEDEN, G., JOHANSSON, J., LIND, P. Life cycle assessment of energy from solid waste – part 2: landfilling compared to other treatment methods. **Journal of Cleaner Production**. v. 19. 231-240p. Suécia. 2005

NOGUEIRA, A. R. Modelagem de Sistemas de Produto em Estudos de ACV Abrangendo e Reaproveitamento de Rejeitos. 86 f. Dissertação -(Mestrado em Engenharia)- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2012.

OLIVEIRA, S. A., *et al.* Estudo da produção per capita de resíduos sólidos domiciliares da cidade de Campina Grande–PB. **Saúde e Ambiente** v. 5. n. 2 2009: p.37-44.

OLIVEIRA, S. *et al.* Caracterização Física dos Resíduos Domésticos da Cidade de Botucatu/SP. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Brasil, v.4, n.3-4, p. 113-116, 1999.

OTHMAN, S. N. Review on life cycle assessment of integrated solid waste management in some Asian countries. *Journal of Cleaner Production*, Stockholm, v. 41, p. 251-262. 2003

PACHECO, E. B. A. V., RONCHETTI, L. M., MASANET, E. An overview of plastic in Rio de Janeiro. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 60. P. 140-146. 2012.

PAPACHRISTOU, E. *et al.* Perspectives for Integrated Municipal Solid Waste Management in Tesseloniki, Greece. **Waste Management**, Holanda, v. 29, p. 1158-1162, 2009.

PECORA, V. *et al* **Comparação do Desempenho Ambiental de Alternativas para a Destinação de Resíduos Sólidos Urbanos com Aproveitamento Energético**. In: Brasileiro de Gestão em Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, III, Maringá, 2012.

PRESTES, S. M. D.; MANCINI, S. D.; RODOLFO, A. Jr.; KEIROGLO, R. C. Construction and demolition waste as a source of PVC for recycling. **Waste Management & Research**. v.30, p. 115-121, 2011.

PUNA, J. F. B., BAPTISTA, B. S. A gestão integrada de resíduos sólidos urbanos – perspectiva ambiental e econômico-energético. **Química Nova**. Portugal, v.31, n.3, p. 645-654, 2008.

QU, X *et al.* Survey of Composition and Generation Rate of Household Wastes in Beijing, China. **Waste Management**, Holanda, v. 29, p. 2618-2624, 2009.

SANTOS, A. S. F.; AGNELLI, J. A. M., MANRICH, S. Tendências e desafios da reciclagem de embalagens plásticas. **Polímeros**, vol.14, n.5, pp. 307-312, 2004.

SANTOS, C. P. *et al.* Papel: Como se fabrica? **Química e Sociedade**. São Paulo, n. 1, p.3-7, 2001.

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 13.576**. São Paulo, 2009

SÃO PAULO. **Lei Estadual nº 12.300**. São Paulo, 2006

SDA – Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa da Secretaria nº. 27 de 5 de junho de 2006. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados. Diário Oficial da União de 09/06/2006, seção 1, p. 15

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Índice de Vulnerabilidade Social**. 2010 Disponível em: <<http://www.iprsipvs.seade.gov.br/view/index.php?prodCod=2>> Acesso em 26 Jun. 2012.

SENG, B.; KANKEO, H.; HIRAYAMA, K.; HIRAYAMA, K. K. HYRAYAMA. Municipal solid waste management in Phnom Penh, capital city of Camodia. **Waste Management & Research**. v.0, n.0, p. 1-10, 2010.

SIMÕES, G.V.B. *et al.* Coleta Seletiva como Instrumento de Políticas Públicas: a Experiência do Município de Sorocaba-SP. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION, 3, 2011, São Paulo. **Anais**..Disponível em: <<http://www.advancesincleanerproduction.net/>>. Acesso em: 28 ago. 2011. São Paulo: Universidade Paulista, 2011.

SOROCABA (Município). Lei nº 5.192, de 02 de setembro de 1996. Institui a Coleta Seletiva de Lixo no âmbito do Município de Sorocaba. Projeto de Lei nº120/96. Sorocaba, 1996.

SOUZA, D. M.; RUBINGER, S. D. Implementação da metodologia de análise de ciclo de vida na gestão de resíduos sólidos urbanos. Anais..23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande – MS. 2005

SOUZA, M. T. S.; PAULA, M. B., SOUZA-PINTO, H. O papel das cooperativas de reciclagem nos canais reversos pós-consumo. **Revista . Administração de Empresa**. 2012, vol.52, n.2, pp. 246-262.

SPINACÉ, S. A. M.; DE PAOLI, A. M. A tecnologia de reciclagem dos polímeros. **Química Nova**. v. 28, n.1, p. 65-72. 2005

THITAME, S.N; PONDHE, G.M; MESHRAM, D.C. Characterisation and Composition of Municipal Solid Waste (MSW) Generated in Sangamner City, District Ahmednagar, Maharashtra, India. **Environmental Monitoring and Assessmen**. v. 170, p. 1-5, 2010.

UNFCCC. Indicative simplified baseline and monitoring methodologies for selected small-scale CDM project activity categories: Landfill Methane Recovery. Disponível em <http://cdm.unfccc.int/methodologies/SSCmethodologies/approved.html>. Acesso em 02 de novembro de 2012.

USEPA - United States Environmental Productios Agency. Municipal Solid Waste Generation, Recycling and Disposal in the United States: Facts and Figures for 2008. Disponível em <<http://www.epa.gov/osw/nonhaz/municipal/pubs/msw2008rpt.pdf>>. Acesso em 28 ago 2011.

WIEBECK, H. ; PIVA, A. M. . Reciclagem do Plástico. 1. ed. São Paulo: ArtLiber, 2004. 111p

WITTMAYER, M.; LANGER, S.; SAWILLA, B. Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development of waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany, **Waste Management**. vol. 29. 2009. 1732-1738 p.

XARÁ, S.; SILVA, M.; ALMEIDA, M. F.; COSTA, C. A aplicação da análise do ciclo de vida no planeamento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. In International Chemical Engineering Conference, 8th, - CHEMPOR 2001, Aveiro, Portugal. Set, 2001. Aveiro, Portugal. 1467-1474 p.

ZANIN, M.; Mancini, S. D. **Resíduos Plásticos e reciclagem**: aspectos gerais e tecnologia. São Carlos: Edusfcar, 2004, 143 p.

ZENG, Y. *et al.* Characterization of Solid Waste Disposed at Columbia Sanitary Landfill in Missouri. **Waste Management & Research**. v. 23, p.62-71, 2005.

Glossário

Alocação: é a metodologia utilizada para dividir as cargas ambientais de um processo entre os diversos produtos gerados (COLTRO, 2007). A norma ISO 14044:2009 recomenda que a alocação seja sempre evitada, através da expansão do sistema, que tem a finalidade de adicionar os processos referentes aos co-produtos, ou da separação dos dados elementares a serem alocados em cada subprocesso ou co-produto (ABNT, 2009b). Alocação física é quando as alterações qualitativas são relacionadas às mudanças dos fluxos nas entradas e saídas; alocação econômica ocorre quando a divisão é baseada no valor econômico dos diferentes produtos (COLTRO, 2007).

Fluxo de Referência: determina qual é a real quantidade do produto que será necessária para executar a função estabelecida no estudo (CURRAN, 2006).

Fronteira do Sistema: estabelece limites para o estudo, definindo quais processos serão considerados. As fronteiras podem ser geográficas, temporais, tecnológicas e ambientais relacionadas à produção e ao ciclo de vida (COLTRO, 2007; ABNT, 2009a).

Função do Sistema: deve descrever o sistema e o seu desempenho, relaciona-se a atividade que será executada, como por exemplo, a função de um aterro sanitário é receber resíduos sólidos de um município ou região e servir de destinação final para os mesmos.

Requisitos de Qualidade dos Dados: para assegurar a qualidade dos dados, o alcance dos objetivos e a confiabilidade do estudo e das conclusões são necessários que as características dos dados sejam definidas e que haja transparência (COLTRO, 2007; ABNT, 2009a). O estabelecimento de alguns parâmetros, tais como: abrangência temporal, geográfica, tecnológica, precisão, completeza e representatividade, possibilitam a minimização da incerteza dos dados (COLTRO, 2007).

Unidade Funcional: estabelece a definição do que será estudado e constitui-se como a unidade de referência quantitativa na qual serão relacionadas e contabilizadas todas as entradas e saídas do sistema, assegurando que os estudos comparativos possuam a mesma base de referência (CURRAN, 2006; COLTRO, 2007; ABNT, 2009a; FERREIRA, 2004).