



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades



Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

MICHEL XOCAIRA PAES

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE PIEDADE/SP E PROJEÇÕES DE CENÁRIOS PARA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

Bauru
2013

MICHEL XOCAIRA PAES

**INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO
MUNICÍPIO DE PIEDADE/SP E PROJEÇÕES DE CENÁRIOS PARA
AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS**

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

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini

Coorientador: Prof. Dr. Luiz Alexandre Kulay

Bauru

2013

Paes, Michel Xocaira.

Inventário do ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e projeção de cenários para avaliação de impactos ambientais /

Michel Xocaira Paes, 2013

122 f. : il.

Orientador: Sandro Donnini Mancini

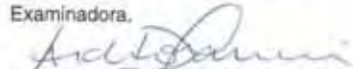
Coorientador: Luiz Alexandre Kulay

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


1. Resíduos sólidos. 2. Impacto ambiental - Avaliação. 3. Gestão ambiental. I. Universidade Estadual Paulista. Campus Experimental de Sorocaba. II. Título.

**ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MICHEL XOCAIRA PAES,
DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL,
DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.**

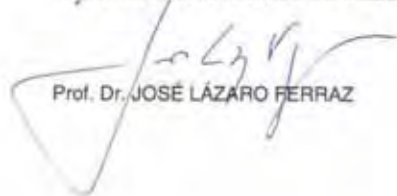
Aos 06 dias do mês de dezembro do ano de 2013, às 09:00 horas, no(a) Campus Experimental de Sorocaba/UNESP, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI do(a) Coordenadoria Executiva / Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. GERSON ARAUJO DE MEDEIROS do(a) Coordenadoria de Curso / Unidade de Sorocaba, Prof. Dr. JOSÉ LÁZARO FERRAZ do(a) Departamento de Engenharia Mecânica/FATEC/Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MICHEL XOCAIRA PAES, intitulado "INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA DO SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS DO MUNICÍPIO DE PIEDADE/SP E PROJEÇÕES DE CENÁRIOS PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI



Prof. Dr. GERSON ARAUJO DE MEDEIROS



Prof. Dr. JOSÉ LÁZARO FERRAZ

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pela eterna presença, compreensão e apoio em todos os momentos da minha vida e aos mais novos membros da minha família, Diana e Tomás, crianças que me fazem ter ainda mais esperança e força para lutar por um mundo mais justo e solidário.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Professor Sandro por toda orientação, regada de muita dedicação, atenção, paciência, empatia e companheirismo nessa fase tão importante da minha vida. Obrigado por todo conhecimento transmitido e compartilhado.

Agradeço ao Professor Luiz, pela coorientação deste trabalho e por toda dedicação, atenção e paciência desde a época da especialização. Muito obrigado pelo companheirismo e conhecimento transmitido.

Ao Professor Jorge Hamada, docente da disciplina manejo de resíduos, membro da minha banca de qualificação e que esteve presente no meu trabalho do início ao fim, sempre me apoiando através dos seus conhecimentos.

Ao Professor Gerson, membro da banca da qualificação e defesa. Obrigado por todo apoio, atenção e conhecimento transmitido e compartilhado.

Ao Professor Lázaro, membro da banca de defesa deste trabalho e que sempre esteve presente em minha vida desde a época da graduação.

Ao Professor Bruno, por toda atenção, paciência e conhecimento transmitido através da participação neste trabalho.

Ao Alex, membro do GP2 da USP, que sempre esteve presente e me apoiou em momentos de dúvidas e necessidades de apoio.

A todos os Professores do Mestrado e aos funcionários da Seção de Pós Graduação.

A *teacher* Francis, pelos ensinamentos e apoio durante essa minha etapa.

À Raquel, minha mulher, amiga e companheira, que sempre está ao meu lado com muita dedicação, compreensão e atenção. Seja para me apoiar nas revisões gramaticais ou para me acalantar com seu amor e carinho. Obrigado por fazer parte de mim.

A toda minha família, minha avó, meus tios e primos, em especial minha irmã Mirela, meu pai Odir e minha mãe Maria Emília, sempre presentes e me apoiando em todas as fases da minha vida.

Ao meu cunhado e amigo Cleber e ao meu amigo Marcelinho, um agradecimento especial, pois além de amigos e membros da minha família, sempre me apoiaram e estiveram presentes na minha vida profissional e acadêmica, contribuindo e muito para a minha evolução.

Aos amigos e companheiros de ideias, ideais, trabalho e batalha, que estiveram juntos comigo entre os anos de 2009 e 2012 na Prefeitura Municipal de Piedade. Um agradecimento especial ao Prefeito Geremias e aos amigos Marcelo, João Paulo, Marco Antonio e Elton, que sempre me apoiaram incondicionalmente na execução deste trabalho.

Aos amigos e companheiro de pasta, Jussara e Elzo, secretários de meio ambiente de Sorocaba e Votorantim, por todas as sementes plantadas, semeadas e compartilhadas em conjunto nos últimos anos.

Ao amigo José Luiz Majolo, presente em todos os momentos da minha vida profissional.

Para finalizar, a todos aqueles que estão na minha vida a muitos anos me apoiando, me entendo, mas principalmente me dando alegrias e momentos de descontração e inspiração. Obrigado a todos meus amigos e amigas: Mosca, Wil, Dado, Theo, Pipe, Leonel, Nene, Benato, João Vitor, Danilo, Vanessa, Rê, Luana, Cássia, Chicão, Fer e os demais já citados acima. Vocês fazem a diferença.

Resumo

A Gestão Integrada de Resíduos e a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) são assuntos relativamente recentes para a comunidade brasileira. Com a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), de 2010, o país passa a ter novos desafios e oportunidades frente ao gerenciamento dos resíduos, em especial ao reaproveitamento e tratamento dos resíduos sólidos urbanos e àqueles sujeitos a implantação de ações de logística reversa. O presente trabalho é uma contribuição ao tema, elaborando um inventário do ciclo de vida (ICV) e avaliando os impactos ambientais das etapas que compreendem o processo de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de Piedade – SP. Complementarmente a isso, este trabalho realiza projeções de cenário com diferentes metas de reaproveitamento dos resíduos secos e úmidos e discute ainda a eficiência da abordagem em questão como ferramenta de apoio a tomada de decisões dentro da gestão ambiental. O estudo permitiu observar que através da adoção das metas de 30%, 50% e 70% para o reaproveitamento dos resíduos secos recicláveis, sugeridas pela versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, houve melhoria no desempenho ambiental do sistema de gestão de resíduos em 10%, 15% e 20%. Também foi possível detectar a melhoria de 3% na redução dos impactos ambientais através do atual sistema de gestão de resíduos do município – se comparado com o cenário sem coleta seletiva e triagem – e quando foram implantadas as metas de 37% de reaproveitamento dos resíduos úmidos e 30% dos resíduos secos pode-se perceber grande evolução (54%) na mitigação dos impactos ambientais anuais, em especial nas mudanças climáticas. Além disso, foi possível perceber também que o transporte de resíduos em si constitui-se da etapa mais impactante em termos de contribuição (47%) para os impactos ambientais avaliados pelo estudo e que o impacto ambiental que recebe maior contribuição do SGRSU são os combustíveis fósseis (55%). Assim, ações de gestão compartilhada e/ou consorciada dos resíduos sólidos urbanos entre os municípios da região, especialmente aqueles de pequeno e médio porte, se apresentam como boas alternativas para a melhoria dos indicadores de desempenho ambiental dos sistemas de gerenciamento de resíduos, em especial para a implantação de ações para o reaproveitamento e/ou beneficiamento dos resíduos sólidos recicláveis e úmidos.

Abstract

The Integrated Waste Management and Life Cycle Assessment (LCA) are relatively new issues for the Brazilian community. With the National Policy on Solid Waste (PNRS), from 2010, the country started to have new challenges and opportunities facing the management of waste, in particular about the treatment and reuse of urban solid waste and those subject to implementation of actions for logistics reverse. This work is a contribution to the theme developing a life cycle inventory (LCI) and assessing the environmental impacts of the steps that make part of the management process of the urban solid waste in the town of Piedade - SP. In addition to this, this work conducts scenario forecasts with different targets for dry and wet waste reuse and also discusses the effectiveness of the subject in question as a way to support decision-making in environmental management. This study showed that by adopting the goals of 30%, 50% and 70% for the recycling of dry recyclable waste, suggested by the preliminary version of the National Plan for Solid Waste, there was an improvement in the environmental performance of the waste management system in 10%, 15% and 20%. It was also possible to detect a 3% improvement in the reduction of environmental impacts through the current system of waste management in the town – if compared to the scenario without selective garbage collecting and screening – and when the targets of 37% for the recycling wet waste and 30% for the dry waste were implemented, it was possible to notice big changes in annual environmental impact mitigation (54%), particularly on climate change. Moreover, it was also possible to see that the transport of waste itself constituted the most striking step in terms of contribution (47%) for the environmental impacts assessed by the study and the environmental impact that received the largest contribution SGRSU were fuel fossils (55%). Thus, management actions shared and/or consortium of urban solid waste among the towns in the region, especially those of small and medium sizes, stand as good alternatives to improve the environmental performance indicators of waste management systems, in particular for the implementation of actions for the reuse and/or processing of solid and humid recyclable waste.

Índice de Figuras

Figura 1: Tecnologias de Tratamento de Resíduos utilizadas na Comunidade Europeia	23
Figura 2: Visão Sistêmica das Potenciais Etapas do Ciclo de Vida de um Produto.....	28
Figura 3: Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).....	33
Figura 4: Atividades de Gerenciamento de RSU do município de Piedade-SP.....	43
Figura 5: Sistema de Produto definido para caracterizar o SGRSU-Piedade (SP).....	47
Figura 6: Relação entre categorias de impacto e análises de danos.....	49
Figura 7: Atividades que compõem a Etapa de Transporte dos Resíduos.....	50
Figura 8: Atividades que compõem a Operação do Aterro Sanitário do Município.....	53
Figura 9: Atividades que compõem a Etapa de Triagem dos Resíduos	55
Figura 10: Fluxograma de Informações dentro do software SimaPro.....	64
Figura 11: Impactos ambientais advindos de cada cenário de operação do SGRSU	78

Índice de Quadros

Quadro 1 – Responsáveis pela gestão dos resíduos.....8

Quadro 2: Princípios, Diretrizes e Instrumentos das Políticas Nacionais de Resíduos Sólidos, Saneamento Básico e Consórcios Públicos.....15

Índice de Tabelas

Tabela 1: Quantidade de resíduos sólidos urbanos encaminhados para diferentes formas de destinação final.....	22
Tabela 2: Visão geral dos estudos de ACV selecionados.....	36
Tabela 3: Resíduos reaproveitados e encaminhados à disposição final.....	44
Tabela 4: Dados do projeto executivo do aterro sanitário da PMP adaptado para a base de dados – EcoInvent.....	51
Tabela 5: Quantidades Dispostas no Aterro e Destinadas para o Reaproveitamento considerando as metas estipuladas na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos.....	57
Tabela 6: Caracterização Gravimétrica dos Resíduos gerados no Município de Piedade-SP. Condição atual de operação.....	60
Tabela 7: Determinação da Unidade Funcional (U.F.) da Coleta Seletiva e Triagem.....	62
Tabela 8: Consumo de Água e Energia com base na UF da triagem.....	62
Tabela 9: Relação entre massa de CH ₄ emitida pelo aterro sanitário e massa de RSU gerados em cada cenário (expressa em t/t).....	63
Tabela 10: Relação entre volume de chorume gerado no aterro sanitário e massa de RSU gerados em cada cenário (expressa em m ³ /t).....	64
Tabela 11: Emissões Atmosféricas Médias Mensais para o Transporte de Resíduos em Piedade.....	66
Tabela 12: Quantidades de resíduos gerenciadas, metas PNRS e índices de reaproveitamento.....	67

Tabela 13: Resíduos Reaproveitados e Consumos de Água e Energia em cada Cenário...68	68
Tabela 14: Estimativa dos Benefícios Econômicos e Ambientais possíveis de serem gerados pela Reciclagem dos Resíduos Encaminhados para o Aterro Sanitário de Piedade – Cenário2.....68	68
Tabela 15: Estimativa dos benefícios econômicos diários se as quantidades encaminhadas ao aterro sanitário fossem encaminhadas à triagem.....69	69
Tabela 16: RSU Dispostos, Tempo de Operação, Geração de Metano e Chorume para cada Cenário em análise.....70	70
Tabela 17: Consumo de Diesel do Trator Esteira.....71	71
Tabela 18: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais considerando o Cenário 1.....72	72
Tabela 19: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais Cenário 2.....73	73
Tabela 20: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais – Cenário 3.....74	74
Tabela 21: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado s e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais. – Cenário 4.....75	75
Tabela 22: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais – Cenário 5.....76	76
Tabela 23: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais – Cenário 6.....77	77

Tabela 24: Aumento dos Impactos Ambientais Globais comparados com o Cenário Atual (2).....	78
Tabela 25: Comparação dos Resultados e contribuição de cada cenário para os impactos ambientais.....	79
Tabela 26: Comparação de Cenários na Categoria de Impacto Ambiental Mudanças Climáticas.....	80
Tabela 27: Categorias de danos como consequência dos impactos ambientais gerados pelas atividades de gerenciamento de resíduos nos Cenários 1, 2 e 3.....	81
Tabela 28: Categorias de danos como consequência dos impactos ambientais gerados pelas atividades de gerenciamento de resíduos nos Cenários 4, 5 e 6.....	81
Tabela 29: Impactos Ambientais Totais e Anuais nos Cenários 1, 2 e 3.....	83
Tabela 30: Impactos Ambientais Totais e Anuais nos Cenários 4, 5 e 6.....	84
Tabela 31: Reaproveitamento dos RSU, Impactos Ambientais Anuais e Melhoria no Desempenho Ambiental, em cada Cenário.....	85

Lista de Siglas e Abreviaturas

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ACV – Avaliação do Ciclo de Vida
- AICV – Avaliação do Inventário do Ciclo de Vida
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
- CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
- COTMAP – Cooperativa dos Trabalhadores do Meio Ambiente de Piedade
- DA – Digestão Anaeróbica
- ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
- FEB – Faculdade de Engenharia de Bauru
- FECOP – Fundo Estadual de Controle da Poluição
- FEHIDRO – Fundo Estadual de Recursos Hídricos
- FP – Função do Produto
- FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
- GEE – Gases de Efeito Estufa
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
- ICV – Inventário do Ciclo de Vida
- IERSD – Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares
- IGR – Índice de Gestão de Resíduos Sólidos
- IPEA – Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change
- IQR – Índice da Qualidade de Aterro de Resíduos
- IQC – Índice da Qualidade de Usina de Compostagem
- IQG – Índice de Qualidade de Gestão de Resíduos Sólidos
- ISO – International Organization for Standardization
- LCT – Life Cycle Thinking
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- PAC – Programa de Aceleração do Crescimento
- PMP – Prefeitura Municipal de Piedade
- PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
- PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
- PROCONVE – Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores
- REE – Resíduos Eletroeletrônicos
- RQA – Relatório da Qualidade Ambiental
- RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
- SEMA – Secretaria Estadual de Meio Ambiente
- SGRSU – Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SNVS – Sistema Nacional de Vigilância Sanitária

SUASA – Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária

TMB – Tratamento Mecânico Biológico

UF – Unidade Funcional

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNEP – United Nations Environment Programme

UNESP – Universidade Estadual Paulista

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	4
3	REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1	GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS	5
3.1.1	<i>Conceitos e definições</i>	5
3.1.2	<i>Classificação dos Resíduos Sólidos e seus Responsáveis</i>	6
3.1.3	<i>Impactos Socioambientais</i>	9
3.1.4	<i>Aspectos Gerenciais, Tecnológicos, Legais e Institucionais.</i>	11
3.2	PANORAMA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU) NO BRASIL E NO ESTADO DE SÃO PAULO	17
3.2.1	<i>Geração e Gerenciamento dos RSU</i>	17
3.2.2	<i>Políticas públicas para os RSU</i>	19
3.2.3	<i>Reciclagem, Logística Reversa e o Aproveitamento Energético dos RSU</i>	21
3.3	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV).....	27
3.3.1	<i>Conceitos de Ciclo de vida e de Avaliação do Ciclo de Vida</i>	27
3.3.2	<i>Usos e Aplicações da ACV</i>	29
3.3.3	<i>Limitações da ACV</i>	30
3.3.4	<i>Aspectos Normativos e Método de condução de estudos de ACV</i>	32
3.3.5	<i>ACV e RSU</i>	34
4	MÉTODO	40
5	PANORAMA DO MUNICÍPIO DE PIEDADE	41
6	AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV) DO SGRSU DE PIEDADE-SP	45
6.1	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS DA ACV	45
6.2	DEFINIÇÃO DE ESCOPO	45
6.2.1	<i>Função e Unidade Funcional (U.F.)</i>	46
6.2.2	<i>Sistema de Produto</i>	46
6.2.3	<i>Exclusão de dados</i>	47
6.2.4	<i>Requisito de Qualidade de Dados</i>	48
6.2.5	<i>Tipos de Dados</i>	48
6.2.6	<i>Crítérios de Alocação</i>	48
6.2.7	<i>Modelo e Categorias para Avaliação de Impactos Ambientais</i>	48
6.3	MODELAGEM DO SISTEMA DE PRODUTO PARA EFEITO DE ELABORAÇÃO DO INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV) DO SGRSU DE PIEDADE-SP.....	49
6.4	PROJEÇÃO DE CENÁRIOS COM BASE NO INVENTÁRIO DE CICLO DE VIDA (ICV)	56

6.5	ASPECTOS DA MODELAGEM COMPUTACIONAL DO SISTEMA DE PRODUTO	58
7	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	66
7.1	INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV).....	66
7.2	AVALIAÇÃO DO IMPACTO NO CICLO DE VIDA (AICV).....	71
7.2.1	<i>Cenário 1 – Sem Coleta Seletiva.</i>	71
7.2.2	<i>Cenário 2 - Situação Atual</i>	72
7.2.3	<i>Cenário 3 - Meta de 30% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos</i>	73
7.2.4	<i>Cenário 4 – Meta de 50% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos.</i>	74
7.2.5	<i>Cenário 5 – Meta de 70% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos.</i>	75
7.2.6	<i>Cenário 6 – Meta de 30% para o reaproveitamento dos resíduos secos e 37% para os resíduos úmidos.</i>	76
7.2.7	<i>Comparação dos Cenários e Resultados e Análise do Desempenho Ambiental</i>	77
8	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	86
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	88
10	ANEXOS	96
11	APÊNDICE	103

1 INTRODUÇÃO

Viabilizar e conciliar o desenvolvimento econômico, a equidade e a inserção social e melhorar os índices de qualidade de vida e do meio ambiente, sempre foram desafios frente o atual modelo de desenvolvimento, produção e consumo adotado em todo mundo.

Os diversos problemas econômicos e socioambientais da atualidade – como a crise financeira, o aquecimento global, a escassez de água e de alimentos e a fome e a miséria – tem motivado a reflexão e o debate por parte de governos, acadêmicos, empresários e, de maneira mais ampla, toda a sociedade civil.

Segundo Leff (2008) o saber ambiental é um questionamento sobre as condições ecológicas da sustentabilidade e as bases sociais da democracia e da justiça; é uma construção e comunicação de saberes que colocam em tela o juízo das estratégias de poder e os efeitos de dominação que se geram através de formas de detenção, apropriação e transmissão de conhecimento. Mudanças catastróficas na natureza ocorreram nas diversas fases de evolução geológica e ecológica do planeta. A crise ecológica atual pela primeira vez não é uma mudança natural; é uma transformação da natureza induzida pelas concepções metafísica, filosófica, ética, científica e tecnológica do mundo.

Ainda que diversas ações para equacionamento desta crise estejam neste momento em fases distintas de evolução, há ainda muito que caminhar em termos de engajamento da sociedade moderna em termos de proposição de ações e soluções que, ao menos, mitiguem os impactos socioambientais da atualidade. Ações de educação e formação, de gestão e política, de ciência e tecnologia e mobilização social já constam, inclusive de maneira recorrente, na pauta cotidiana do cidadão moderno. No entanto, sua materialização em termos de resultados efetivos encontra na falta de coordenação de esforços, formação de valores ligados ao tema e a sua problemática, e na ausência de incentivo governamental e de grandes instituições e corporações, obstáculos quase que intransponíveis.

Para Jacobi (2006) o tema dos resíduos sólidos é provavelmente aquele que melhor exemplifica a possibilidade de formulação de políticas públicas que promovam mudanças nos hábitos e atitudes dos cidadãos com o objetivo de minimizar ou prevenir a degradação ambiental. Entretanto, a timidez das políticas públicas a ela associados, assim como sua descontinuidade, tem criado um verdadeiro círculo vicioso.

Com a aprovação e regulamentação da Lei n.12.305 de 02 de agosto de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) – o Brasil passa a ter um novo marco legal e, assim, novos desafios e oportunidades, para suportar a gestão pública nesse campo.

O estabelecimento de alguns princípios, objetivos, instrumentos e definições, - como visão sistêmica, gerenciamento e gestão integrada de resíduos, avaliação do ciclo de vida, entre outros – trazem a tona a discussão de políticas públicas que realmente levem em consideração aspectos que integrem as dimensões sociais, econômicas, culturais, políticas e ambientais, sob a premissa do desenvolvimento sustentável e do controle social (BRASIL, 2010).

Em alguns países, principalmente da União Europeia, os índices de reaproveitamento de resíduos são muito superiores aos do Brasil. Essa disparidade pode ser explicada não apenas pela preocupação e engajamento da população frente às políticas de cidadania e meio ambiente, mas principalmente por questões históricas e geográficas (MUTHMANN, 2005).

Históricas, porque após a II Guerra Mundial, muitos países passaram a enfrentar dificuldades para extração e obtenção de recursos naturais – como aço, ferro, petróleo, alimento e água; e geográficas, pois em meados da década de 1980 a maioria dos países passou a ter dificuldades para escolher áreas que pudessem receber unidades de disposição final de resíduos (aterros sanitários).

A julgar pela forma de condução atual, o Brasil de hoje segue por caminhos muito semelhantes. Muito embora abundante em termos de recursos naturais, nota-se que nas regiões metropolitanas de estados economicamente importantes da União – como São Paulo, Rio de Janeiro e Paraná – há pouca disponibilidade de espaço territorial para a instalação de aterros. Dada a circunstância, o país tem a urgência de implantar ações, projetos e programas de curto, médio e longo prazo que equacionem o problema. Uma solução adequada seria o aumento significativo da taxa de reaproveitamento de resíduos, ação que, além de benefícios ambientais, seria capaz ainda de reduzir os impactos sociais que ocorrem em todas as etapas e dimensões da gestão integrada de resíduos da forma como a mesma é exercitada atualmente pelo serviço público.

Para isso, é interessante o fazer uso de ferramentas de gestão que tenham uma visão sistêmica sobre os serviços em análise, com o objetivo de subsidiar avaliações precisas e a implementação de ações de melhorias em todo o sistema.

Dentro deste enfoque a Filosofia de Ciclo de Vida (*Life Cycle Thinking*) apresenta-se como uma forma efetiva de abordagem em termos de gestão ambiental. Isso porque, considera, para efeito de avaliação de impactos ambientais, todas as interações que ocorrem entre os diversos estágios a serem cumpridos por um sistema antrópico no sentido de atender a uma necessidade (SILVA E KULAY, 2009).

Assim, o presente estudo dará uma contribuição ao tema gestão de resíduos ao estudá-lo a partir de conceitos de Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos e Serviços, o que permite avaliar os impactos ambientais de um sistema de resíduos existente bem como projetar como esses impactos podem ser diminuídos com a implantação de melhorias. Para tanto o desenvolvimento desta pesquisa foi realizado por meio da elaboração de um estudo de caso, que compreendeu, de sua parte, o inventário de cargas ambientais e a avaliação dos impactos ambientais advindos de diferentes cenários das etapas que compreendem o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (SGRSU) do município de Piedade – SP.

2 OBJETIVOS

Este estudo se propõe, no nível de seus objetivos gerais, a avaliar o desempenho ambiental do atual sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Piedade/SP, com base na metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Como objetivos complementares, porém não menos importantes da mesma iniciativa, podem ser também indicadas as seguintes ações:

- Apresentar um roteiro para aplicação da técnica de ACV para avaliação do desempenho ambiental de Sistemas de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRSU);

- Identificar e quantificar os aspectos ambientais, para composição e construção do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) do atual SGRSU do Município de Piedade/SP;

- Avaliar os impactos ambientais do atual sistema e de diferentes cenários de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos e;

- Propor, à luz das técnicas e tendências atuais no setor de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sugestões para a melhoria dos Sistemas de Gestão Integrada de RSU.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

3.1.1 Conceitos e definições

Segundo a PNRS, no seu capítulo II, entende-se por Resíduos Sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

O mesmo dispositivo trata, por outro lado, o termo Rejeito como: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Esta classificação predispõe uma digressão ao menos semântica, para não dizer, funcional. É de boa aceitação entre a comunidade científica que se debruça sobre o tema, o conceito de rejeito como bem desprovido de qualquer uso ou função. Por outro lado, o termo resíduo é entendido por muitos como bem com potencial de reaproveitamento, mesmo que para um uso menos nobre do atual.

Um exemplo comum de alteração de uso está no reaproveitamento dos resíduos da construção civil como agregados a outros produtos, como saibro, para manutenção de estradas vicinais rurais.

Outra definição importante, que também consta do capítulo II da PNRS trata de Gerenciamento de Resíduos Sólidos. Este pode ser compreendido como o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

A PNRS define também a Gestão Integrada de Resíduos, como o conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvolvimento sustentável (BRASIL, 2010).

Após o acima exposto é possível entender que para a adequada e correta tomada de decisões na gestão dos resíduos, é necessário considerar diversas dimensões, além da econômica, para que as ações, projetos e programas relacionados aos resíduos, atendam aos princípios e objetivos da PNRS.

3.1.2 Classificação dos Resíduos Sólidos e seus Responsáveis

Dando continuidade a contextualização do tema, é também elemento fundamental para o amadurecimento e avanço da discussão a classificação dos Resíduos Sólidos. Esta pode ser encontrada na norma técnica ABNT NBR 10.004/2004. De forma ampla os resíduos sólidos são estruturados pelo referido dispositivo de orientação em duas classes: Classe I – Resíduos perigosos; Classe IIA – Resíduos não perigosos não inertes; e, Classe IIB – Resíduos inertes.

De acordo com a mesma classificação, os Resíduos Perigosos se enquadram na Classe I dadas características de inflamabilidade, e graus de corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade. Estes resíduos podem causar ou contribuir para mortalidade ou incidência de doenças e efeitos maléficos ao meio ambiente, se manuseados ou dispostos de forma inadequada (ABNT NBR 10.004).

No outro extremo, Classe IIB, estão os Resíduos inertes por não apresentarem qualquer grau de solubilização em água, ao serem submetidos a testes definidos na norma ABNT NBR 10.006/2004 – Procedimento para Obtenção do Extrato Solubilizado em Resíduos Sólidos. Como exemplo desses materiais cita-se: tijolos, rochas, vidros, alguns plásticos e borrachas que não são facilmente decompostos (MANCINI, 2011).

São classificados como Classe IIA todos aqueles – bem como, as misturas deles derivadas – que em função de suas características em termos de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água não se enquadrarem em qualquer das categorias anteriores.

A PNRS oferece ainda outra forma de enquadramento para os resíduos, tomando neste caso por critério a origem dos mesmos. Esta compreende as seguintes classes:

- a) Resíduos domiciliares;

- b) Resíduos de limpeza urbana;
- c) Resíduos sólidos urbanos: os englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos nas alíneas “b”, “e”, “g”, “h” e “j”;
- e) Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico: os gerados nessas atividades, excetuados os referidos na alínea “c”;
- f) Resíduos industriais;
- g) Resíduos de serviços de saúde;
- h) Resíduos da construção civil;
- i) Resíduos agrossilvopastoris;
- j) Resíduos de serviços de transportes e;
- k) Resíduos de mineração.

Com a aprovação e regulamentação da PNRS, esta classificação passou a ser empregada regularmente para elaboração de políticas públicas. Observe-se que, da forma como está estruturada, esta especificação guarda relação direta com a responsabilidade compartilhada pela gestão dos resíduos, onde o gerador, em muitos casos, passa a ser o responsável pelo seu gerenciamento, desde a geração até sua disposição final. O Quadro 1 descreve de maneira sinótica a matriz de responsabilidades pelo gerenciamento de cada tipo de resíduos

Quadro 1 – Responsáveis pela gestão dos resíduos. Fonte: Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995.

Tipo de Resíduos	Responsável pelo Gerenciamento
1 - Resíduos domiciliares	PREFEITURA MUNICIPAL
2 - Resíduos de limpeza urbana	PREFEITURA MUNICIPAL
3 - Resíduos Sólidos Urbanos	PREFEITURA MUNICIPAL
4 - Resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços (*)	GERADOR/ PREFEITURA MUNICIPAL
5 - Resíduos dos serviços públicos de saneamento básico	GERADOR
6 - Resíduos industriais	GERADOR
7 - Resíduos de serviços de saúde	GERADOR
8 - Resíduos da construção civil	GERADOR
9 - Resíduos agrossilvipastoris	GERADOR
10 - Resíduos de serviços de transportes	GERADOR
11 - Resíduos de mineração	GERADOR

*Pode variar de acordo com legislação municipal específica sobre a quantidade máxima (kg/dia) que o Poder Público Municipal coleta e transporta.

Assim, após apresentados os conceitos e as etapas de gerenciamento de resíduos, através da classificação apresentada pela PNRS e do Quadro 1, que indica quem são os responsáveis por cada tipo de resíduos, é possível entender o que são os resíduos sólidos urbanos, que são gerenciados pelo poder público municipal.

Então compreende-se o sistema/ serviço que o presente trabalho irá analisar, sendo: as etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, cuja a responsabilidade pela sua gestão é do poder público municipal.

Alguns resíduos industriais, da construção civil, das atividades de mineração e agrossilvipastoris, por exemplo, podem se caracterizar pelo grande volume, bem como pelo alto grau de periculosidade. Para que seja possível efetivar o gerenciamento de alguns resíduos, torna-se necessário uma abordagem integrada, com participação de todos os atores envolvidos, em um sistema de responsabilidade compartilhada, desde a geração de um produto até a disposição final de seus resíduos, objetivando sempre o reuso, redução,

reciclagem dos materiais, assim como a minimização da disposição dos resíduos ou rejeitos nos sistemas de tratamento e disposição final (BARROS, Regina, 2012).

Segundo a PNRS (2010) a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, pode ser compreendida como um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos.

3.1.3 Impactos Socioambientais

Segundo Dias e Santos (2012), para refletir sobre os resíduos sólidos urbanos é necessário levar em conta aspectos espaciais, ambientais, de saúde, sociais, culturais e institucionais. No aspecto ambiental, será dos principais desafios a definição das melhores alternativas a serem adotadas que gerem menores impactos e que não sejam meramente tecnológicas. Essa condição se manifesta, por exemplo, quando nos referimos à produção de cerca de 11 mil toneladas de resíduos por dia no Município de São Paulo e mais de 17 mil toneladas por dia na região metropolitana de São Paulo.

A questão não tem ainda respostas imediatas. Uma forma de equacionar o problema seria, por exemplo, a combinação de alternativas, como a aplicação dos 3R's em todos os setores da sociedade. Outra possibilidade seria a busca de alternativas de tratamento e destinação e disposição final de resíduos, associada a implantação das ações de logística reversa e efetivação da coleta seletiva (DIAS E SANTOS, 2012).

No que se refere aos aspectos sociais, Dias e Santos (2012) destacam a inclusão social como tema fundamental, que deve ser tratado sem paternalismos, como parte das políticas públicas, sob uma lógica institucional, trazendo à tona efetivamente as possibilidades que uma política pública pode promover em termos de redução de desigualdades e inclusão social.

Outra questão relevante que deve ser considerada no gerenciamento dos resíduos refere-se à saúde da população, tanto na circunvizinhança próximas aos resíduos, quanto nos trabalhadores dos serviços de limpeza pública e manejo de resíduos sólidos.

Para Ferreira e Anjos (2009) a população a ser considerada em primeira abordagem compreende aquela que não dispõe de coleta domiciliar regular e que, ao se desfazer dos

resíduos produzidos, lança-os no entorno imediato em que vive, produzindo por isso um ambiente deteriorado – dada a presença de fumaça, mau cheiro, vetores transmissores de doenças, animais que se alimentam dos rejeitos – maléfico e nocivo à saúde. Em geral, compõem esta população os segmentos com menos índices de renda e meios de sobrevivência mais frágeis da sociedade.

Entretanto, dependendo das condições e da localização dessas moradias, os riscos à saúde humana podem se estendem às populações próximas a elas – que nem sempre são de baixa renda – podendo propiciar condições favoráveis a efeitos endêmicos e até epidêmicas de proporções incalculáveis.

Outra população sujeita à exposição aos resíduos municipais é a de moradores das vizinhanças das unidades de tratamento e destinação de tais resíduos. Por melhor que seja o padrão técnico da unidade - projeto, construção e operação - a questão do mau cheiro está sempre presente quando se manuseiam grandes quantidades de resíduos domiciliares. Isso ocorre face a decomposição da matéria orgânica, fator fundamental para o fechamento de usinas de reciclagem e compostagem no Brasil (FERREIA E ANJOS, 2009).

Em muitas cidades brasileiras a situação se agrava pelo fato de os resíduos sólidos municipais serem dispostos no solo, de forma inadequada, em vazadouros a céu aberto (*lixões*). Devido ao fácil acesso aos locais de disposição final e a necessidade de adquirir materiais/ resíduos que possam gerar algum tipo de renda, tais instalações acabam por atrair catadores. Esta população, que vive em geral próxima aos vazadouros, serve de vetor para a propagação de doenças originadas dos resíduos, podendo por isso transmitir doenças para pessoas com quem mantém contato (FERREIA E ANJOS, 2009).

Ferreira e Anjos (2009) destacam por fim que por mais difícil que seja o estabelecimento de uma relação de interferência na saúde pelo contato desta população com os resíduos sólidos municipais, não há razões para se imaginar que a mesma não exista.

Os impactos provocados pelos resíduos sólidos municipais podem também afetar a população em geral por meio da poluição e contaminação dos corpos d'água e dos lençóis subterrâneos, direta ou indiretamente. Isso, dependendo do uso da água e da absorção de material tóxico ou contaminado.

A sociedade está ainda exposta ao consumo de carne de animais criados nos vazadouros e que podem ser causadores da transmissão de doenças ao ser humano. Estima-se que mais de cinco milhões de pessoas morrem por ano, no mundo inteiro, devido a enfermidades relacionadas com resíduos (FERREIA E ANJOS, 2009).

Os trabalhadores diretamente envolvidos com os processos de manuseio, coleta, transporte, triagem e destinação final dos resíduos, também estão expostos aos impactos derivados dos resíduos sólidos. A exposição neste caso se dá pelos riscos de acidentes de trabalho provocados pela ausência de treinamento, pela falta de condições adequadas de trabalho e pela inadequação da tecnologia utilizada à realidade dos países em desenvolvimento; e pelos riscos de contaminação pelo contato direto e mais próximo com os resíduos, onde há maiores probabilidades da presença ativa de microorganismos infecciosos (FERREIA E ANJOS, 2009).

A adoção do modelo mundial de terceirização e privatização dos serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos nos países em desenvolvimento pode ter um reflexo negativo sobre a saúde dos trabalhadores. Isso porque nas empresas privadas do setor além de uma redução nos padrões salariais, há grande rotatividade de mão de obra reduzindo assim efetividade de programas de treinamento e de prevenção. Isso pode resultar não apenas no aumento no número de acidentes de trabalho, mas também, na deterioração das condições laborais dos referidos trabalhadores (FERREIA E ANJOS, 2009).

3.1.4 Aspectos Gerenciais, Tecnológicos, Legais e Institucionais.

3.1.4.1 Aspectos Gerenciais e Tecnológicos dos RSU

Segundo Grippi (2006), o gerenciamento dos resíduos municipais deve se iniciar pelo diagnóstico de todos os fatores que o influenciam. O autor define como fatores de influência: o número atualizado de habitantes do município; poder aquisitivo médio da população; condições climáticas predominantes da região em análise, hábitos e costumes da população; e, seu nível educacional. Além destes outros aspectos- agora de caráter complementar – devem igualmente ser considerados para efeito de planejamento de ações de curto, médio e longo prazo, na gestão integrada dos resíduos sólidos. São eles: 1) geração *per capita*, obtido por amostragem; 2) Taxa de Crescimento Populacional; 3) Taxa de incremento futuro dos serviços de limpeza pública; e 4) Taxa de incremento da geração *per capita*.

Neste último item, deve-se particularmente contemplar a adesão dos programas de coleta seletiva, avaliando quais os potenciais benefícios econômicos e financeiros que a reciclagem pode trazer ao município ou a prefeitura; considerando que a cada tonelada deixada de ser coletada e disposta haverá uma redução dos gastos com esses serviços (GRIPPI, 2006).

Segundo Ferraz (2007) para uma boa compreensão do funcionamento de um sistema de gerenciamento de RSU – sempre no intuito de que este sirva de alicerce para ações eficazes –, é necessário visualizar e entender todas as etapas do sistema com as quais esse sistema deverá interagir. Este entendimento se inicia pela dimensão estratégica, com a elaboração de políticas de educação ambiental, inclusão social dos catadores por meio de cooperativas, ações planejamento, capacitação, entre outras. A segunda etapa está relacionada aos sistemas de coleta e transporte dos resíduos; a terceira etapa está ligada à triagem e processamento e, por fim, a última etapa do SGRSU compreende ações de tratamento, destinação e disposição final.

Na etapa de tratamento e destinação e disposição final há grande diversidade em termos não apenas tecnológicos, mas também e principalmente, operativos, de formas de execução. Essa variabilidade torna oportuna uma digressão quanto às principais alternativas utilizadas no Brasil para o referido desenvolvimento.

Segundo diagnóstico realizado para a elaboração da versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o Brasil encaminha atualmente seus resíduos e rejeitos da seguinte forma: 58,3% da massa coletada encaminhada para os aterros sanitários; 19,4% para aterros controlados; 19,8% para os lixões; 0,8% para unidades de compostagem; 1,4% para unidades de triagem e reciclagem; <0,1% para incineração; <0,1% para vazadouros em áreas alagáveis e 0,3% para outras formas de tratamento e destinação/ disposição (BRASIL, 2011).

Segundo definições apresentadas pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, lixão é a forma inadequada de disposição final de resíduos e rejeitos, que consiste na descarga do material no solo sem qualquer técnica ou medida de controle (BRASIL, 2011).

Os aterros controlados também são procedimentos inadequados de disposição final de resíduos e rejeitos, no qual o único cuidado realizado é o recobrimento da massa de resíduos e rejeitos com terra (BRASIL, 2011).

Já os aterros sanitários, que contam com as condições mais adequadas do ponto de vista da engenharia ambiental e sanitária, são caracterizados como a técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, que não devem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza os princípios de engenharia (impermeabilização do solo, cercamento, ausência de catadores, sistema de drenagem de gases, águas pluviais e lixiviado) para confinar os resíduos e rejeitos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-o com uma camada de

terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (BRASIL, 2011).

Os critérios e itens, estabelecidos pelo governo do estado de São Paulo, para a adequada operação de um aterro sanitário estão apresentados no Apêndice I deste estudo.

Porém, essas não são as únicas tecnologias de tratamento e destinação/ disposição dos RSU. Em especial a união europeia, tem adotado outras tecnologias como as mais adequadas para localidades com altas densidades populacionais e/ou poucas áreas disponíveis para a disposição final dos RSU em aterros. O tratamento térmico (incineração), compostagem e o tratamento mecânico biológico (TMB) podem ser boas alternativas.

O tratamento térmico, realizado por meio de incineradores, é um processo que reduz de maneira acentuada o volume dos resíduos em até 90% e o peso em até 70%. Tal processo é realizado por meio de combustão controlada, com monitoramento permanente, visando à disposição do material remanescente, normalmente em aterros. Para ser utilizado também como fonte de cogeração de energia, porém é fundamental que haja grande quantidade de resíduos secos combustíveis, como o papel e plástico; caso contrário, parte da energia usada será para evaporar a água presente nos resíduos (BARROS, Raphael, 2012).

Já a compostagem é uma transformação dos resíduos orgânicos, através de processos físicos, químicos e biológicos – que precisam ser monitorados –, em material mais estável e resistente. Como resultado deste processo, obtém-se um condicionador orgânico denominado composto. Descrito de outra maneira, a compostagem é um processo controlado de estabilização de resíduos orgânicos promovido por uma colônia mista de microorganismos normalmente aeróbicos, e que envolve a ação humana para acelerar a decomposição destes resíduos, através da manipulação de vários materiais e do próprio processo, obtendo assim o composto, produto bastante útil (BARROS, Raphael, 2012).

Para Silva e Nogueira (2011), a tecnologia de TMB, considera a separação dos RSU por tratamento mecânico, em que o resíduo orgânico é separado dos demais resíduos e encaminhado ao tratamento biológico. A parte não orgânica é disposta em aterro sanitário. A matéria orgânica é tratada em biodigestores, por digestão anaeróbia (DA), na qual ocorre a produção de biogás, que pode ser utilizado como fonte de energia. Os biossólidos gerados devem ser encaminhados para o processo de secagem utilizando a energia térmica da queima de biogás e em seguida dispostos em aterro.

Os biodigestores são estruturas simples e confiáveis e o gás proveniente da decomposição da matéria orgânica pode ser recuperado e usado como fonte de energia, economizando assim a utilização de outros combustíveis, como petróleo e carvão. O sistema também gera biofertilizantes que, se bem controlados, podem ser empregados para o uso agrícola. Após o tratamento da matéria orgânica, há uma redução no volume dos resíduos de 38% em média (BARROS, Raphael, 2012).

Assim, como atualmente os municípios brasileiros tem o desafio de elaborar seus planos municipais ou intermunicipais de gestão integrada de resíduos – contendo o diagnóstico da situação atual; mecanismos para a valorização dos resíduos sólidos; metas de redução, reutilização, coleta seletiva e reciclagem, entre outras; – tais tecnologias descritas anteriormente, devem se apresentar como boas alternativas para o beneficiamento e melhor aproveitamento dos resíduos, principalmente em regiões metropolitanas que possuem grande volume de geração de resíduos e dificuldade para obtenção de áreas para a instalação de aterros.

3.1.4.2 Aspectos Legais e Institucionais

As principais ferramentas legais que alicerçam a destinação de recursos e norteiam as ações de gestão dos RSU na região de Piedade-SP, cidade onde o estudo foi realizado, são: a Política Estadual e Nacional de Resíduos Sólidos, o Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos dos Rios Sorocaba e Médio Tietê (UGRHI 10), a Lei Federal de Consórcios Públicos, a Lei Nacional de Saneamento, bem como as leis municipais relacionadas aos resíduos, a coleta seletiva, além dos planos diretores municipais e dos planos de saneamento básico e de gestão integrada de resíduos.

Os principais instrumentos, princípios e diretrizes que auxiliam na execução, implantação das ações e efetivação dessas políticas públicas - em especial da Política Nacional de Resíduos Sólidos, da Lei Nacional de Saneamento Básico e da Lei de Consórcios Públicos - estão destacados no Quadro 2.

Quadro 2: Princípios, Diretrizes e Instrumentos das Políticas Nacionais de Resíduos Sólidos, Saneamento Básico e Consórcios Públicos.

- 1- universalização do acesso;
- 2- integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;
- 3- abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;
- 4- adoção de métodos, técnicas e processos que considerem as peculiaridades locais e regionais;
- 5- articulação com as políticas de desenvolvimento urbano e regional, de habitação, de combate à pobreza e de sua erradicação, de proteção ambiental, de promoção da saúde e outras de relevante interesse social voltadas para a melhoria da qualidade de vida, para as quais o saneamento básico seja fator determinante;
- 6- eficiência e sustentabilidade econômica;
- 7- o poluidor pagador e protetor recebedor;
- 8- utilização de tecnologias apropriadas, considerando a capacidade de pagamento dos usuários e a adoção de soluções graduais e progressivas;
- 9- segurança, qualidade e regularidade;
- 10- integração das infra-estruturas e serviços com a gestão eficiente dos recursos hídricos;
- 11- planejamento integrado e compartilhado do gerenciamento dos resíduos sólidos;
- 12- planos estaduais, regionais e municipais de gerenciamento e gestão integrada dos resíduos sólidos;
- 13- a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos;
- 14- o respeito às diversidades locais e regionais;
- 15- não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos;
- 16- monitoramento dos indicadores da qualidade ambiental;
- 17- aporte de recursos orçamentários e outros, destinado prioritariamente às práticas de prevenção a poluição, minimização dos resíduos gerados e recuperação de áreas degradadas e remediação de áreas contaminadas por resíduos sólidos;
- 18- incentivos a gestão regionalizada dos resíduos e a adoção de consórcios públicos ou de outras formas de cooperação entre os entes federados;
- 19- linhas de financiamento dos fundos estaduais;
- 20- educação ambiental;
- 21- incentivo mediante programas específicos para a implantação de unidades de coleta, triagem, beneficiamento e reciclagem de resíduos;
- 22- incentivo ao uso de resíduos e materiais reciclados como matérias primas e;
- 23- incentivo a pesquisa e implementação de processos que utilizem tecnologias limpas.

A Lei nº 11.107 de 2005, que estabelece normas para os consórcios públicos, vem ao encontro dos instrumentos e diretrizes estabelecidas em outras legislações que buscam alternativas regionais e compartilhadas para melhorias nos serviços de saneamento básico (BRASIL, 2005).

Segundo Jacobi (2006), a ideia do consórcio surge num contexto em que se verifica que a degradação do meio ambiente não prejudica apenas um município, mas toda a região.

A poluição de um rio, provoca danos ambientais em todas as cidades localizadas na mesma bacia hidrográfica. A experiência aponta ainda para outras questões importantes. Ao se juntar esforços, se inicia de forma sistemática uma política de coleta seletiva e tratamento de resíduos, o que geralmente representa uma inovação para as cidades com menos de 100 mil habitantes.

Conforme descrito anteriormente, existem alternativas tecnológicas, porém ainda faltam projetos bem elaborados, planejamento, gestão eficaz dos recursos existentes e articulação institucional para que essas tecnologias possam ser aplicadas em grande escala.

Atualmente os responsáveis pela aplicação de recursos e elaboração de políticas públicas voltadas à gestão dos RSU no Governo Federal são: o Ministério das Cidades, por meio da Secretaria Nacional de Saneamento; o Ministério da Saúde, via Fundação Nacional de Saúde (Funasa), para os municípios com até 50 mil habitantes e; o Ministério do Meio Ambiente, que também disponibiliza editais para os Estados e Município por intermédio da Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. No Estado de São Paulo em específico, cabe a Secretaria de Meio Ambiente e a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos conduzir as políticas públicas para a gestão dos RSU.

Compete a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (Cetesb) o licenciamento e fiscalização das atividades de triagem, transbordo e destinação final de resíduos e; as Secretarias de Meio Ambiente e de Saneamento e Recursos Hídricos – e seus respectivos Fundos Estaduais de Controle da Poluição (Fecop) e de Recursos Hídricos (Fehidro) – o financiamento das ações envolvendo todas etapas de gerenciamento dos RSU.

No âmbito municipal, elaboração das políticas públicas de resíduos sólidos urbanos é de responsabilidade da Coordenadoria de Meio Ambiente enquanto que a execução está a cargo da Diretoria de Obras e/ou Serviços Públicos. Em alguns casos responde pelas ações de execução o Serviço Autônomo Municipal de Saneamento.

No município de Piedade, a Coordenadoria de Meio Ambiente é a responsável pelas políticas públicas e a Diretoria de Obras e Serviços Públicos pela sua execução. Os Comitês de Bacias, via Planos de Bacias, os Conselhos Municipais, Estaduais e Federais ligados a temática ambiental e de resíduos, também são importantes atores na condução dessas políticas e ações.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Banco do Brasil e a Caixa Econômica Federal também disponibilizam recursos financeiros para a implantação de projetos na área de resíduos. Estes podem ser acessados por meio de linhas

de financiamentos reembolsáveis ou através dos chamados fundos perdidos ou financiamentos não reembolsáveis.

Com o Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do Governo Federal, existem recursos disponíveis para execução de grande parte dos serviços, obras e instalações necessárias para melhorias do saneamento básico. No entanto, com já foi destacado, os municípios ainda carecem de planejamento, projetos consistentes e boa articulação institucional.

O arrazoado antes apresentado teve por objetivo destacar não apenas a grande responsabilidade, como também, o nível da complexidade a que o poder público municipal se submete ao gerir os resíduos sólidos urbanos dentro de sua jurisdição.

3.2 Panorama dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) no Brasil e no Estado de São Paulo

A formulação de panoramas atualizados da situação dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) tanto no país, como no Estado de São Paulo, predispôs o levantamento de dados e informações junto a fontes consistentes e referenciáveis. Assim, foram utilizadas como fontes de referências o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do Ministério das Cidades, os Estudos do Plano Nacional de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente e o Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares (IERSD) e o Relatório da Qualidade Ambiental (RQA), ambos da Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

3.2.1 Geração e Gerenciamento dos RSU

Um diagnóstico realizado pelo SNIS, ao longo do ano de 2011, apontou uma cobertura do serviço regular de coleta domiciliar de RSU, igual a 98,5% da população urbana. A massa coletada de resíduos domiciliares e públicos nos municípios participantes do Diagnóstico foi de 35,4 milhões de toneladas no período. Os resíduos produzidos resultaram em massas médias mínimas e máximas per capita diárias que variaram entre 0,79kg na região Sul, até 1,40kg no Centro-Oeste, sendo a média para o País de 0,93 kg/hab./dia. Esses dados permitem extrapolar para o país um montante estimado de 53 milhões de toneladas de resíduos coletados no ano.

Segundo declaração dos órgãos gestores municipais que responderam ao SNIS, a disposição final da massa de resíduos coletados distribui-se em 74,9% para aterros sanitários, 22,8% para aterros controlados e lixões e 2,4% para unidade de triagem e de compostagem. Verificou-se também no mesmo levantamento um aumento de ocorrência em todo país, da prática de recuperação de resíduos recicláveis. No período em referência esta ação representou cerca de um milhão de toneladas de material, correspondendo a 6,3% do total de recicláveis secos (principalmente, papel, plástico, metal e vidro) presente na massa coletada (SNIS, 2013).

Tais informações divergem das apresentadas no item 3.1.4.1. – Aspectos Gerenciais e Tecnológicos – e da Tabela 1, pois ambas apresentam dados do Plano Nacional de Resíduos que utilizam como referência o ano de 2008, enquanto que o SNIS apresenta dados mais atuais, do ano de 2011. Se comparadas tais informações, pode-se notar um avanço, principalmente na erradicação dos lixões (que em 2008 representavam 19,8% e em 2011 representam 5,1%) e no aumento dos aterros sanitários (que passaram de 58,3% para 74,9%).

Em ambas as publicações do governo federal, as informações são obtidas através de questionários preenchidos pelas prefeituras, sem qualquer tipo de trabalho de campo por parte dos solicitantes dos dados.

No Estado de São Paulo, a Secretaria de Meio Ambiente (SEMA) utiliza como método de avaliação da gestão dos resíduos sólidos urbanos do estado, dois indicadores. São eles, Índice de Qualidade de Aterro de Resíduos (IQR) e o Índice de Gestão de Resíduos Sólidos (IGR). Valores do IQR e o conteúdo do IGR aparecem expressos nos Apêndices I e II, inseridos ao final deste documento.

A nota do IQR é atribuída pela Cetesb, órgão estadual de licenciamento e fiscalização dos aterros sanitários no estado, através de trabalhos de monitoramento de campo.

O IGR é calculado por uma equação matemática, podendo variar entre zero e 10, e é composto pelo IQR, que representa 35% da nota final, pelo Índice de Qualidade de Usinas de Compostagem (IQC), que representa 5%, e pelo Índice de Qualidade de Gestão de Resíduos Sólidos (IQG), que representa os outros 60% e agrega indicadores de quatro áreas: instrumentos para a política de resíduos sólidos, programas ou ações municipais, coleta e triagem, tratamento e disposição (SÃO PAULO, 2011).

Como descrito, este índice (IGR) é abastecido pelo IQR e IQC, que têm as avaliações e as notas efetuadas pela Cetesb. Porém grande parcela das suas informações

vem do IQG, que tem as informações obtidas através de questionário respondido pelas prefeituras, fato que não desqualifica, porém na prática não certifica a qualidade e imparcialidade das informações.

Para a classificação da qualidade da gestão de resíduos sólidos urbanos dos municípios (representado pelo IGR) são estabelecidas três categorias, sendo que a nota de 0 a 6 represente a gestão como ineficiente; 6 a 8 como mediana; e 8 a 10 como eficiente. Já o IQR classifica as unidades de tratamento e disposição final de resíduos, como inadequadas, controladas e adequadas, atribuindo as notas de 0 a 6, 6 a 8 e 8 a 10, respectivamente.

O Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares (2013) e o Relatório da Qualidade Ambiental do Estado de São Paulo (2011), apresentaram resultados animadores em termos de avanço no gerenciamento de resíduos no Estado de São Paulo representados por valores médios no estado de IQR = 8,3 e IGR = 7,0.

Pode-se observar que em 1997, exatos 77,8% dos sistemas de disposição final de resíduos encontravam-se em condições inadequadas; outros 18,0% ocorriam em condições controladas, e apenas 4,2% em condições adequadas. Já em 2012, não supera 8,4% o percentual de sistemas de disposição em condições inadequadas, enquanto que 91,6% se apresentam em condições adequadas. Na mesma publicação é apresentado o avanço comparado ao ano anterior (2011) que apresentava 23,7% dos sistemas de disposição em condições inadequadas e 76,3% em condições adequadas. A partir do ano de 2013 a Cetesb passou a classificar lixões e aterros controlados dentro do mesmo indicador, estabelecendo e atribuindo suas condições como inadequadas (SÃO PAULO, 2013).

Mesmo com esses importantes avanços em termos de controle e prevenção da poluição no estado, tais métodos e ferramentas de gestão ainda não expressam a eficiência ambiental dos serviços de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Sugere-se adicionar aos mesmos informativos, indicadores como, por exemplo, a quantidade de emissões atmosféricas advindas das etapas de coleta, transporte, tratamento e disposição final; o volume de resíduos reaproveitados, tratados, reutilizados e reciclados; assim como os impactos ambientais advindos das unidades de tratamento e disposição final.

3.2.2 Políticas públicas para os RSU

Bem antes mesmo da aprovação e regulamentação da Lei n.12.305 de 2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), algumas leis e instrumentos legais já

dispunham sobre a outorga de responsabilidades à população, à iniciativa privada e ao poder público, sempre em termos de gestão do meio ambiente. Com a promulgação da Constituição Federal de 1988, tanto a união, como os estados e municípios, tem o dever de proteger o meio ambiente e combater a poluição em qualquer de suas formas. Quando o tema é saneamento básico e gestão de resíduos, ainda existem discussões sobre a titularidade dos serviços principalmente em regiões metropolitanas, isto é, de que ente federativo será a responsabilidade de planejar, executar, prestar, fiscalizar e regular os serviços.

A Constituição Federal em seu artigo 21 parágrafo XX, atribui à União a responsabilidade de instituir diretrizes para o desenvolvimento urbano, inclusive habitação, saneamento básico e transportes urbanos (BRASIL, 1988).

Com a Lei 11.445 de 2007, que Estabelece Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico, a União passou também a arbitrar questões fundamentais relacionadas ao tema no Brasil. Um exemplo dessa ação compreende o conceito de saneamento básico, que pode ser compreendido pelo conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos e; d) drenagem e manejo de águas pluviais urbanas.

A Lei também define Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos Sólidos, que é conceituada, na forma da lei, como o conjunto de atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destino final do lixo doméstico e do lixo originário da varrição e limpeza de logradouros e vias públicas (BRASIL, 2007).

Mesmo havendo ainda debate sobre a titularidade dos serviços em regiões metropolitanas, as atribuições e responsabilidades de elaborar as políticas públicas e conseqüentemente planejar, regular e fiscalizar os serviços de saneamento são dos municípios. Por outro lado, a prestação dos serviços, inclusive de manejo de resíduos, pode ser conduzida por diversas vias e atores, como: pela própria municipalidade, através da administração pública direta ou indireta; por convênio e contrato de programa com empresa pública do estado ou consórcio público ou; por concessão dos serviços a iniciativa privada.

Segundo o SNIS com o avanço na quantidade de municípios presentes nesta publicação confirma-se que os órgãos públicos gestores do manejo de resíduos sólidos urbanos nos municípios são, em sua esmagadora maioria, organismos da administração direta (94,4%). A estes se seguem empresas públicas (2,7%) e autarquias (2,2%) e, por último, sociedades de economia mista com administração pública (0,7%) – (SNIS, 2013).

3.2.3 Reciclagem, Logística Reversa e o Aproveitamento Energético dos RSU.

Com o foco no desenvolvimento econômico e social do país e na proteção do meio ambiente, a PNRS e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (ainda em consulta e deliberação dos conselhos nacionais ligados ao tema), trazem como diretrizes e estratégias a redução da geração de RSU, a redução dos RSU secos dispostos em aterros e a inclusão de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis, além do tratamento e recuperação de gases dos aterros (BRASIL, 2010).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos contemplará os diversos tipos de resíduos gerados, alternativas de gestão e gerenciamento passíveis de implementação, bem como metas para diferentes cenários, programas, projetos e ações correspondentes (BRASIL, 2011).

Assim, o papel da coleta seletiva, reciclagem, logística reversa e tratamento e aproveitamento dos gases dos aterros, mais do que ações necessárias para a melhoria das condições socioambientais, passam a ser obrigações legais dos gestores responsáveis para efeito de cumprimento das diretrizes da PNRS.

Segundo o diagnóstico publicado na Versão Preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, atualmente 97,5%, em massa, dos RSU produzidos e coletados são encaminhados para a disposição final em aterros sanitários, aterros controlados e lixões. Somente o restante 2,5%, é destinado a unidades de compostagem, triagem e reciclagem, incineração e outros destinos, conforme detalhado e apresentado na Tabela 1 (BRASIL, 2011).

Tabela 1: Quantidade de resíduos sólidos urbanos encaminhados para diferentes formas de destinação final, para o ano de 2008. Fonte: Plano Nacional de Resíduos Sólidos

Destino Final	Quantidade (t /dia)	(%)
1- Aterro Sanitário	110.044	58,30
2- Aterro Controlado	36.673	19,40
3- Lixão	37.361	19,80
4- Unidade de Compostagem	1.520	0,8
5- Unidade de Triagem e Reciclagem	2.592	1,4
6- Unidade de Incineração	65	<0,1
7- Vazadouro em Áreas Alagáveis	35	<0,1
8- Outros	525	0,3
TOTAL	188.815	100%

Tais informações, como a grande quantidade de aterros controlados e lixões (39,2%) e os baixos índices de reaproveitamento através da compostagem e reciclagem (2,2%), demonstram a importância e necessidade da realização de investimentos urgentes em todas as etapas de gerenciamento de resíduos no Brasil. Esses investimentos devem, principalmente, ser destinados à erradicação dos aterros controlados e lixões, que têm grandes potenciais de impactos ambientais e na saúde da população, e também na ampliação dos indicadores de reaproveitamento dos resíduos.

Segundo dados do Instituto de Estatísticas da Comunidade Europeia – Unidade de Estatísticas do Ambiente, em alguns países da União Europeia – como Dinamarca e Holanda – os índices de resíduos sólidos urbanos que são dispostos em aterros não chegam a 10% do total gerado. Na Bélgica pouco mais de 10% é enviado para os aterros e na Alemanha pouco mais de 20%. Tais índices de reaproveitamento refletem o empenho de toda a sociedade na gestão dos resíduos sólidos urbanos (MUTHMANN, 2005).

Mesmo com grande diversidade cultural e nos padrões de consumo entre os países, o Brasil tem muito que absorver e avançar através das medidas já implantadas por esses países, por exemplo, através de métodos de gestão, aspectos legais e implantação de novas tecnologias.

Na maioria dos países europeus é comum que as diversas tecnologias de tratamento sejam integradas, com vistas a reaproveitar ao máximo os resíduos, tanto como fonte de matéria prima como fonte de energia. Assim, unidades de beneficiamento dos resíduos

orgânicos (compostagem), de reciclagem, incineração, aterros sanitários e outros, podem ser encontrados numa mesma região.

A Figura 1 apresenta uma relação dessas tecnologias de tratamento em termos de percentual de contribuição, para diferentes países europeus.

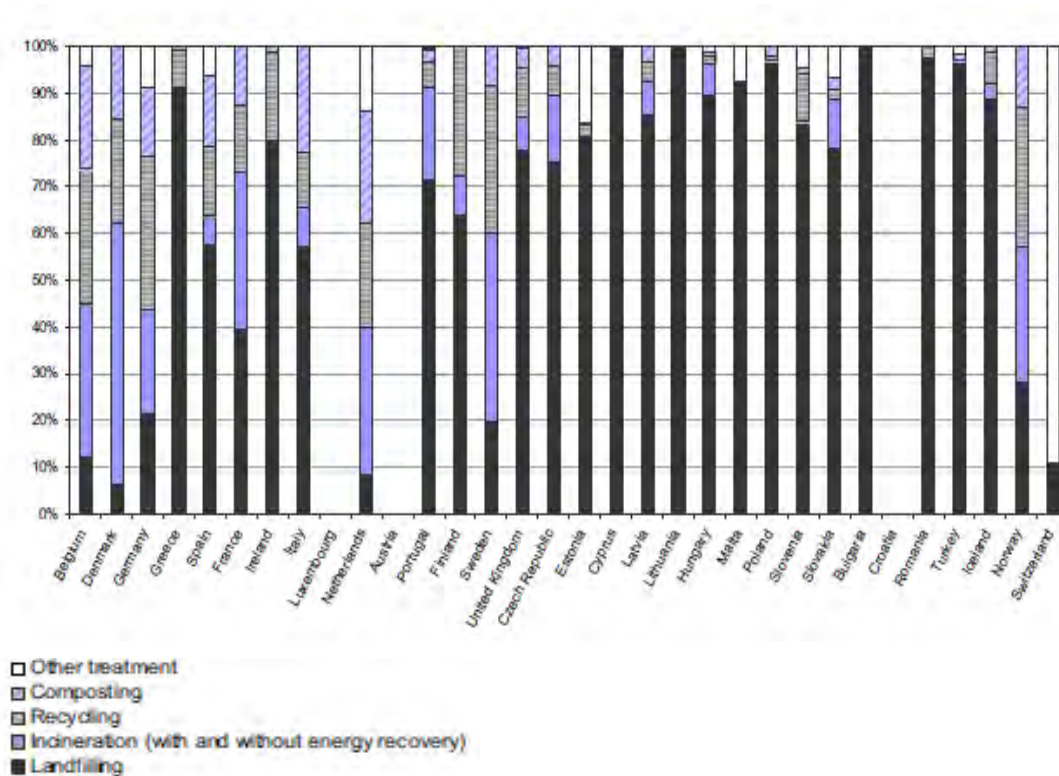


Figura 1: Tecnologias de Tratamento de Resíduos utilizadas na Comunidade Europeia (MUTHMANN, 2005)

Comparando os conteúdos da Tabela 1 e da Figura 1, conclui-se que o Brasil tem muito a avançar na gestão de resíduos. Nos países europeus é inconcebível a ideia de aceitar lixões em seus territórios e atualmente somente os rejeitos estão sendo dispostos nos aterros sanitários. Nesses países, os resíduos apresentam alto índice de reaproveitamento, seja através do retorno à cadeia produtiva, por meio do emprego de técnicas de reciclagem, logística reversa ou compostagem, ou para seu aproveitamento energético.

Devido à baixa eficiência no reaproveitamento de resíduos no Brasil, a Versão Preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, apresenta um plano de metas favorável, cuja aplicação efetiva, espera-se que venha a trazer cerca de 70% de redução dos resíduos secos dispostos em aterros para o ano de 2015. Para tanto, ações políticas, tecnológicas e de gestão são necessárias para sua efetivação. A implementação das mesmas medidas, se

apresentam no plano em caráter de urgência, dado que, de acordo com informações constantes do mesmo documento, apenas 18% dos municípios brasileiros contam com ações de coleta seletiva, estando a maioria localizada nas regiões sul e sudeste (BRASIL, 2011).

Segundo pesquisa desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA) em 2009, os benefícios econômicos gerados pela reciclagem variaram entre R\$1,4 bilhão e R\$3,3 bilhões anuais. A mesma pesquisa estima que se todo o material com potencial para ser reciclado fosse recuperado tais benefícios poderiam ter acréscimo de aproximadamente R\$ 8 bilhões ao ano (IPEA, 2010).

Esses benefícios foram calculados com a diferença entre os custos da produção primária e os custos a partir de matéria-prima secundária. Somam-se a essa diferença os benefícios associados à gestão de resíduos sólidos urbanos, calculados pela diferença entre os custos de coleta regular, disposição final e os custos de coleta seletiva. Este estudo desenvolvido pelo IPEA teve como objetivo subsidiar a adoção de políticas públicas de pagamentos por serviços ambientais urbanos para a gestão de resíduos (IPEA, 2010).

Este estudo desenvolvido pelo IPEA teve como objetivo subsidiar a adoção de políticas públicas de pagamentos por serviços ambientais urbanos para a gestão de resíduos.

Outros dois desafios que o Brasil vem enfrentando para cumprimento da PNRS são os acordos setoriais, firmados com o objetivo de implantar as ações de logística reversa; e, o estabelecimento de territórios ideais para a instalação de aterros sanitários que possam aproveitar a geração do biogás para a produção de energia (BRASIL, 2011).

Segundo a PNRS – no seu capítulo III, seção II, artigo 33, da Responsabilidade Compartilhada – são obrigados a estruturar e implementar sistemas de logística reversa, mediante retorno dos produtos após o uso pelo consumidor, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos, os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de: I – agrotóxicos, seus resíduos e embalagens, assim como outros produtos cuja embalagem, após o uso, constitua resíduo perigoso, observadas as regras de gerenciamento de resíduos perigosos previstas em lei ou regulamento, em normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional de Meio Ambiente (Sisnama), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária (SNVS) e do Sistema Único de Atenção à Sanidade Agropecuária (Suasa), ou em normas técnicas; II - pilhas e baterias; III - pneus; IV - óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; V - lâmpadas

fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista; VI - produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010).

Apresentado como um dos instrumentos da PNRS, a Logística Reversa é definida em seu Art. 3º, inciso XII como: o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado pelo conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada (BRASIL, 2010).

Pelo arrazoado acima indicado, pode-se perceber que a PNRS estabelece a responsabilidade compartilhada entre geradores, poder público, fabricantes e importadores pelos resíduos. Para a implementação da Logística Reversa é necessário o acordo setorial, que é caracterizado como um ato de natureza contratual firmado entre o poder público e fabricantes, importadores, distribuidores ou comerciantes, tendo em vista a implantação da responsabilidade compartilhada e assim, a gestão do ciclo de vida do produto (BRASIL, 2010).

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) realizada pelo IBGE em 2008, dos 5.564 municípios brasileiros, apenas 52,8% exercem controle sobre o manejo de resíduos especiais realizado por terceiros. Destacam-se entre estes, municípios que de alguma forma atuam sobre pilhas e baterias, e sobre lâmpadas fluorescentes (ainda que não integralmente quanto a geração) cujas contribuições percentuais montam respectivamente 11% e 9,5% (IBGE, 2010).

Segundo o mesmo enfoque, os resíduos eletroeletrônicos (REE) têm recebido também atenção especial, tanto por apresentarem substâncias potencialmente perigosas, como devido ao aumento de sua geração. Ambas as características elevam os REE à condição de problema ambiental significativo o que, predispõe manejo adequado e controle dos volumes de seus componentes eletrônicos descartados.

De acordo com levantamentos efetuados pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o Brasil produz cerca de 2,6 kg/ano.hab de resíduos eletrônico. Estes produtos podem conter chumbo, cádmio, arsênio, mercúrio, bifenilas policloradas (PCBs), éter difenil polibromados, entre outras substâncias perigosas (BRASIL, 2011).

Alguns dos resíduos sujeitos a implementação da logística reversa, já foram objeto de ações estruturadas dentro da sua cadeia produtiva. Isso ocorreu pelo fato de o reaproveitamento destes materiais se demonstrar economicamente viável. É este o caso de pneus, óleos lubrificantes e embalagens de agrotóxicos. Muito embora esta conduta possa

ser vista como um avanço proporcionado pela PNRS, tais ações são ainda incipientes e pontuais. Além disso, outros materiais descartáveis como pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e eletroeletrônicos, têm ainda um longo caminho a avançar em termos de acordos setoriais, de ações de logística e manufatura reversa.

Outro tema de interesse dentro da mesma abordagem refere-se ao aproveitamento de biogás advindos dos aterros para produção de energia. Mais uma vez nesse caso, constatam-se ações incipientes, ainda que as mesmas estejam deflagradas por todo o país, - aliás, um ponto positivo da iniciativa. Informações do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, dão conta ser possível estimar a produção de energia potencial em 56 municípios no país, considerando a vazão de biogás no decênio 2010/2020. O resultado, obtido a partir dos cenários existentes, projeta uma capacidade instalada de geração, nestes municípios, de 311 MW. De acordo com o mesmo estudo este potencial de geração poderia abastecer uma população de 5,6 milhões de habitantes, o que equivale a praticamente a população da cidade do Rio de Janeiro nos tempos atuais (BRASIL, 2011).

Apesar de a implantação de aterros dotados de sistema de geração de energia mostrar-se viável técnica e econômica em alguns casos é necessário incentivar a criação de gestões compartilhadas de resíduos, nos vários municípios. Essa ação poderá proporcionar ganhos de escala a ponto de não apenas amplificar o aproveitamento de resíduos recicláveis de pequenos municípios, como também de recuperar gases emanados pelos aterros, os quais encontrariam uso como fonte de energia, aliviando por conseguinte a matriz energética nacional.

Por fim, segundo o diagnóstico da Versão Preliminar do Plano as maiores deficiências no gerenciamento dos resíduos sólidos encontram-se nos Municípios de pequeno porte (até 100 mil habitantes) e naqueles localizados na região nordeste. Essas informações podem ser utilizadas como critério para a distribuição de recursos por parte da União, em complementação a aqueles já estabelecidos em Lei, caso da prioridade, na obtenção de recursos junto ao Governo Federal, concedida aos municípios com consórcios públicos formados para prestação de serviços públicos, na área de resíduos sólidos (BRASIL, 2011).

Assim, com o objetivo de dar suporte a correta tomada de decisões e justificar o investimento em ações, projetos, programas e planos que melhorem a eficiência ambiental de tais serviços e atendam as novas exigências legais estabelecidas pela Política e pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos, o presente trabalho irá avaliar o desempenho ambiental dos serviços de gerenciamento de RSU do município de Piedade.

3.3 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV)

3.3.1 Conceitos de Ciclo de vida e de Avaliação do Ciclo de Vida

Segundo definição do UNEP (Programa das Nações Unidas para o Ambiente), a Gestão do Ciclo de Vida é um sistema de gerenciamento de produto com o objetivo de minimizar os danos ambientais e socioeconômicos associados a um produto (bem ou serviço) de uma organização durante todo o seu ciclo de vida e cadeia produtiva de valor (UNEP, 2007).

Para Sonneman (2002), a Filosofia do ciclo de vida ou *Life Cycle Thinking* (LCT) pode ser entendida como a consciência de que o bom desempenho ambiental de uma unidade isolada da cadeia produtiva não é suficiente para garantir que a mesma tenha sua sustentabilidade garantida; essa condição será atingida apenas se a totalidade dos elos dessa cadeia apresentarem desempenho ambiental adequado. Nunca é demais enfatizar que a avaliação do desempenho ambiental de um produto, processo ou serviço leva em conta não apenas a disposição de rejeitos como também o consumo de recursos naturais.

Para Silva e Kulay (2003), o conceito de LCT na avaliação do desempenho ambiental estimula que os estudos passem a serem feitos de forma sistêmica, abrangendo todas as atividades capazes de impactar potencialmente ao meio ambiente envolvidas no cumprimento da função de um produto. São, portanto, objeto dessa abordagem todas as atividades compreendidas desde a obtenção dos recursos naturais, fabricação de um determinado produto, sua utilização, até a disposição final. Esse escopo de aplicação é denominado *foco sobre o produto (bens ou serviços)*. A Figura 2 apresenta tais atividades de extração, produção, uso, reciclagem, disposição final e transporte e distribuição.

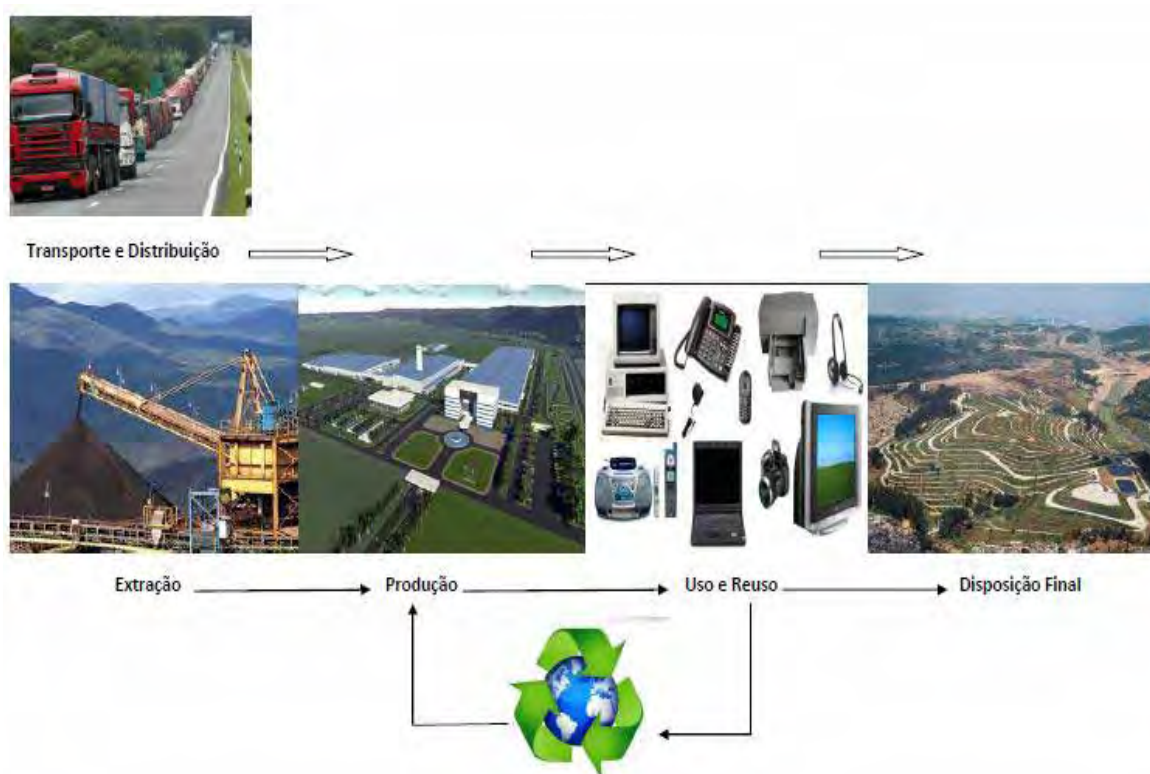


Figura 2: Visão Sistêmica das Potenciais Etapas do Ciclo de Vida de um Produto.

Como pode-se observar pela Figura 2, além das atividades de extração de recursos, manufatura, uso e disposição final, também existem as atividades e os aspectos relacionados ao transporte, que comumente existem em todos os elos da cadeia produtiva. Também observa-se na mesma figura a possibilidade da existência da atividade de reciclagem que, se fornecer o mesmo produto diminui a extração de novos recursos naturais para sua fabricação, assim como seu envio para a disposição final. Porém, nas atividades de reciclagem também haverá fluxos de matéria e energia inerentes ao processo.

Assim, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica capaz de avaliar o desempenho ambiental de um produto ou serviço ao longo de todo o seu ciclo de vida. Tal avaliação se conduz tanto por meio da identificação de todas as interações ocorridas entre o ciclo de vida de um produto/serviço e o meio ambiente, como pela avaliação dos impactos ambientais potencialmente associados a essas interações (CURRAN, 1996).

Além de avaliar os impactos ambientais, a ACV possibilita a comparação entre diferentes produtos, matérias-primas, energias, processos e cenários. 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 (FERREIRA, 2004).

A técnica de ACV é tradicionalmente empregada para avaliar e comparar o desempenho ambiental de bens – como a geração de energia; produção de combustíveis; sacolas plásticas sintéticas, biodegradáveis e retornáveis; embalagens diversas; entre outros – mas recentemente vem ganhando espaço na avaliação do desempenho ambiental de serviços.

3.3.2 Usos e Aplicações da ACV

Segundo Kulay e Seo (2006) é possível subdividir as aplicações a que se destina uma ACV em duas grandes vertentes: 1- identificação de oportunidades de melhoria de desempenho ambiental; e 2- comparação ambiental entre produtos que cumprem funções equivalentes. Na primeira vertente, a ACV atua empreendendo a busca dos principais focos de impactos ambientais proporcionados por um determinado sistema. Ao término de sua aplicação, o praticante terá estabelecido a contribuição do sistema em estudo para as diversas categorias de impacto ambiental. De posse desse diagnóstico, planos de ação voltados à minimização dos mesmos poderão ser estabelecidos. Na aplicação da ACV para efeito de comparação de produtos, são avaliados os aspectos ambientais – e seus impactos associados – para diferentes formas de atender a uma mesma função. Além disso, quando efetuada confrontando o desempenho ambiental de um ou mais produtos contra um padrão preestabelecido, a ACV pode servir para a elaboração de rótulos e declarações ambientais.

Com isso, é possível minimizar equívocos durante a escolha de produtos ou processos com menor impacto ambiental. Isso porque, ao se considerar todo o ciclo de vida, facilita-se a identificação a real contribuição de cada estágio de um sistema de produto, para conseqüentemente realizar a escolha correta levando em conta diversos fatores (FERREIRA, 2004).

Assim, os 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 (CURRAN, 2006).

Tal ferramenta de gestão também pode ser empregada para comparar as tecnologias utilizadas nas etapas de gerenciamento de resíduos, como modelos de transporte, triagem, tratamento e destinação e disposição final, assim como para a rotulagem ambiental.

3.3.3 Limitações da ACV

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.

Para Kulay e Seo (2010), uma das principais limitações da técnica de ACV, está na coleta de dados, onde reside a indisponibilidade de fontes de informações específicas e confiáveis para a realização de estudos. Além dos dados primários que são obtidos de medições diretas no campo, um estudo de ACV se completa em muitos casos com dados secundários. Os dados secundários podem ser obtidos junto a três fontes principais de informação: bancos de dados próprios para ACV; valores de referência em literatura específica; ou dados fornecidos por terceiros como empresas, órgãos governamentais, associações de classe, laboratórios de análise, entre outros.

Ainda segundo os autores, dentre as fontes mencionadas, devem merecer especial referência, os bancos de dados. Considerando-se o fato da ACV ser uma técnica recente, a elaboração de bancos de dados locais e regionais e organizados como informações comuns a diversos sistemas – caso de energia elétrica, combustíveis fósseis, aço e alumínio, celulose e papel, polímeros em geral, cimento, produtos agrícolas e outros bens de consumo – ainda é ação recente, mesmo em países em que a ACV está avançada.

No Brasil, iniciativas dessa natureza começam a serem implementadas. Tendo em vista peculiaridades do país – como a predominância de energia de origem hidrelétrica, ou a supremacia do transporte de insumos e de bens pela via rodoviária – a adoção de bancos de dados internacionais pode distorcer os resultados de estudos realizados e desenvolvidos no país. Porém, a realização de trabalhos de ACV, mesmo diante das limitações descritas, é amplamente recomendável do que a omissão quanto à aplicação e o desenvolvimento da referida metodologia. A construção de bancos de dados genuinamente brasileiros faria da ACV um instrumento efetivo para a introdução da variável ambiental em processos de tomada de decisões (SILVA e KULAY, 2003).

Ao realizar um estudo de ACV é preciso estar ciente de que, em termos práticos, será impossível considerar todos os aspectos ambientais contidos em um sistema de produto. Assim, deve-se aplicar critérios de exclusão de aspectos ambientais visando o

refinamento do sistema. Critérios de exclusão de aspectos ambientais podem ser de duas naturezas: quantitativos ou de relevância ambiental. De acordo com o critério quantitativo devem ser excluídas do sistema correntes de matéria ou energia, cuja contribuição cumulativa em termos da massa ou energia total que entra, ou sai no sistema, seja inferior a alguma determinada percentagem (SEO e KULAY, 2010).

Para os autores, mesmo que o critério quantitativo resulte em economia de tempo e de investimentos, sua aplicação pode levar a desconsideração de aspectos cujos impactos sobre o meio ambiente sejam significativos. Isso pode acarretar em distorção dos resultados da ACV e, portanto, prejudicar processos de tomada de decisões.

Para que isso seja evitado, recomenda-se adotar mais um critério de exclusão; este é conhecido como relevância ambiental, e faz com que a seleção de aspectos ambientais esteja baseada em uma análise de sensibilidade, o que se reverte em ganho de confiabilidade para o estudo (NBR ISO 14040, 2009).

Outra fragilidade da técnica de ACV está relacionada aos critérios de alocação das cargas ambientais. Segundo Kulay e Seo (2010), o procedimento de alocação baseia-se fundamentalmente no uso de critérios que permitam ponderar, entre os produtos gerados em um sistema antrópico, cargas ambientais decorrentes do consumo de recursos e da geração de rejeitos acumuladas até a obtenção dos bens ou serviços em estudo. Sempre que possível recomenda-se empregar critérios baseados em parâmetros físicos, a partir do qual todas as correntes que caracterizam aspectos ambientais de entrada e saída do sistema de produto serão repartidas entre os produtos dele obtidos, segundo o percentual de contribuição de cada um.

Segundo Nogueira (2012) há duas formas de abordagem na alocação de cargas ambientais quando há reciclagem ou reuso de materiais e resíduos: 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 produção de um produto e da reciclagem são atribuídas ao novo ciclo de vida.

Para Ekvall *et al.* (2007) a importância de se identificar as limitações de um estudo de ACV e de buscar alternativas complementares que reduzam as influências destas sobre os resultados proporcionados pela técnica possibilita sua melhor utilização na função de suporte à gestão de forma ampla; e por conseguinte, à gestão de resíduos sólidos urbanos.

Vale destacar, por fim, que quanto mais completo, robusto, e bem consubstanciado por premissas e hipóteses plausíveis for o modelo criado para expressar a realidade ambiental da atividade antrópica objeto de aplicação da ACV, mais preciso será o diagnóstico por ela proporcionado.

3.3.4 Aspectos Normativos e Método de condução de estudos de ACV

Com o objetivo de diminuir as disparidades técnicas e metodológicas associadas a condução de um estudo de ACV, foi criada a série 40 da família 14000 da International Organization for Standardization (ISO). Tal norma ISO 14040, define princípios e estrutura fundamentais para a adoção do método e da ferramenta de gestão ACV (NBR ISO 14040, 2009).

As normas ISO da série 40 são estruturadas da seguinte maneira: ISO 14040 (2009) dispõe sobre os princípios e estrutura e ISO 14044 (2009) que agrupou as normas – ISO 14041 (1998) objetivo e definição do escopo e análise de inventário; ISO 14042 (2000) sobre avaliação de impacto no ciclo de vida e a ISO 14043 (2000) que dispõe sobre a interpretação dos resultados do ciclo de vida – no mesmo documento. Complementam as normas da série 40, a ISO 14047 – Exemplos para aplicação da ISO 14042 (2003), ISO 14048 – Formato da Apresentação de Dados (2002) e ISO 14049 – Exemplos de Aplicação da ISO 14041 (2000).

Segundo Rebitzer, *et al* (2003), a estrutura e os componentes de ACV quantificam consumos e geração – materiais e energéticas – associados ao atendimento de uma função, por parte de um produto, processo ou serviço, ao longo de todo seu ciclo de vida.

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

A Identificação de objetivo e escopo se inicia com a definição de maneira clara e inequívoca dos propósitos a que estes se destinam, como se fará uso de seus resultados e a quem os mesmos serão comunicados. Segue-se a isso, o estabelecimento de premissas essenciais ao desenvolvimento da ACV.

A compilação, tabulação e análise preliminar de todos essas interações compreende o chamado Inventário de Ciclo de Vida (ICV). A ele se segue a interpretação dos consumos e geração relacionados na etapa de ICV em termos de problemas ambientais contemporâneos. A esta ação dá-se o nome de Avaliação de Impactos Ambientais no Ciclo de Vida (AICV).

A aplicação da técnica se completa com a aferição das premissas e condicionantes estabelecidas para o desenvolvimento do estudo, em confrontação com aspectos normativos e principalmente, com os resultados dele decorrentes. Esta etapa de aplicação da técnica de ACV se denomina Interpretação. A Figura 3 apresenta um esquema das fases de uma avaliação de ciclo de vida

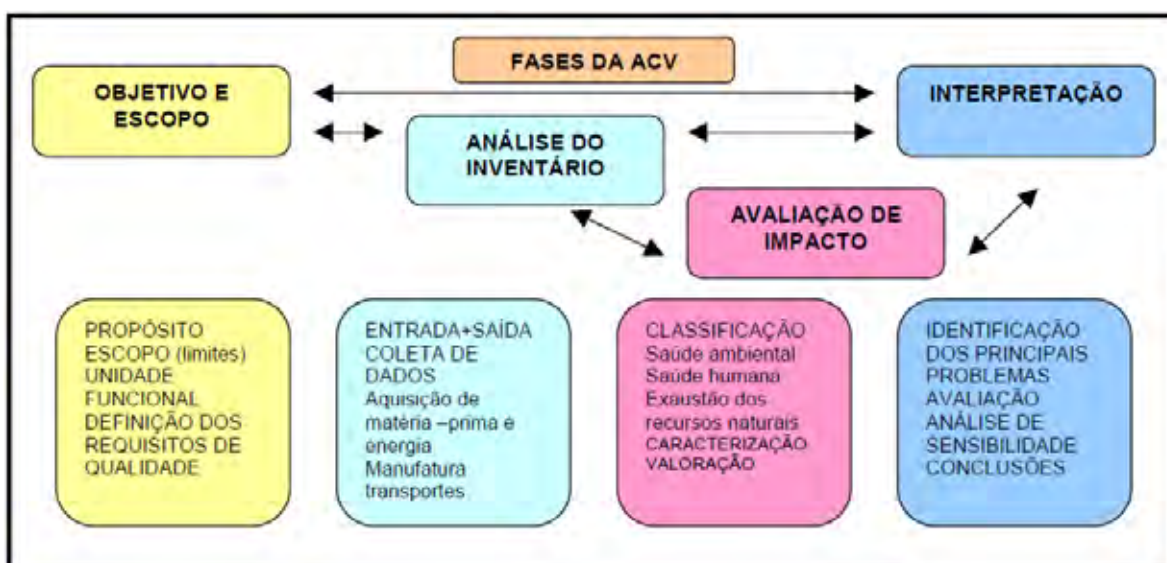


Figura 3: Fases de uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV)

Os estudos de ACV podem possuir abrangência variável, muito embora abordagens com enfoques diferentes de “berço ao túmulo” não seja, consenso junto à comunidade científica. Para muitos, enfoques metodológicos de aplicação da técnica que difiram deste, de envergadura sistêmica, não poderiam ser considerados estudos de ACV, mas sim, e somente, ICVs.

De qualquer forma, segundo Curran (2006) 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.

Dessa forma, a ACV permite identificar com transparência os impactos ambientais de cada estágio do ciclo de vida, assim como em todo o ciclo.

3.3.5 ACV e RSU

Segundo Coltro (2007) a ACV auxilia no gerenciamento de resíduos sólidos, pois pode fornecer 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.

Ainda segundo a mesma autora, para realizar a ACV de cenários de destinação final de resíduos sólidos, alguns aspectos devem ser levados em consideração e alguns dados devem ser levantados, tais como:

- em caso de encaminhamento para aterro sanitário, quantificar as emissões para água e ar ocasionadas na biodegradação da matéria orgânica, quantificar a massa e o volume de resíduo enviado para o aterro, avaliar as condições de funcionamento do aterro sanitário (se queima gás e o tipo de tratamento de efluentes);

- em caso de encaminhamento para incineração, quantificar a massa e o volume de resíduo enviado, estimar as emissões, para a incineração, considerando a composição dos resíduos e avaliar o sistema de tratamento de gás que é utilizado (se ocorre aproveitamento energético, e como são depositadas as cinzas resultantes da queima);

- em caso de encaminhamento para compostagem, quantificar a massa e o volume de resíduo enviado e 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 e simular diferentes cenários de destinação de resíduos. Esses resultados podem colaborar para 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).

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 destinação final, fornecendo importantes informações que orientem a tomada de decisões do poder público e do setor privado (COLTRO, 2007).

Para McDougall, *et al* (2001), a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida para modelagem da Gestão Integrada de Resíduos pode ser dividida em duas áreas: 1- estruturação do modelo de gestão (que irá determinar a forma como o modelo irá funcionar) e; 2- aquisição de dados para inserção nos modelos. Assim, a técnica de modelagem e / ou avaliação utilizada, deve ser, essencialmente, um Inventário de Ciclo de Vida do Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos, para sequencialmente realizar-se a avaliação dos impactos ambientais.

Mancini, Mantovani e Nogueira (2013) analisaram 14 trabalhos (sendo 9 de abrangência internacional e 5 nacional) publicados entre os anos de 1998 e 2012, os quais utilizaram a ACV como ferramenta de 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.

Segundo os autores, todos os estudos tiveram como principal objetivo analisar o desempenho ambiental de diferentes formas e 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 2 apresenta algumas considerações dos estudos, como a cobertura geográfica, os tipos de resíduos considerados e as opções de tratamento analisadas.

Tabela 2: Visão geral dos estudos de ACV selecionados (Mancini, Mantovani e Nogueira, 2013).

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 e 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)	Incineração, Disposição em Aterros 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	Incineração, Disposição em Aterros e Compostagem
(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

Referência	Abrangência	Tipo de Resíduos	Opção de tratamento
(12) Dmitrijevas (2010)	Brasil (SP)	Resíduos Sólidos Urbanos (Restos de Alimento, Tecidos, Plásticos, Borracha, Papel, Papelão, Vidro e Metal)	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 2 que a maioria dos estudos analisou e comparou as formas de tratamento incineração e reciclagem e a disposição final em aterros. Segundo Mancini, Mantovani e Nogueira (2013) os estudos tiveram 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. 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.

Para os autores, 9 dos 14 estudos utilizaram como Unidade Funcional: 1 tonelada de resíduos sólidos. 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).

Com relação aos impactos ambientais e às atividades e aspectos ambientais que mais contribuem para cada categoria de impacto, Mancini, Mantovani e Nogueira (2013), destacam:

1- 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 (MANCINI, MANTOVANI E NOGUEIRA, 2013).

2- 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.

3- 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.

3- 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).

4- 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 que os autores tratam da realidade na Europa e no caso do Brasil os impactos associados a matriz energética são diferentes.

5- 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.

6- 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.

7- 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 as unidades de tratamento ou disposição final.

Assim, observa-se que a identificação dos principais fatores e etapas dos sistemas de gerenciamento dos resíduos sólidos é fundamental para o conhecimento, aprimoramento e comparação das técnicas de tratamento e disposição final, assim como para a visualização e construção de soluções economicamente viáveis e ambientalmente adequadas.

4 MÉTODO

O método empregado para atender de maneira satisfatória aos objetivos – geral e complementares – estabelecidos para o presente estudo compreendeu das seguintes etapas executivas enunciadas a seguir:

- a) Obtenção de dados para elaboração de um panorama atual do Sistema de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Piedade – SP no que se refere aos elementos e operações a ele associados;
- b) Definição formal dos objetivos da aplicação da técnica de ACV para o objeto de análise; ou seja, definir os propósitos do estudo, o que se poderá fazer com os resultados que dele derivam, e o público a que o mesmo se destina;
- c) Estabelecimento das bases conceituais de aplicação da técnica a partir da Definição de Escopo;
- d) Identificação e quantificação dos aspectos ambientais, na forma de correntes de matéria e energia que circulam – entrando e saindo – pelas fronteiras do sistema de produto, para composição do Inventário de Ciclo de Vida (ICV) do sistema em estudo;
- e) Avaliação dos Impactos Ambientais a fim de mensurar as contribuições negativas sobre o ambiente, proporcionadas pelo atual SGRSU de Piedade (SP);
- f) Construção de cenários de gerenciamento de resíduos – sem coleta seletiva e com reaproveitamento – que considerem taxas diferentes estabelecidas a partir das diretrizes e metas definidas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS);
- g) Aplicação da técnica de ACV a cada cenário com o objetivo de avaliar os impactos ambientais e mensurar o desempenho ambiental do atual SGRSU e de cada cenário proposto e;
- h) Análise dos resultados obtidos e formulação de propostas para melhoria da eficiência do SGRSU de Piedade-SP.

5 PANORAMA DO MUNICÍPIO DE PIEDADE

Piedade é um Município localizado na porção sudeste do Estado de São Paulo a cerca de 100 km da capital e está inserido na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) 10 – Bacia do Rio Sorocaba e Médio Tietê. Segundo recenseamento realizado em 2010, possui população de 52.439 habitantes, distribuídos em território de aproximadamente 746 km², o qual compreende ainda aproximadamente 3.000 km de estradas rurais (IBGE, 2010). Dispõe de sistema de coleta de resíduos comum. Neste, todos os resíduos coletados são encaminhados, sem classificação ou separação prévia, para o aterro sanitário municipal, cuja capacidade permite atender, em termos de disposição final, a geração de toda área urbana e rural.

O município dispõe também de serviços de coleta seletiva que conta com apoio e coordenação da Prefeitura Municipal de Piedade, cuja responsabilidade operacional está a cargo da Cooperativa dos Trabalhadores do Meio Ambiente de Piedade (COTMAP). Além disso, ao final do ano de 2012 deu início a implementação de ações de logística reversa voltadas à resíduos como pilhas, baterias e eletroeletrônicos, exceto da linha branca. O fato desta iniciativa ser ainda incipiente a desqualifica porém, para efeito de levantamento de dados para este estudo.

O ano de 2011 foi definido como período para coleta de dados relativa a este estudo. A escolha apoia-se em três motivos: representatividade da condição atual de funcionamento do SGRSU do Município; disponibilidade de dados para todo o período em referência; e, pequena variabilidade em termos de consumos e gerações associadas ao SGRSU.

O Sistema de Gerenciamento de Resíduos do município se constitui de três etapas principais: coleta e transporte; triagem e; disposição final de resíduos e rejeitos. A seguir apresenta-se uma breve descrição das operações realizadas em cada etapa, bem como indicam-se instalações operacionais e aspectos de infraestrutura de que fazia uso o SGRSU de Piedade para realização de seus serviços regulares.

1- Coleta: e Transporte: o Município de Piedade gerou, em média, ao longo de 2011, exatos 42,2t/d de resíduos. De acordo com o SGRSU do município, a coleta deste material pode ocorrer de duas formas: coleta comum e coleta seletiva.

Na etapa de coleta e transporte comum, os resíduos e rejeitos são recolhidos sem qualquer separação prévia junto às fontes geradoras – residências e estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços – e encaminhados diretamente para disposição

final em aterro sanitário. Para o exercício da Coleta Comum estavam à disposição do SGRSU: 01 (um) caminhão basculante; 1 (um) caminhão carroceria aberta e; 04 (quatro) caminhões compactadores.

Os resíduos da coleta seletiva passam por separação prévia nas residências, sendo então coletados e transportados até o centro de triagem, local onde os materiais são segregados e encaminhados para a reciclagem.

A Coleta Seletiva opera: com volumes menores de resíduos, motivo pelo qual o SGRSU conta apenas para esta ação com 01 (um) caminhão carroceria aberta.

2- Triagem: a etapa de triagem é realizada pela COTMAP com apoio da Prefeitura Municipal de Piedade (PMP), e se desenvolve em galpão com cerca de 750 m² de área construída. Em termos de instalações e equipamentos, o processo conta com balança, prensa e elevador de fardo, além de cinco bancadas de madeira.

A quantidade média de materiais separados e comercializados diariamente pela cooperativa no curso do ano de 2011 foi de 1,2 toneladas. Durante a triagem são gerados rejeitos, os quais são também coletados pelos serviços de coleta e transporte comum e encaminhados para serem dispostos no aterro sanitário.

3- Disposição Final: a alternativa tecnológica para disposição final dos rejeitos do município, de que faz uso o SGRSU, é um Aterro Sanitário com 20 mil m² de área de superfície. Inaugurado em julho de 2006 esta instalação recebe em média as demais 41 t/d de resíduos gerados pelo município. Mantido o ritmo de ocupação, seu encerramento está previsto para meados de 2013, o que projeta uma vida útil estimada de aproximadamente 7 (sete) anos. O aterro é operado diariamente por um trator esteira, com apoio de retroescavadeira e caminhão basculante.

A Figura 4 apresenta um esquema bastante genérico das atividades que constituem o Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRSU) exercitado no município de Piedade-SP.

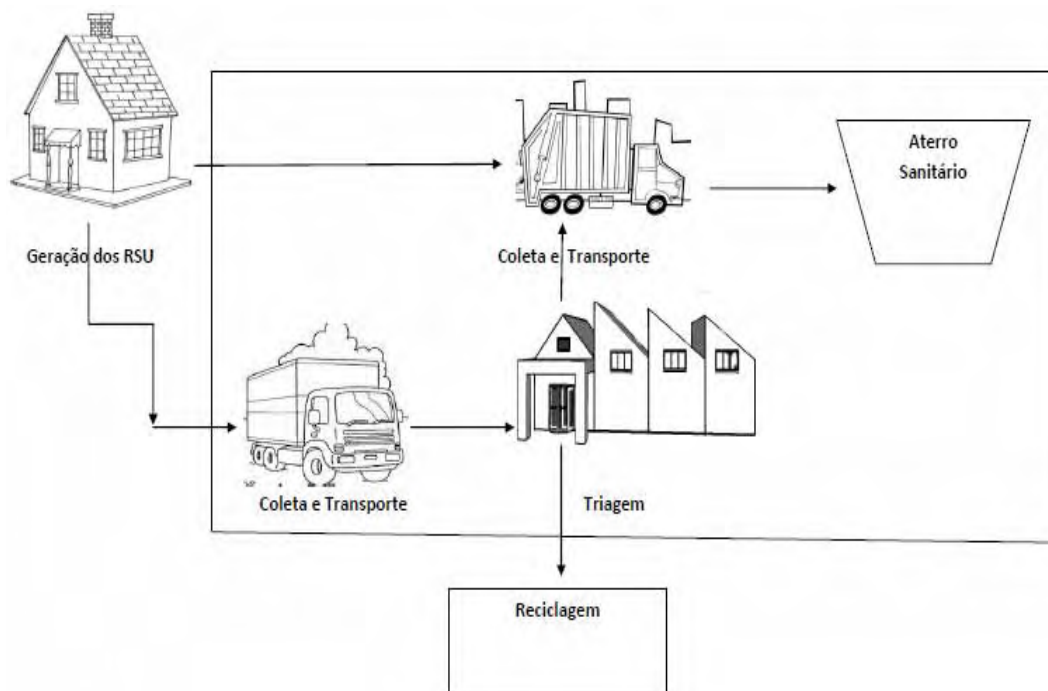


Figura 4: Atividades de Gerenciamento de RSU do município de Piedade-SP

A Tabela 3 apresenta valores médios diários de quantidades, e suas respectivas contribuições percentuais, tanto para resíduos reaproveitados a partir da coleta seletiva, como para aqueles que são encaminhados para a disposição final, via coleta comum, no município de Piedade durante o ano de 2011 (PMP, 2011).

Tais informações foram obtidas através da caracterização gravimétrica estabelecida pela da Secretaria Estadual de Saneamento e Recursos Hídricos, para municípios com aproximadamente 50.000 habitantes, na elaboração dos Estudos dos Planos Municipais de Saneamento Básico – Componente Limpeza Urbana e Manejo de Resíduos (PMP, 2011).

Tabela 3 – Resíduos reaproveitados e encaminhados à disposição final - Ano base: 2011
(PMP, 2011)

Item	(%) Reciclada	(%) Aterrada	Massa reaproveitada (t/d)	Massa aterrada (t/d)
1- Restos de alimento / jardim	0,00%	53,7	0,000	22,66
2- Papel, papelão	1,44%	7,76%	0,608	3,27
3- Trapo	0,00%	6,1%	0,000	2,57
4- Vidro	0,14%	1,73%	0,059	0,73
5- Plástico	0,17%	9,75%	0,072	4,11
6- Metal	0,95%	1,82	0,402	0,77
7- Inertes	0,18	3,70%	0,076	1,56
8- Outros	0	12,56%	0,000	5,30
Valores totalizados	2,88	97,12	1,22	40,98

Fonte: Prefeitura Municipal de Piedade - Estudos para elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico (2011).

Observe-se pelas informações contidas na Tabela 3 que para os resíduos gerados em maior quantidade – casos específicos dos restos de comida e resíduos de jardinagem – não se apresentam alternativas de reaproveitamento no município, sendo portanto encaminhados na sua totalidade para o aterro.

Por outro lado, papéis e metais, com contribuições aproximadas de 600 kg e 400 kg diários respectivamente constituem-se nos resíduos de maior taxa de reaproveitados junto aos serviços de coleta seletiva.

6 Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) do SGRSU de Piedade-SP

6.1 Definição de Objetivos da ACV

Para efeito de desenvolvimento deste estudo foram seguidas as bases conceituais apresentadas pelas normas ABNT NRB ISO 14040 e 14044 para realização de estudo de Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) (ABNT 2009a; 2009b).

Nesses termos, o processo se inicia pela definição formal dos objetivos da aplicação da técnica em questão, que neste caso consistem em determinar o desempenho ambiental do Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRSU) do Município de Piedade – SP.

Dentro ainda da mesma temática, segue-se a esta ação, a definição das razões pretendidas para o estudo. Nesses termos e como anteriormente enunciado, pretende-se que a partir dessa iniciativa sejam geradas informações que auxiliem e deem subsídios para o processo de tomada de decisão no nível de gestão pública, quanto à gestão de resíduos sólidos urbanos.

Por conta disso, o último dos elementos normativos associado à Definição de Objetivos de uma ACV – o público-alvo a que se destina um estudo com tais características – se compõe naturalmente de gestores públicos e demais envolvidos em processos de mesma natureza. A ACV oferece a esse público alvo, a possibilidade de introduzir a variável ambiental em suas atividades cotidianas de gestão pública, o que, a médio e longo prazo, pode se reverter em readequação de políticas voltadas ao tratamento e a disposição de rejeitos e resíduos na região.

6.2 Definição de Escopo

Definição de Escopo compreende o estabelecimento das premissas, hipóteses e condicionantes que pautam o desenvolvimento de um estudo de ACV. Essas diretrizes não apenas orientam, mas também condicionam os resultados obtidos a partir da aplicação da técnica. Nesses termos, passam a serem enunciados a seguir os elementos constituintes do Escopo da aplicação da ACV para este estudo.

6.2.1 Função e Unidade Funcional (U.F.)

Definiu-se por função para este desenvolvimento acadêmico a ação de: “*Gerenciar as atividades necessárias a Coleta, Transporte, Triagem e Disposição Final de Rejeitos e Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Piedade/SP*”.

Em termos conceituais, Unidade Funcional (UF) consiste da quantificação da função definida para o estudo de ACV (ABNT, 2009a). Assim sendo, tendo em vista a função antes enunciada, definiu-se como a UF do estudo: “*Gerenciar as atividades necessárias a Coleta, Transporte, Triagem e Disposição Final de 42,2t/d de Rejeitos e Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Piedade/SP*”.

6.2.2 Sistema de Produto

O sistema de produto compreende o conjunto de etapas a serem analisadas pela ACV. Tendo em vista os objetivos definidos anteriormente para a presente análise, o sistema de produto foi definido como sendo o conjunto das etapas que integra o SGRSU de Piedade, associado a elementos complementares, porém igualmente necessários para a realização dos serviços por ele empreendidos.

No que se refere ao SGRSU em si, foram contempladas as etapas de: coletas comum e seletiva de resíduos e rejeitos; os respectivos transportes; a triagem dos resíduos; e a disposição final em aterro sanitário não apenas dos rejeitos comuns, como também daqueles gerados em decorrência da triagem do material reciclável.

Como elementos complementares foram considerados geração e transmissão de eletricidade de acordo com a matriz energética brasileira – usada para funcionamento de sistemas e equipamentos elétricos que operam no SGRSU; tratamento de água, empregada, sobretudo na etapa de triagem de recicláveis e tratamento de efluentes líquidos gerados nesta mesma operação; bem como, produção e consumo de diesel para operação de veículos de transporte e de máquinas empregadas na operação do aterro sanitário.

Finalmente, bens de capital – como as construções de máquinas e meios de transporte, vias de rodagem, além do aterro sanitário em si – foram também objeto de arbitração de desempenho ambiental por este estudo de ACV. Nesse enfoque, o processo de aterramento sanitário foi modelado em termos de sua construção, operação e desativação.

A Figura 5 traz a representação gráfica ordenada de maneira sequencial, dos processos elementares que compõem o sistema de produto, bem como, das correntes de matéria e energia, que entram e saem deste mesmo elemento antrópico para outros sistema de produto ou mesmo, para o ambiente.

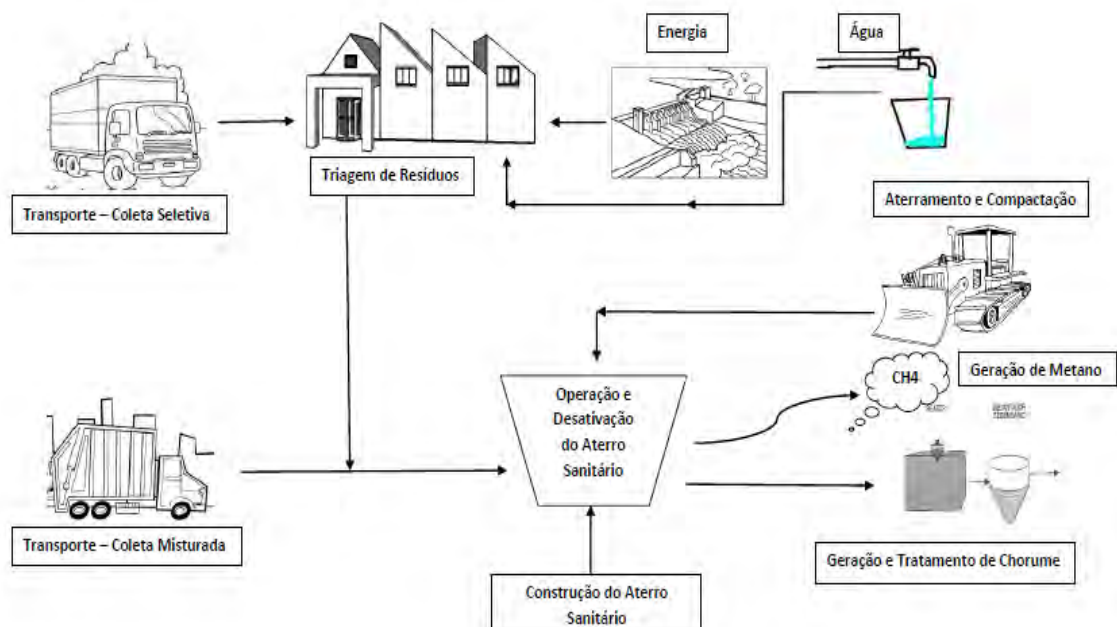


Figura 5: Sistema de Produto definido para caracterizar o SGRSU-Piedade (SP)

6.2.3 Exclusão de dados

É fundamental justificar neste momento do trabalho que as cargas ambientais associadas aos materiais que após concluírem suas funções originais passaram a ser resíduos e rejeitos manuseados pelo SGRSU não serão consideradas para efeito de avaliação de impactos ambientais.

Tal premissa adotada justifica-se devido o objetivo do presente trabalho não ser o de avaliar os impactos ambientais da produção ou reciclagem de um produto, mas sim os impactos ambientais do serviço público de gestão de resíduos e quais as contribuições que a reciclagem e / ou o tratamento dos RSU podem trazer ou não para a eficiência ambiental dos SGRSU.

6.2.4 Requisito de Qualidade de Dados

Os requisitos de qualidade de dados são determinados respectivamente, pelas coberturas Geográfica, Temporal e Tecnológica adotadas para o estudo. Em termos de Cobertura Geográfica a presente iniciativa se desenvolve no Município de Piedade – SP.

No que se refere a Cobertura Temporal determinou-se – assim como discutido e justificado anteriormente – o período compreendido entre janeiro e dezembro de 2011. Por fim, em termos de Cobertura Tecnológica adotou-se o encadeamento de processos com as particularidades e características que estes predispõem por conta de seu desenvolvimento no exercício das atividades regulares do SGRSU de Piedade.

6.2.5 Tipos de Dados

Com relação ao tipo de dado empregado para confecção do ICV do SGRSU de Piedade, uma porção significativa foi obtida de fontes primárias, a partir de levantamentos de campo. São estes, os aspectos ambientais associados ao SGRSU em si, referentes às atividades de: coleta e transporte, triagem e, construção, operação e desativação do aterro sanitário.

Por outro lado, aspectos ambientais que projetam potenciais impactos decorrentes da operação e desativação do aterro, originam-se de fontes secundárias. Para isso, foram empregados valores obtidos a partir do método proposto por Hamada (2011). Integram ainda a mesma classe de características de dados os aspectos ambientais associados a geração e transmissão de energia e aos tratamentos de água para consumo e de efluentes.

6.2.6 Critérios de Alocação

Não houve a necessidade de efetuar-se a alocação de cargas ambientais no presente estudo. Por conta disso, não foram definidos critérios de alocação para a iniciativa.

6.2.7 Modelo e Categorias para Avaliação de Impactos Ambientais

A etapa de Avaliação de Impactos Ambientais (AICV) foi conduzida a partir da aplicação do método EcoIndicator 99 (H). Por meio desta abordagem foi possível mensurar e avaliar o desempenho ambiental do SGRSU de Piedade segundo onze categorias de impactos. A saber: Carcinogênicos, Inalação de compostos orgânicos e inorgânicos,

Mudanças Climáticas, Radiação Ionizante, Depleção de Camada de Ozônio, Ecotoxicidade, Acidificação/Eutrofização, Uso do Solo, Consumo de Minerais e Consumo de Combustíveis Fósseis.

Da forma como foi concebido, o EcoIndicator 99 permite que essas categorias de impactos sejam agrupadas na forma de três categorias de danos: Uso de Recursos Naturais, Influência sobre a Saúde Humana e Consequências Ecológicas. A Figura 6 ilustra o processo de relacionamento comentado.

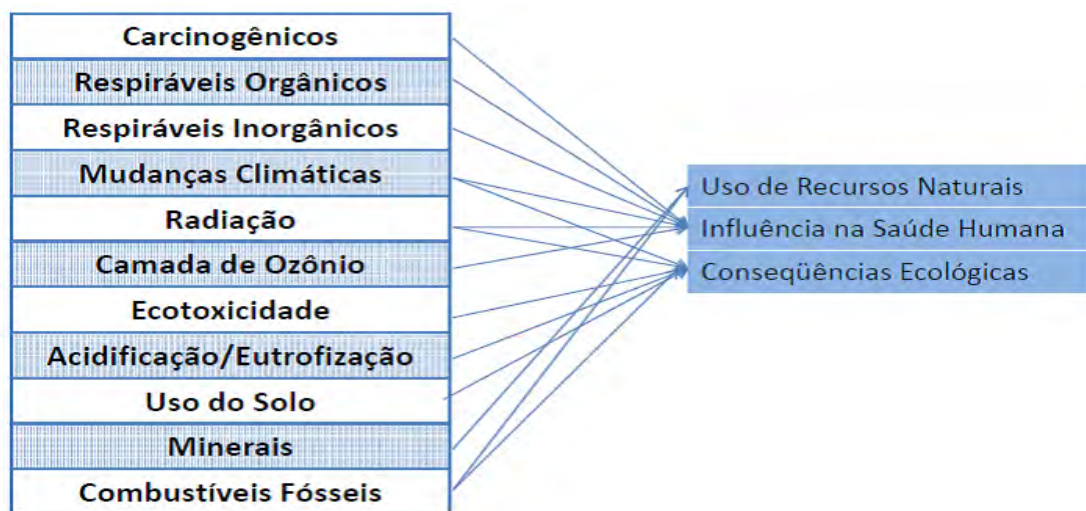


Figura 6: Relação entre categorias de impacto e análises de danos

Após o estabelecimento da relação entre categorias de impactos e de danos, será ainda necessário efetuar-se respectivamente normalização e ponderação dos danos, como o objetivo de gerar um indicador único (GOEDKOOOP e SPRIENSMA, 2001).

6.3 Modelagem do Sistema de Produto para efeito de elaboração do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) do SGRSU de Piedade-SP

Além de caracterizar de maneira adequada os resíduos e rejeitos gerados no município de Piedade – detalhados antes na Tabela 3 – a modelagem do sistema de produto predispôs a realização de outros levantamentos no sentido de dar suporte à elaboração do ICV para o sistema antrópico em análise. Estes aparecem detalhados a seguir.

Transportes de resíduos e rejeitos: a modelagem dos transportes baseou-se tanto em dados primários como secundários. Foram determinados a partir de dados primários aspectos ambientais associados à operação dos veículos. Para tanto, fez-se uso de valores

coletados junto a registros oficiais, da quantidade de caminhões utilizados para coleta de resíduos e rejeitos, bem como suas capacidades de transporte. Quanto a distância percorrida por esses veículos, optou-se por considerar um valor médio diário dadas as dificuldades de se estabelecer precisamente cada itinerário. Com o auxílio do controle de frota estabelecido pela Prefeitura Municipal de Piedade, foi então possível de terminar que cada caminhão tanto de coleta comum, como seletiva se deslocam em média 75 km por dia, consumindo nesta operação, também em termos médios, 20L de diesel no mesmo período.

A quantificação das emissões atmosféricas associadas à etapa em questão ocorreu a partir de dados secundários, por meio da aplicação de fatores de emissão constantes do Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores (Proconve) (CONAMA, 2009).

Os transportes foram avaliados também em termos da construção e manutenção dos caminhões; construção e manutenção das vias de rodagem; e produção de óleo diesel a partir do processamento de petróleo. Para todas essas etapas foram considerados dados secundários, obtidos junto à Base de Dados Ecoinvent (DOKA, 2009). Esses mesmos dados foram incorporados ao ICV apenas após terem sido adaptados para as condições brasileira em termos de suas coberturas tecnológica e geográfica. O diagrama que consta da Figura 7 descreve de maneira genérica o modelo de sistema de produto estabelecido para o transporte de resíduos e rejeitos usado para a ACV do SGRSU de Piedade.

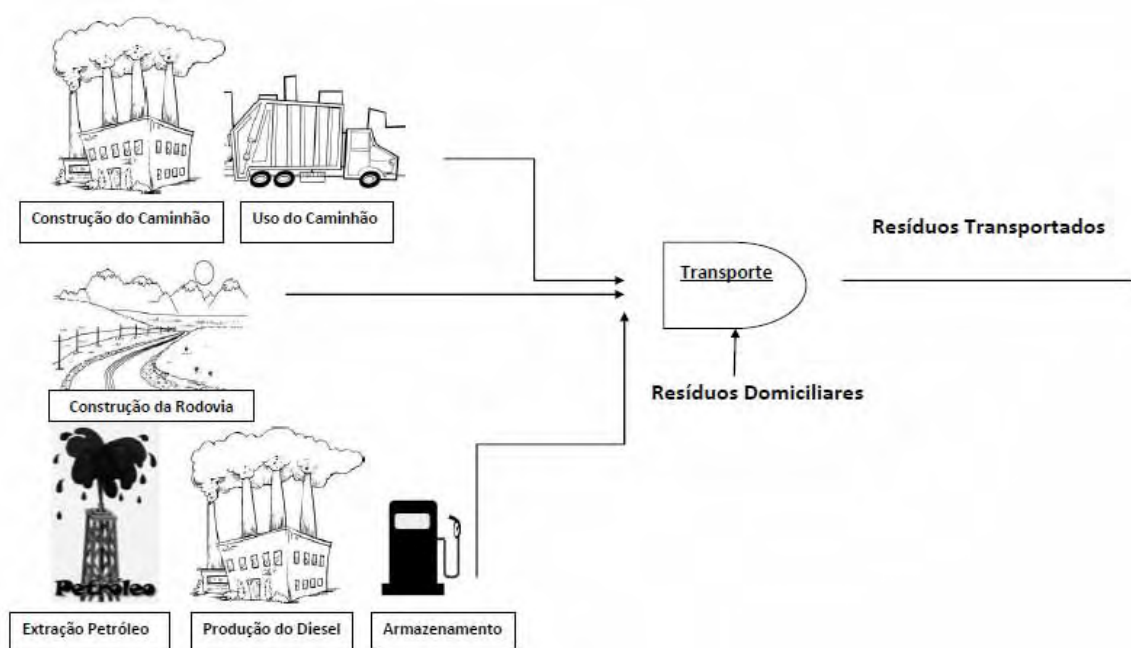


Figura 7: Atividades que compõem a Etapa de Transporte dos Resíduos

Disposição final: Com relação à disposição final, foram consideradas atividades e aspectos ambientais associados respectivamente a construção, operação e desativação do aterro sanitário. A construção do aterro foi modelada levando em conta atividades de escavação, terraplanagem e remoção de terras, perfuração de poços, circulação de veículos, transportes de materiais e matérias primas, todas elas, inerentes a esta etapa do ciclo de vida deste empreendimento. Por outro lado, foram também consideradas para efeito de definição do modelo a coleta de chorume e metano, que se iniciam durante a operação do empreendimento e se estendem para o seu encerramento.

Também neste caso a elaboração do ICV ocorreu a partir tanto de dados primários, como de dados secundários, sendo esses últimos obtidos junto a fontes técnico-científicas consistentes e referenciáveis. São indicadas a seguir as bases conceituais, premissas, hipótese formuladas, bem como as fontes consultadas para composição do modelo que representou, neste estudo, o desempenho ambiental da etapa de disposição final.

Construção do aterro: a etapa de construção do aterro foi modelada com base em dados obtidos junto ao Banco de Dados EcoInvent (DOKA, 2009), específicos para este tipo de cenário de disposição final. Com o intuito de particularizar o empreendimento para as condições locais, se somaram a essas informações o projeto executivo do aterro de Piedade, elaborado por empresa especializada contratada através da Prefeitura Municipal (PMP, 2005). A partir deste aporte foi então possível identificar itens e suas quantidades empregados.

A Tabela 4 descreve dados específicos do projeto executivo do aterro sanitário da PMP já no formato adaptado pela sua sobreposição as informações obtidas junto à Base de Dados Ecoinvent.

Tabela 4: Dados do projeto executivo do aterro sanitário da PMP adaptado para a base de dados – EcoInvent.

Processos/ Infra estrutura	Unidades	Quantidade
Escavação, através de máquina escavadeira hidráulica	m³	40,00
Escavação, através do uso de máquina carregadeira	m³	19.600,00
Diesel das máquinas de construção	MJ	38.041,80
Cascalho/ Pedra Brita n.4	Kg	115.830,00
Concreto	m³	92.600,00

Processos/ Infra estrutura	Unidades	Quantidade
Polietileno de alta densidade (PEAD)	Kg	15.675,66
Aço cromo	Kg	386,82
Policloreto de vinila (PVC)	Kg	579,18
Polipropileno / granulado (pet / bidim)	Kg	4,32
Areia	Kg	8.585,00
Transportes por caminhões	Tkm	28.111,88
Transformação, de prados e pastagens	m²	24.000
Transformação, a área de tráfego, rede viária	m²	24.000
Ocupação, a área de tráfego, rede viária	m²	672.000

Operação e desativação do aterro: para a etapa de operação e desativação do aterro, em particular no que se refere a quantificação das emissões de metano (CH₄) e chorume empregou-se os métodos propostos por Hamada (2011).

A determinação das emissões de CH₄ baseou-se em parâmetros como: quantidade anual de resíduos dispostos no aterro, sua caracterização gravimétrica e o tempo de operação do aterro, informações de entrada em planilha de cálculo. Apenas a partir destes, foi então possível aplicar a Equação 1 (Oonk *et al*,1994):

$$BE_{CH_4, SWDS, y} = \varphi \cdot (1 - f) \cdot (1 - OX) \cdot \frac{16}{12} \cdot F \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot \sum_{x=1}^y \sum_j W_{j,x} \cdot DOC_j \cdot e^{-k_j(y-x)} \cdot (1 - e^{-k_j})$$

(Equação 1)

Onde:

BE: é o metano gerado durante o ano y (t.CH₄);

f: fração de metano capturado previamente;

OX: fator de oxidação;

F: fração volumétrica de gás metano;

DOC_f: fração de carbono orgânico degradável (DOC);

MCF: fator de correção para o metano;

W_{j,x}: quantidade de resíduos orgânicos tipo j no ano x (t);

DOC_j: fração de carbono orgânico degradável (em peso) nos resíduos tipo j;

K_j: taxa de decaimento para os resíduos tipo j;

j: categoria do tipo de resíduos;

x: ano durante i período de existência do aterro;

y: ano para o qual as emissões de metano são calculadas.

Já para o cálculo da geração de chorume, foi utilizado como referência o valor médio anual de 285 mm de percolado - resultado do balanço hídrico utilizado como referência para o estudo. Estes dados podem ser visualizados no Apêndice único deste trabalho (Hamada, 2011),

Tendo em vista o fato de o aterro sanitário ser empreendimento de longa duração, a determinação de metano e chorume foram modeladas considerando-se uma cobertura temporal específica. Assim, aos 7 anos de tempo médio estimado de operação do Aterro Sanitário de Piedade somaram-se outros 20 anos, que segundo projeto técnico consultado para o presente estudo e aprovado pela Cetesb – que segue as normas estabelecidas pela ABNT NBR 13896 (ABNT, 1997) – corresponde ao tempo máximo para o encerramento por completo dessas emissões para o ambiente.

Por conta inclusive da característica de longevidade do aterro sanitário as estimativas de consumos e geração de matéria e energia para o sistema de produto em análise foram realizadas, neste momento do estudo, para 104.755 toneladas de rejeitos dispostos, valor obtido para a disposição final de 41 t/dia de material, considerando 365 dias/ano, ao longo de 7 anos. Abaixo, pode-se observar na Figura 8, de maneira resumida e ilustrativa, as atividades inerentes e necessárias para o adequado gerenciamento de um aterro sanitário.

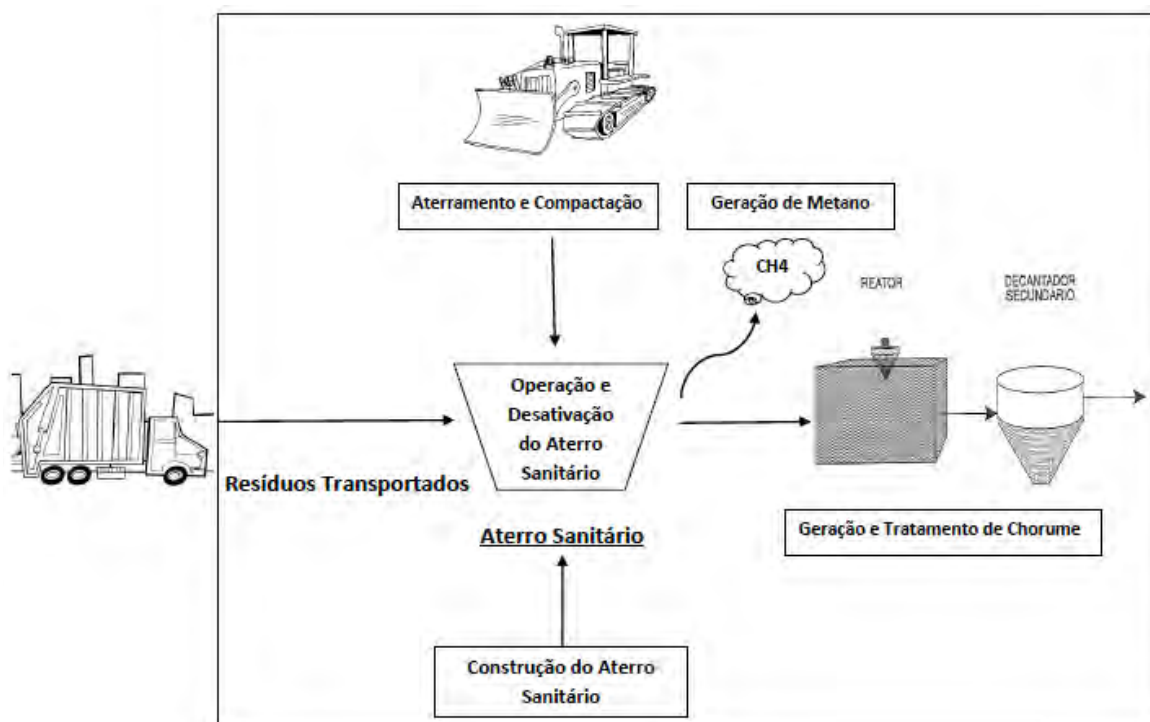


Figura 8: Atividades que compõem a Operação do Aterro Sanitário do Município

Outros fluxos de matéria e energia decorrentes da operação do aterro – advindos das atividades de aterramento e compactação dos resíduos e tratamento do chorume por meio de uma ETE – também foram considerados e inventariados com o objetivo de subsidiar a AICV do SGRSU.

Com relação as atividades de aterramento e compactação dos RSU no aterro, além dos impactos ambientais advindos dessa operação, também foram considerados os impactos decorrentes da produção, distribuição e armazenamento do diesel e da fabricação e manutenção do trator.

Para realizar a AICV desta atividade, foi necessário realizar o cálculo do consumo de diesel por hectare/ hora, onde foi utilizado como referência um estudo da Embrapa que estabelece como referência que um trator convencional faz o percurso de 2 ha/ hora (ALVES, *et al*, 2009).

Para o tratamento do chorume e seu fator de uso da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), adotou-se como sistema próximo a realidade do município de Piedade, que conta com uma ETE da SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), com capacidade para tratar o esgoto de uma população de 26.000 habitantes (população urbana do município atendida pelos serviços de esgotamento sanitário) e um corpo receptor (rio ou córrego) classe 3. Em seguida foi calculada a geração total do chorume e dividiu-se pelo peso total de resíduos gerenciados.

Triagem: por fim, no que se refere à atividade de triagem, aferiu-se os volumes dos materiais que são objeto de coleta seletiva realizada no município e dos resíduos dispostos diariamente no aterro sanitário municipal. As quantidades indicadas antes, respectivamente de 1,22t/dia e 40,98t/dia, foram confirmadas através de relatórios gerenciais da Cotmap e da PMP e pesagem do caminhão da coleta comum. Além disso, realizou-se o levantamento de informações relativas ao consumo de água e energia e a geração de rejeitos advindas desta etapa, conforme pode- se notar na Figura 9. Assim, constatou-se o consumo, em média, de 20 m³ e 130 KWh por mês de água e energia respectivamente. Tais informações foram obtidas através das contas de água e energia da Cotmap e das médias mensais de consumo relativas ao ano de 2011.

A quantidade diária de rejeitos, enviada para o aterro sanitário municipal, gerados pela atividade de triagem é próxima ao volume das atividades comerciais, residenciais e de serviços do município, não superando 50 kg por dia. Tal quantidade representa apenas

0,12% do volume total gerenciado pelo município (42,2 t/dia), dado este que o desabilitou para efeitos de inventário e suas contribuições para os impactos ambientais do SGRSU.

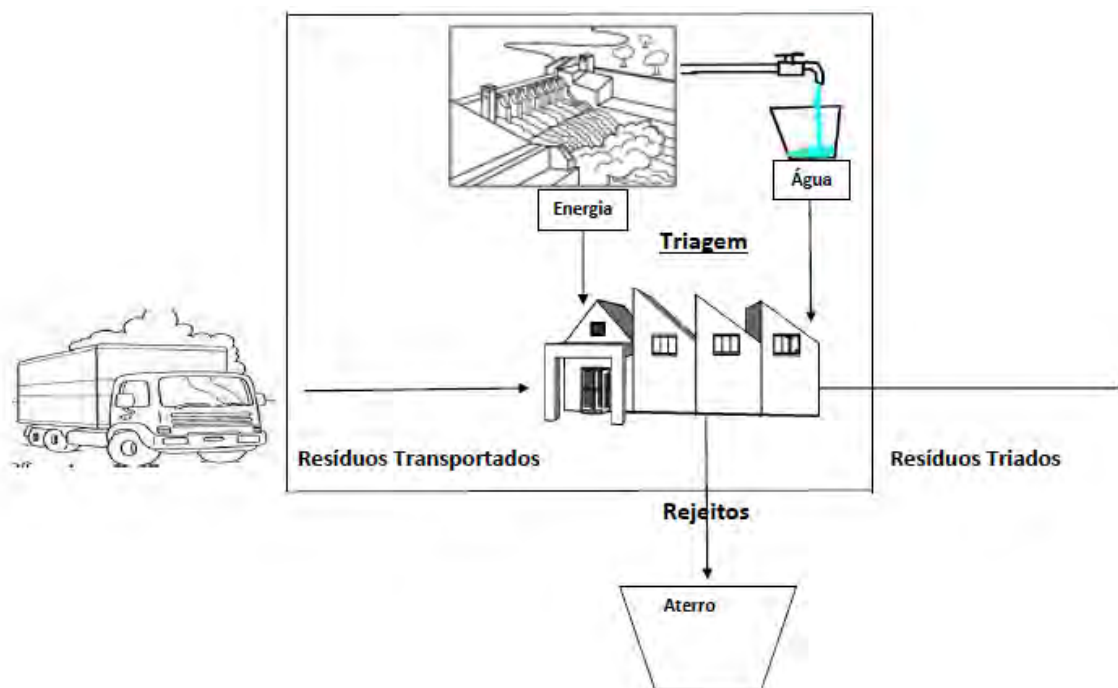


Figura 9: Atividades que compõem a Etapa de Triagem dos Resíduos

Nesta etapa, foram determinados os benefícios econômicos associados à reciclagem com base na metodologia de quantificação empregada pelo Instituto de Pesquisas Econômicas Aplicadas (IPEA, 2010). Por essa metodologia, os valores de custos específicos por tonelada de resíduo são obtidos via valoração econômica que envolve as economias geradas com a reciclagem em relação à obtenção do material/ produto a partir da matéria-prima virgem. Para isso são valorados os benefícios econômicos e ambientais relacionados ao processo produtivo, bem como os custos associados à etapa de coleta e disposição final.

Os ganhos econômicos incluem primordialmente o custo evitado pela reciclagem em termos de consumo de recursos naturais e de energia. Já os benefícios ambientais são associados aos impactos sobre o meio ambiente devido ao consumo de energia, as emissões de gases de efeito estufa (GEEs), ao consumo de água e a perda de biodiversidade (IPEA, 2010). Por conta da heterogeneidade dos resíduos encontrados nas cidades, foi necessário proceder a compartimentalização dos mesmos em grupos genéricos de materiais tais como: aço, alumínio, papel e derivados, plástico e vidro.

6.4 Projeção de Cenários com base no Inventário de Ciclo de Vida (ICV)

Dentro ainda da estruturação prevista no Capítulo 4 – que descreve o Método utilizado para elaboração deste estudo – passa-se agora a descrever o processo de construção de cenários hipotéticos de operacionalização do SGRSU de Piedade. Como apresentado antes, essas alternativas foram estabelecidas a partir da consideração de diferentes taxas de reaproveitamento de resíduos, as quais baseiam-se em diretrizes definidas no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

Foram propostos assim seis cenários, quais sejam:

Cenário 1: em que todos os resíduos gerados diariamente no município seriam enviados, sem qualquer tipo de separação ou tratamento, diretamente para o aterro sanitário municipal, o que compreende que todas as 42,2 t de resíduos sólidos urbanos (RSU) coletadas seriam encaminhadas por esta alternativa;

Cenário 2: para o qual considerou-se a realidade atual de operação do sistema, em que 41 t/ dia de RSU são coletadas, transportadas e dispostas no aterro sanitário e as demais 1,2 t/ dia de materiais recicláveis são coletadas, transportadas e enviadas para a central de triagem, que após separação prévia são comercializadas junto a empresas de reciclagem;

Para os Cenário 3, Cenário 4 e Cenário 5, foram utilizadas por premissas, as metas de redução de resíduos recicláveis secos dispostos em aterros, propostas na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011). O documento em questão prevê no chamado “Cenário Desfavorável” uma taxa de reaproveitamento 30% dos resíduos recicláveis, também denominados resíduos secos. Além deste, o PNRS constitui ainda um “Cenário intermediário”, em que admite-se 50% de taxa de reciclabilidade de resíduos secos; bem como, um “Cenário Favorável/ legal” cuja parcela de reaproveitamento de resíduos secos atinge o patamar de 70%. Dessa forma, passaram a ser também considerados neste estudo:

Cenário 3: disposição em aterro sanitário de 37,89 t/d RSU e encaminhadas para a central de triagem as demais 4,31 t resíduos secos.

Cenário 4: disposição em aterro sanitário de 35,75 t/d e encaminhadas para a triagem 6,45 t/d resíduos secos; e,

Cenário 5: disposição de 33,66 t/d RSU no aterro sanitário e destinação, também diária, de 8,54 t de resíduos secos para a central de triagem.

Para o Cenário 6, também foram utilizadas como premissas, as metas da versão preliminar do PNRS relativas à redução do percentual de resíduos sólidos úmidos dispostos em aterros, cujo valor estabelecido é de 37% (BRASIL, 2011). Assim sendo, para constituição do Cenário 6, este valor foi considerado simultaneamente à meta de 30% de redução de resíduos recicláveis secos dispostos em aterros.

Cenário 6: disposição em aterro sanitário de 18,57 t/d RSU e destinação para a coleta seletiva, triagem e compostagem de 23,63 t/d resíduos passíveis de reciclagem.

A Tabela 5 resume as quantidades destinadas para o aterro e para o reaproveitamento em toneladas para cada cenário, as metas na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos e as porcentagens de reaproveitamento.

Tabela 5 – Quantidades Dispostas no Aterro e Destinadas para o Reaproveitamento considerando as metas estipuladas na versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (Brasil, 2011).

	Aterro Sanitário (t.)	Coleta Seletiva (t.)	Metas da versão preliminar do PNRS para resíduos secos (%)	Metas versão preliminar do PNRS para resíduos úmidos (%)	Aterro Sanitário (%)	Triagem e/ou Tratamento (%)
Cenário 1	42,20	0,00	0	0	100,00	0,00
Cenário 2	41,00	1,20	0	0	97,16	2,84
Cenário 3	37,89	4,31	30	0	89,79	10,21
Cenário 4	35,75	6,45	50	0	84,72	15,28
Cenário 5	33,66	8,60	70	0	79,76	20,24
Cenário 6	18,57	23,63	30	37	44,00	56,00

Pode-se observar pelos dados apresentados que os maiores índices de reaproveitamento de resíduos, ocorrem quando são tomadas ações relativas aos resíduos úmidos, neste caso, os denominados como restos de alimentos e jardins. Como pode-se constatar pelo arranjo dado ao Cenário 6, exatos 56% dos resíduos seriam encaminhados para locais de reaproveitamento e/ou tratamento.

Considerou-se que mesmo com a diminuição ou aumento da coleta seletiva, os meios de transportes continuariam percorrendo as mesmas distâncias e transportando as mesmas quantidades (toneladas) de resíduos que manteve-se inalterada.

Foram aferidas as quantidades de resíduos enviadas para a triagem e para a disposição final no aterro, e realizadas projeções, baseadas na proporcionalidade, a partir da realidade atual (Cenário 2, obtidos fontes de dados primários), para os consumos de água e energia dos cenários 3 a 6. No cenário 1, onde não há coleta seletiva, o consumo de água e energia foi considerado nulo.

Em todos os casos analisados, para operação e desativação do aterro, a quantificação das emissões de gases de efeito estufa e geração de chorume, ocorreu a partir do método proposto por Hamada (2011).

Para a construção foram utilizados os mesmos dados demonstrados na Tabela 4 do item anterior, já que tal etapa do SGRSU não varia para cada cenário proposto.

Como a capacidade de suporte do aterro é de 104.755 toneladas de resíduos e dependendo do cenário, com ou sem coleta seletiva, o mesmo passaria a receber mais ou menos resíduos diariamente, o seu tempo de vida útil passou a alterar dependendo dos índices de reaproveitamento de resíduos adotados.

Assim, como consequência imediata do fato de o aterro receber menos resíduo, está a elevação de seu tempo de operação. Dessa maneira, para a realização do cálculo de capacidade de vida útil do aterro em cada cenário, foi utilizada a seguinte lógica: se o mesmo tem a capacidade de receber 104.755 toneladas em toda a sua vida útil de operação e, ao menos atualmente, sua alimentação ocorre à razão de 41 t/d, o aterro será operado por 2.555 dias – equivalentes, exatamente a 365 dias/ano de disposição por um período de 7 anos.

Assim, ao ensaiar o desempenho do aterro, por exemplo, para o Cenário 4, caso em que a disposição diária de rejeitos foi estimada em 35,75 t, o tempo de operação passa a ser de 2.930 dias, ou seja, sua capacidade máxima será atingida com 8,03 anos.

6.5 Aspectos da modelagem computacional do sistema de produto

A complexidade do SGRSU de Piedade, bem como, os propósitos a que o estudo se destina – de dar suporte a processos de tomada de decisão gerencial via formulação de políticas públicas – fizeram necessário e pertinente a adoção de modelo computacional específico, conhecido como programa SimaPro.

Além de todas as premissas e condicionante já descritas anteriormente, este processo comportou também procedimentos operativos realizados com intuito de compor

um modelo virtual robusto e consistente. Observe-se, porém que como premissa original o modelo foi construído para a gestão, de parte do SGRSU de Piedade, de 1,0 t de resíduos.

Note-se ainda que essa abordagem é usual para efeito de construção de modelos computacionais para realização de estudo de ACV, uma vez que - estabelecido o modelo - esses mesmos recursos permitem a avaliação do sistema estabelecido para quaisquer valores a serem ensaiados.

Os procedimentos e adequações realizados para efeito de estabelecimento do modelo computacional de sistema de produto passam a ser melhor detalhados a seguir.

Caracterização gravimétrica de resíduos: para a quantificação e caracterização detalhada dos resíduos gerados, coletados e transportados pelo SGRSU, fez-se uso da caracterização gravimétrica indicada a seguir na Tabela 6. Para aproximar ao máximo o modelo das condições reais de operação do SGRSU, fez uso de um estudo elaborado por Mantovani (2013) para a cidade de Sorocaba-SP no curso do ano de 2011. A adoção dessa referência deveu-se a dois fatores:

- a) O Município de Piedade não dispõe de caracterização detalhada e atualizada dos RSU e;
- b) O Município de Piedade é limítrofe e está inserido na região administrativa de Sorocaba. Muito embora menos adensado e populoso e com perfil socioeconômico rural e assim distinto do Município de Sorocaba, para o presente estudo pode-se potencialmente representar através do detalhamento da caracterização gravimétrica, com o objetivo de inserir tais dados dentro do software SimaPro,

Assim sendo e por extensão, o perfil de caracterização gravimétrica dos resíduos gerados no Município de Sorocaba é capaz de expressar a condição atual de operação do SGRSU (equivalente ao Cenário 2 de análise), dentro da tolerância definida e necessária para o sistema de produto e a modelagem computacional.

Tabela 6: Caracterização Gravimétrica dos Resíduos gerados no Município de Piedade-SP
Condição atual de operação – Cenário 2

Itens	Massa reaproveitada (t/d)	Massa Aterrada (t/d)
1- Aparas de alumínio	0,1	0,1
2- PEAD	0,0	1,8
3- PET	0,0	0,4
4- Restos de Alimentos/ Jardins	0,0	22,7
5- Papel e Papelão	0,6	3,3
6- Vidro	0,1	0,7
7- Trapos	0,0	2,6
8- Tijolos	0,0	0,8
9- Cimento	0,0	0,8
10- REE	0,0	0,3
11- Potencialmente Perigosos	0,0	0,3
12- Fezes	0,0	1,6
13- Lixo Banheiro	0,0	1,4
14- Fraldas	0,0	1,7
15- Ferrosos	0,0	0,0
16- Latas de Aço	0,3	0,4
17- PP	0	0,7
18- PVC	0	0,0
19- PEBD	0	1,2
20- Poliestireno	0	0,1
Total	1,2	41,0

Transportes: a estimativa dos transportes considerados pelo SGRSU de Piedade – expressa em termos de ACV em termos de [Quantidade transportada] x [Distância], ou, neste caso, t.km – foi realizada da seguinte forma: as 42,2 t/d resíduos são transportadas com o auxílio de sete caminhões, do que resulta uma média 6,03 t resíduos por caminhão. Como para esta ação cada caminhão percorre uma distância de 75km por dia, obtém-se um total de 452,25 t.km (6,03t x 75km). Vale lembrar mais uma vez que em virtude do fato de

o sistema ter sido originalmente constituído para a gestão de 1,0 t de resíduos sólidos, as quantidades em termos de transporte imputadas ao programa foram de 75 t.km.

Construção do aterro sanitário: assim como já foi descrito, a construção do aterro sanitário foi modelada a partir de dados primários (obtidos do projeto executivo da PMP) e secundários - obtidos de literatura específica sobre o tema junto à base de dados Ecoinvent. Para efeito da transcrição desse desempenho junto ao programa computacional SimaPro fez uso da seguinte abordagem: a Construção de uma unidade (ou seja, de uma parte) de Aterro Sanitário tem potencial para receber exatas 104.755 t de resíduos sólidos, quando estes são gerados à razão de 41t/d durante os 365 dias de 7 anos. Logo, a capacidade de utilização do mesmo espaço para ao condicionamento de 1,0 t de resíduos corresponde a uma fração desta capacidade, estimada como sendo:

$$f_C = 1/[104.775] = 0,00000955 \text{ partes do mesmo aterro}$$

Observe-se que esta condição foi adotada como referência para todos os cenários, onde o tempo de utilização do mesmo empreendimento é alterado. Isso porque, a mesma se baseia no volume de sólidos recebidos e suportados pelo aterro e não, no tempo de utilização do mesmo.

Aterramento e compactação dos resíduos: para realização desta operação é necessário o uso diário de um trator esteira. Para determinar os aspectos ambientais associados à operação deste equipamento – colocando-a assim em consonância com a leitura dispensada para outros bens de capital – fez-se uso de um modelo alternativo disponível na Base de dados Ecoinvent – correspondente ao “*preparo de solo para agricultura*”. Essa decisão foi tomada pelo fato de a mesma Base de Dados Ecoinvent não dispor de ICV específico para operação de aterramento de rejeitos. Diga-se de passagem que os efeitos em termos de incerteza causados por esta decisão foram aferidos, sendo os resultados obtidos em decorrência desta ação, pouco significantes para efeito de alteração do perfil de impactos ambientais do SGRSU de Piedade em qualquer dos seis cenários avaliados.

Assim, considerando que o trator trabalha 16.128hs durante 7 anos (ou seja, 8 hs/d, durante 6 d/semana, e 4 semanas por mês, 12 meses ao ano, ao longo de 7 anos), para aterrar e compactar 104.755 t resíduos e que, a cada dia percorre o equivalente a 2 hectares

nesta atividades, pode-se para um modelo considerado como linear – ou seja, de 1º. Grau – estimar que a etapa de utilização do trator esteira seja de 0,308 ha/ t.RSU.

Além dos impactos advindos dessa operação, para efeitos de AICV, nesta etapa foram também considerados aspectos ambientais associados à produção de diesel, bem como, cargas ambientais decorrentes da produção, manutenção e desmantelamento do trator.

Consumos de Água e Energia: para determinação das cargas ambientais associadas respectivamente a produção e distribuição de água potável e de energia de baixa voltagem, realizou-se, inicialmente, o levantamento da quantidade de resíduos dispostos no aterro e destinados a central de triagem, para assim, se estabelecer a unidade funcional (UF) da triagem em relação ao aterro. O produto inicial desta ação aparece expresso na Tabela 7.

Tabela 7: Determinação da Unidade Funcional (U.F.) da Coleta Seletiva e Triagem

	Aterro Sanitário - ton.	Coleta Seletiva e Triagem - ton.	Aterro Sanitário - %	Coleta Seletiva e Triagem - %	Aterro Sanitário - ton. (U.F.)	Coleta Seletiva e Triagem - ton. (U.F.)	Total Coletado Gerado - ton. (U.F.)
Cenário 1	42,20	0,00	1,0000	0,0000	1,00	0,00	1,00
Cenário 2	41,00	1,20	0,9716	0,0284	1,00	0,03	1,03
Cenário 3	37,89	4,31	0,8979	0,1021	1,00	0,11	1,11
Cenário 4	35,75	6,45	0,8472	0,1528	1,00	0,18	1,18
Cenário 5	33,66	8,60	0,7976	0,2024	1,00	0,25	1,25
Cenário 6	18,57	23,63	0,4400	0,5599	1,00	1,27	2,27

Os consumos de água potável e eletricidade foram ponderados entre as quantidades dispostas no aterro sanitário e destinadas para triagem de acordo e partir da condição atual de operação. A partir da definição desta relação, partiu-se para a obtenção do consumo de água e energia através das unidades funcionais, como pode-se visualizar na Tabela 8.

Tabela 8: Consumo de Água e Energia com base na UF da triagem

	Aterro Sanitário - ton.	Coleta Seletiva e Triagem - ton.	Água (m³)	Energia (KWh)	Aterro Sanitário - ton. (U.F.)	Coleta Seletiva e Triagem - ton. (U.F.)	Água (m³/ kg) - U.F - Triagem	Energia (KWh) - U.F - Triagem
Cenário 1	42,20	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00/ 0,0	0,00
Cenário 2	41,00	1,20	0,67	4,33	1,00	0,03	0,02/ 20	0,11
Cenário 3	37,89	4,31	2,41	15,55	1,00	0,11	0,06/ 60	0,40
Cenário 4	35,75	6,45	3,60	23,27	1,00	0,18	0,10/ 100	0,65
Cenário 5	33,66	8,60	4,77	30,81	1,00	0,25	0,14/ 140	0,89
Cenário 6	18,57	23,63	13,20	85,26	1,00	1,27	0,71/ 710	4,58

Utilizando novamente como exemplo o cenário 2, se o consumo de água e energia para realizar a triagem de 1,2 toneladas de material reciclável é de 0,67 m³ e 4,33 KWh por dia, para realizar a triagem de 0,03 t.resíduos será necessário o consumo de 0,02 m³ - equivalente a 20kg de água se sua densidade $d \simeq 1,00 \text{ kg/L}$ - e de 0,11 KWh de energia, respectivamente.

Emissão de CH₄ na operação e desativação do aterro sanitário: Para modelagem computacional no programa SimaPro da geração do metano advinda das etapas de operação e desativação do aterro, foram necessárias informações relativas a quantidade anual de resíduos dispostos no aterro, e de sua caracterização gravimétrica. Com esses dados, calculou-se então as emissões advindas destas etapas do SGRSU com base em Hamada (2011). Para tanto, porém, determinou-se de antemão a relação entre emissão de CH₄ e quantidade de rejeitos dispostos para cada cenários sob análise. Estas aparecem indicadas a seguir na Tabela 9.

Tabela 9: Relação entre massa de CH₄ emitida pelo aterro sanitário e massa de RSU gerados em cada cenário (expressa em t/t)

	Geração de CH ₄ (t)	Capacidade de acondicionamento do Aterro Sanitário (t)	[massa CH ₄ / massa RSU]
Cenário 1	3.044	104.755	0,02906
Cenário 2	3.015	104.755	0,02878
Cenário 3	3.038	104.755	0,02900
Cenário 4	3.058	104.755	0,02919
Cenário 5	3.085	104.755	0,02945
Cenário 6	4.462	104.755	0,04260

Geração de chorume: a modelagem computacional da geração de chorume para tratamento na ETE seguiu o mesmo enfoque dado para a situação de emissão de CH₄. Assim sendo, a geração dessa corrente foi calculada dividindo-se o volume total de chorume gerado em cada cenário de análise pela quantidade total de resíduos a serem gerenciados. Esses resultados aparecem indicados a seguir na Tabela 10.

Tabela 10: Relação entre volume de chorume gerado no aterro sanitário e massa de RSU gerados em cada cenário (expressa em m³/t)

	Geração de Chorume - (m ³)	Capacidade de Suporte de RSU do Aterro (ton.)	Geração de Chorume(m ³)/Toneladas de RSU
Cenário 1	38.760	104.755	0,3700
Cenário 2	39.900	104.755	0,3809
Cenário 3	43.149	104.755	0,4119
Cenário 4	45.771	104.755	0,4369
Cenário 5	48.621	104.755	0,4641
Cenário 6	88.065	104.755	0,8407

A Figura 10 sintetiza o modelo de sistema de produto na forma como este foi construído junto ao programa computacional SimaPro, para efeito não apenas de elaboração de ICV, mas também , para conduzir a mensuração de impactos ambientais a partir da aplicação do método Ecoindicator 99 (H).

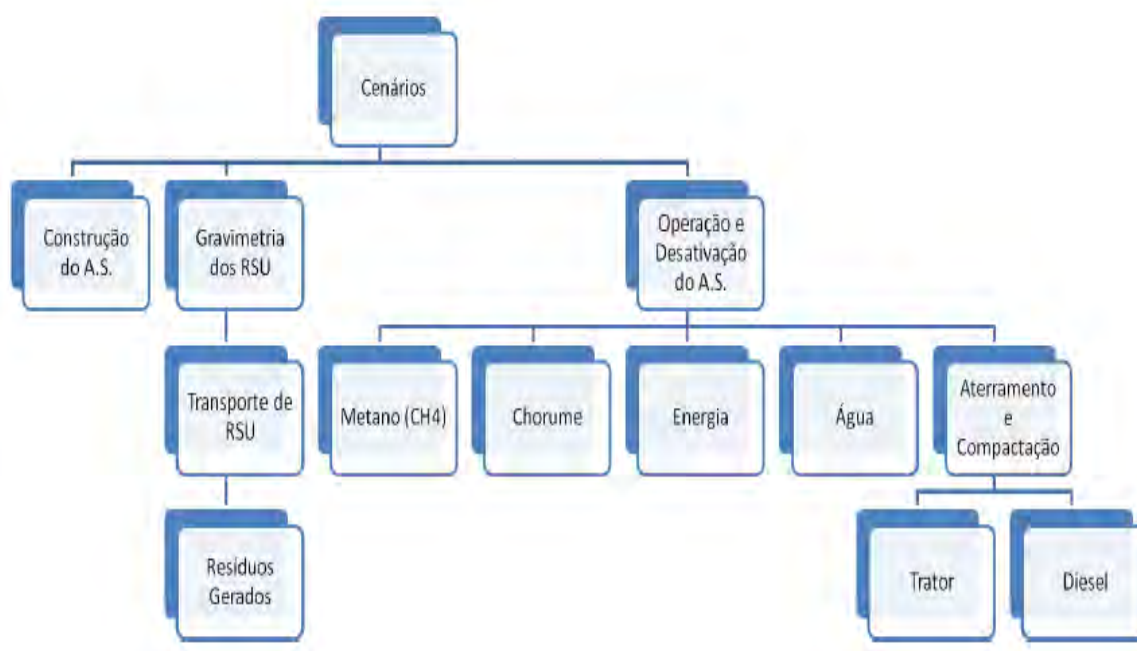


Figura 10: Fluxograma de Informações dentro do software SimaPro.

Observe-se a partir desse mesmo diagrama que a construção do aterro permanece inalterada em cada cenário. A gravimetria dos RSU está associada aos transportes de resíduos, os quais inclusive – permanecem também invariáveis, uma vez que – por

premissa – os resíduos inerentes à coleta seletiva também necessitam do mesmo transporte do que a coleta comum – e a geração dos resíduos, que sempre serão as atuais 42,2 toneladas diárias de RSU, estando ambas as áreas equidistantes ao ponto médio adotado como centro de irradiação da geração.

Por fim, destaca-se que os dados relativos a atividade de aterramento e compactação de resíduos permaneceram similares em todos os cenários, conforme descrito anteriormente neste mesmo capítulo. Os demais aspectos, como a geração de metano e chorume e os consumos de água e energia são, de sua parte, influenciados com as premissas adotadas, excetuando-se coleta seletiva e reaproveitamento dos resíduos secos e úmidos.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

Para efeito de melhor visualização e comparação, os seis cenários serão apresentados simultaneamente em cada etapa de gerenciamento de resíduos.

A Tabela 11 apresenta as emissões atmosféricas do transporte de resíduos. Para esta etapa é importante reforçar a premissa assumida, onde para qualquer um dos cenários propostos para o SGRSU, os meios de transportes serão os mesmos sete (7) caminhões.

Como se pode observar pela Tabela 11 o poluente com maior contribuição corresponde ao óxido de nitrogênio (NO_x); por outro lado, aquele com menor aporte é o material particulado (MP).

Tabela 11: Emissões Atmosféricas Médias Mensais para o Transporte de Resíduos em Piedade.

Fator de Emissão Veículo	CO (g/mês)	HC (g/mês)	NO_x (g/mês)	MP (g/mês)
1- Caminhão I	1.431.000	312.750	1.840.500	89.460
2- Caminhão II	1.431.000	312.750	1.840.500	89.460
3- Caminhão III	510.750	70.290	1.840.500	3.825
4- Caminhão IV	510.750	70.290	447.360	3.825
5- Caminhão V	510.750	140.580	447.360	19.170
6- Caminhão VI	510.750	140.580	894.720	19.170
7- Caminhão VII	510.750	140.580	894.720	19.170
TOTAL (toneladas/mês)	5,41	1,19	8,20	0,24
TOTAL (toneladas/dia)	0,1803	0,0397	0,2733	0,0080

A Tabela 12 apresenta os dados relativos à etapa de triagem, iniciando com as quantidades de resíduos geradas/ gerenciadas e destinadas para a triagem, assim com as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e os reais índices de reaproveitamento dos RSU, em cada cenário.

Tabela 12: Quantidades de resíduos gerenciadas, metas PNRS e índices de reaproveitamento.

	Total de Resíduos Gerados (ton/ dia)	Aterro Sanitário (ton/dia)	Coleta Seletiva (ton/ dia)	Metas do PNRS para resíduos secos/ úmidos (%)	Índice de Reaproveitamento (%)
Cenário 1	42.20	42.20	0,00	0 / 0	0,00
Cenário 2	42.20	41,00	1,20	0 / 0	2,84
Cenário 3	42.20	37,89	4,31	30 / 0	10,21
Cenário 4	42.20	35,75	6,45	50 / 0	15,28
Cenário 5	42.20	33,66	8,60	70 / 0	20,24
Cenário 6	42.20	18,57	23,63	30 / 37	56,00

Com o estabelecimento e processamento dos dados expressos na Tabela 12, é possível observar que a taxa de reaproveitamento dos resíduos torna-se bem mais efetiva quando há beneficiamento e/ ou reaproveitamento dos resíduos úmidos, neste caso os provenientes de restos de alimentos e jardins.

Conforme já observado antes na Tabela 6 os resíduos gerados em maior quantidade são restos de alimentos e jardins que, ao menos na condição atual, não apresentam alternativa de tratamento/reciclagem.

Observa-se também, que mesmo com as metas do PNRS de 30%, 50% e 70%, os reais índices de reaproveitamento dos resíduos secos recicláveis chegam a apenas 10%, 15% e 20% respectivamente. Como descrito, apenas agregando metas com o objetivo de estabelecer algum tipo de tratamento dos resíduos úmidos, neste caso 37% mais 30% para os resíduos secos recicláveis, chega-se a índice de reaproveitamento do total de RSU gerenciados de 56% do total dos rejeitos e resíduos gerados.

A Tabela 13 apresenta os dados relacionados aos consumos de água e energia advindos da etapa de triagem, assim como as quantidades de resíduos reaproveitados em cada cenário.

Tabela 13: Resíduos Reaproveitados e Consumos de Água e Energia para cada Cenário.

	RSU Destinados para a Triagem (ton/ dia)	Consumo de Água – Triagem (m ³ / dia)	Consumo de Energia – Triagem (KWh/ dia)
Cenário 1	0	0	0
Cenário 2	1,2	0,67	4,33
Cenário 3	4,31	2,41	15,55
Cenário 4	6,45	3,60	23,27
Cenário 5	8,54	4,77	30,81
Cenário 6	23,63	13,20	85,26

Como já mencionado, admitiu-se um aumento proporcional dos consumos, tanto de água e energia, e apenas no Cenário 1, não há consumo pois foi adotado, como premissa, que não haverá coleta seletiva e triagem.

Observa-se pela Tabela 13 que, atualmente (Cenário 2), tanto o consumo de água quanto o de energia são próximos aos consumos residenciais e, mesmo com os aumentos significativos de reaproveitamentos de resíduos nos demais cenários, acredita-se que suas contribuições em termos de impactos ambientais são bem baixas para o SGRSU de Piedade.SP.

A seguir, na Tabela 14, serão apresentadas as estimativas dos benefícios econômicos e ambientais possíveis de serem gerados pela Reciclagem dos Resíduos que são atualmente encaminhados para aterro (Cenário 2).

Tabela 14: Estimativa dos Benefícios Econômicos e Ambientais possíveis de serem gerados pela Reciclagem dos Resíduos Encaminhados para o Aterro Sanitário de Piedade – Cenário 2 com base em estudo do IPEA (2010)

Item	Aterro (t/dia)	Benefícios Econômicos e Ambientais Potenciais	
		R\$/t.	R\$/dia
1- Restos de alimento / jardim	22,66	0,00	0,00
2- Papel, papelão	3,27	241,00	789,21
3- Trapo	2,57	0,00	0,00
4- Vidro	0,73	18,00	13,14
5- Plástico	4,11	1.107,00	4.554,75

Item	Aterro (t/dia)	R\$/t.	R\$/dia
6- Metal	0,77	3.029,00	2.326,40
7- Inertes	1,56	0,00	0,00
8- Outros	5,30	0,00	0,00
Valores totalizados	40,98		7.683,50

Os resultados indicados na Tabela 14 mostram perdas econômicas expressivas de aproximadamente R\$7.683,50 ao dia, ou mais de R\$2,7 milhões por ano, devido à baixa eficiência no reaproveitamento dos resíduos. A Tabela 15 apresenta as estimativas dos benefícios econômicos através de cada cenário adotado.

Tabela 15 – Estimativa dos benefícios econômicos diários se as quantidades encaminhadas ao aterro sanitário fossem encaminhadas à triagem, com base em estudo do IPEA (2010).

	Aterro Sanitário (t./dia)	Benefícios Econômicos e Ambientais Potenciais (R\$/dia)
Cenário 1	42,20	9.127,12
Cenário 2	41,00	7.683,50
Cenário 3	37,89	5.378,32
Cenário 4	35,75	3.841,66
Cenário 5	33,66	2.304,99
Cenário 6	18,57	5.378,32

Através da tabela 15, é possível visualizar perdas econômicas expressivas em cada cenário, havendo uma diminuição dos valores, conforme há uma redução dos resíduos secos dispostos no aterro.

No Cenário 6 é possível notar os mesmos resultados do Cenário 3, pois as metas de aproveitamento e reciclagem de resíduos secos são os mesmos 30%. Isso porque as metas relativas ao reaproveitamento e tratamento dos resíduos úmidos, como restos de alimentos e jardins, não foram apresentadas devido ao fato de que o estudo utilizado como base (IPEA, 2010) não apresenta a valoração econômica ambiental e seus potenciais benefícios econômicos destes resíduos.

Com relação a etapa de disposição final, os cálculos a respeito da quantidade de emissões de metano e chorume gerados com o aterramento dos resíduos nas fases de

operação e desativação do aterro de Piedade estimaram que, para as atuais 41 t/d dispostas, seriam geradas em todo o período 3.015 toneladas de metano e 39.900 m³ de chorume. A Tabela 16 apresenta os valores para todos os cenários, lembrando que, conforme se aumenta a quantidade encaminhada à triagem há o aumento da vida útil do aterro sanitário.

Tabela 16: RSU Dispostos, Tempo de Operação, Geração de Metano e Chorume para cada Cenário em análise.

	RSU Dispostos no Aterro (t./ dia)	Tempo de Operação do Aterro (anos)	Geração de Metano – CH ₄ (t)	Geração de Chorume - (m ³)
Cenário 1	42,2	6,8	3.044	38,760
Cenário 2	41,0	7,0	3.015	39.900
Cenário 3	37,89	7,57	3.038	43.149
Cenário 4	35,75	8,03	3.058	45.771
Cenário 5	33,66	8,53	3.085	48.621
Cenário 6	18,57	15,45	4.462	88.065

Conforme se nota pelos resultados apresentados na Tabela 16 há um aumento da geração de metano e chorume quando se opera o aterro por mais tempo. No Cenário 1, há maior geração de metano do que nos Cenários 2 e 3, devido principalmente a ausência de reciclagem (no primeiro cenário) de todos os materiais, em especial do papel e papelão, que também contribuem para a biodegradação e consequente geração de CH₄.

Com relação a geração do chorume, pode-se notar um aumento significativo no cenário 6, quando existem o reaproveitamento dos resíduos úmidos, neste caso restos de jardins e alimentos, e o consequente aumento da vida útil do aterro. Assim o fator de uso da ETE devido a maior geração de chorume em todo o tempo de operação do aterro passa a ser maior, já que serão gerados os mesmos 5.700m³ anuais, sendo enviados para a ETE por um período maior (anos).

Ainda para o ICV apenas quanto a operação do aterro, fez-se necessário calcular o consumo de diesel do trator esteira que executa as atividades de aterramento e compactação dos resíduos. Assim, utilizando como referência um estudo realizado pela Embrapa (ALVES, *et al*, 2009), obteve-se os resultados apresentados na Tabela 17.

Observa-se que apenas o trator esteira consome 221 L/d diesel no processo de operação do aterro.

Tabela 17: Consumo de Diesel do Trator Esteira. Fonte Embrapa – Adaptado

Consumo do Trator Esteira na Atividade de Aterramento e Compactação	
Litros/ hora	27,60
Litros/ dia	220,80

7.2 Avaliação do Impacto no Ciclo de Vida (AICV)

A seguir serão apresentados os resultados relativos a aplicação do método Ecoindicator 99 (H) para Avaliação de Impactos Ambientais no Ciclo de Vida sobre o sistema produto que compreende o SGRSU de Piedade.

7.2.1 Cenário 1 – Sem Coleta Seletiva.

A Tabela 18 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados para o Cenário 1 considerando o sistema de produto (Figura 5) e todas as suas entradas e saídas. Observa-se pelos dados em questão que com a inexistência das atividades de coleta seletiva e triagem, as maiores contribuições na categoria de impacto respiráveis inorgânicos ficam por conta das atividades de transporte de resíduos (47% e/ ou 2,02Pt), seguidas do aterramento e compactação e da construção do aterro.

A categoria de mudanças climáticas recebe a maior contribuição da geração de metano, seguida pela construção do aterro, transporte dos resíduos e aterramento e compactação. Neste cenário a categoria de impacto ambiental com maior representação (57%) é a de combustíveis fósseis (12,82 Pt), que encontra as contribuições em maior porção advinda da atividade de transporte de resíduos (7,89Pt), seguida das atividades de construção do aterro (2,65Pt) e da operação de aterramento e compactação dos resíduos (2,27Pt).

Tabela 18: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais considerando o Cenário 1, sem coleta seletiva.

0% de Reciclagem							
Categoria de impacto	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Geração e Tratamento de Chorume
Total	Pt	22,45	2,50	10,86	5,13	3,94	0,01
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00
Mudanças Climáticas	Pt	3,64	2,50	0,41	0,59	0,14	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00
Uso do Solo	Pt	0,57	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,82	0,00	7,89	2,65	2,27	0,00

Outras duas categorias de impactos que merecem destaque, mesmo tendo menor contribuição e representatividade, que as demais citadas acima, são Uso do Solo – que responde por 2,5% de todos os impactos – cujas principais contribuições recaem sobre a atividade de construção do aterro; e Acidificação/ Eutrofização – 2,7% do impacto total – imputáveis em sua maior parte às atividades de aterramento e compactação e transporte de resíduos.

7.2.2 Cenário 2 - Situação Atual

A Tabela 19 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados de cada uma para o Cenário 2 – situação atual de funcionamento do SGRSU de Piedade. A partir desse cenário, que é o atual e real do município, passa-se a considerar as atividades de coleta seletiva e triagem de 3% dos resíduos, enquanto que 97% vão diretamente para o aterro sanitário.

Tabela 19: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais.

Situação Atual Categoria de impacto	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Consumo de Água	Consumo de Energia	Geração e Tratamento de Chorume
Total	Pt	22,42	2,48	10,86	5,13	3,94	0,00	0,00	0,01
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00	0,00	0,00
Mudanças Climáticas	Pt	3,62	2,47	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00
Uso do Solo	Pt	0,57	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00	0,00	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,82	0,00	7,89	2,65	2,27	0,00	0,00	0,00

Observa-se pela Tabela 19 que, mesmo com os dois aspectos (água e energia) inerentes às atividades de triagem de resíduos, os impactos ambientais da coleta seletiva neste cenário ainda não resultam em pontuação para o sistema em análise, devido principalmente ao seu baixo consumo.

Assim, mesmo com a existência da atividade de coleta seletiva e triagem, apenas na categoria mudanças climáticas houve uma pequena diminuição (0,0241Pt), advinda da menor geração do metano no aterro. Os demais impactos ambientais mais significativos continuam os mesmos e com as mesmas pontuações, sendo: combustíveis fósseis, respiráveis inorgânicos, acidificação/ eutrofização e uso do solo.

7.2.3 Cenário 3 - Meta de 30% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos

A Tabela 20 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados para o Cenário 3. Observa-se que neste cenário, mesmo com a meta de 30% de redução dos resíduos secos dispostos no aterro, os resultados são similares aos do Cenário 1. Note-se porém que mesmo com o aumento da parcela de reciclagem comparada aos cenários anteriores (1 e 2), o resultado totalizado em termos de impactos ambientais é idêntico àquele observado para o Cenário 1, de 22,45Pt. Tal resultado se deve principalmente aos resíduos úmidos serem os mesmos e o aterro acabar sendo operado por mais tempo, emitindo assim mais metano.

Tabela 20: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais

30% de Reciclagem	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Consumo de Água	Consumo de Energia	Geração e Tratamento de Chorume
Categoria de impacto									
Total	Pt	22,45	2,50	10,86	5,13	3,94	0,00	0,00	0,01
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00	0,00	0,00
Mudanças Climáticas	Pt	3,64	2,49	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00
Uso do Solo	Pt	0,57	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00	0,00	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,82	0,00	7,89	2,65	2,27	0,00	0,00	0,00

7.2.4 Cenário 4 – Meta de 50% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos.

A Tabela 21 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados de cada uma para o cenário 4 considerando o sistema de produto (Figura 5) em todas as suas entradas e saídas: construção do aterro, transporte de resíduos, consumo de água e energia na triagem, aterramento e compactação, geração e tratamento de chorume e geração de metano. Observa-se pela Tabela 21 um aumento de 0,02 Pt comparados ao cenário anterior (3), advindos do aspecto ambiental geração de metano e da categoria de impactos mudanças climáticas. Isso é consequência do tempo de operação do aterro ter aumentado em 0,5 ano em relação ao cenário 3.

Tabela 21: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado s e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais.

50% de Reciclagem	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Consumo de Água	Consumo de Energia	Geração e Tratamento de Chorume
Categoria de impacto									
Total	Pt	22,47	2,52	10,86	5,13	3,94	0,00	0,01	0,02
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00	0,00	0,00
Mudanças Climáticas	Pt	3,65	2,51	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00
Uso do Solo	Pt	0,58	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00	0,00	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,82	0,00	7,90	2,65	2,27	0,00	0,00	0,00

7.2.5 Cenário 5 – Meta de 70% do PNRS para o reaproveitamento dos resíduos secos.

A Tabela 22 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados de cada uma para o cenário 5, sempre considerando o sistema de produto (Figura 5) com todas as suas entradas e saídas: construção do aterro, transporte de resíduos, consumo de água e energia na triagem, aterramento e compactação, geração e tratamento de chorume e geração de metano. Observa-se pela Tabela 22, para o cenário mais ousado em termos de reaproveitamento dos resíduos secos recicláveis, um aumento de 0,03 pontos no indicador global dos impactos ambientais. Neste caso, exceto na categoria de impacto mudanças climáticas e combustíveis fósseis, todos os indicadores permanecem os mesmos se comparados ao cenário anterior. Para o impacto que houve maior aumento, novamente se atribui tal relação a geração de metano, com a mesma lógica que o aterro continuará a receber as mesmas quantidades de resíduos úmidos e será operado por mais tempo, gerando assim mais gases de efeito estufa.

Tabela 22: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais

70% de Reciclagem									
Categoria de impacto	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Consumo de Água	Consumo de Energia	Geração e Tratamento de Choroume
Total	Pt	22,50	2,54	10,86	5,13	3,94	0,00	0,01	0,02
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00	0,00	0,00
Mudanças Climáticas	Pt	3,68	2,53	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00
Uso do Solo	Pt	0,58	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00	0,00	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,83	0,00	7,90	2,65	2,27	0,00	0,01	0,00

Neste cenário, nota-se pela primeira vez a pontuação de 0,01 Pt para o consumo de energia advindos da etapa de triagem de resíduos, contribuindo assim para o aumento do impacto ambiental combustíveis fósseis.

7.2.6 Cenário 6 – Meta de 30% para o reaproveitamento dos resíduos secos e 37% para os resíduos úmidos.

A Tabela 23 apresenta as categorias de impacto e os valores relativizados de cada uma para o cenário 5 considerando o sistema de produto (Figura 5) em todas as suas entradas e saídas: construção do aterro, transporte de resíduos, consumo de água e energia na triagem, aterramento e compactação, geração e tratamento de choroume e geração de metano. Observa-se pela Tabela 23 que, mesmo com a meta de reaproveitamento dos resíduos úmidos, este cenário (6) é o que apresenta maior crescimento em termos de impactos ambientais globais (23,70Pt). Se comparado com o Cenário atual (2) o crescimento é de 5,7% e com o cenário anterior (5) de 5,3%.

O aspecto ambiental que mais contribui para o aumento significativo em termos de impactos ambientais é a geração de metano, que reflete diretamente na categoria de impacto mudanças climáticas. Tais aspectos e impactos totalizam neste cenário as pontuações de 3,67Pt e 4,81Pt, respectivamente, conforme nota-se na Tabela 23.

Tabela 23: Entradas e saídas do Sistema de Produto considerado e suas contribuições para as categorias de impactos ambientais

37% de Compostagem	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de Resíduos	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Consumo de Água	Consumo de Energia	Geração e Tratamento de Chorume
Total	Pt	23,70	3,67	10,86	5,13	3,94	0,01	0,05	0,03
Carcinogênicos	Pt	0,11	0,00	0,03	0,04	0,03	0,00	0,00	0,01
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Resp. inorgânicos	Pt	4,32	0,00	2,02	1,02	1,27	0,00	0,00	0,01
Mudanças Climáticas	Pt	4,81	3,66	0,41	0,59	0,14	0,00	0,01	0,00
Radiação	Pt	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,23	0,00	0,09	0,10	0,03	0,00	0,00	0,00
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,00	0,30	0,15	0,16	0,00	0,00	0,00
Uso do Solo	Pt	0,58	0,00	0,10	0,46	0,02	0,00	0,01	0,00
Recursos Minerais	Pt	0,16	0,00	0,01	0,11	0,03	0,00	0,00	0,00
Combust. Fósseis	Pt	12,85	0,00	7,90	2,65	2,27	0,01	0,03	0,01

Outros aspectos que contribuem para o aumento dos impactos ambientais deste cenário são: consumo de água, consumo de energia e a geração e tratamento do chorume, com o aumento nas pontuações – se comparados ao cenário anterior (5) – de 0,01, 0,04 e 0,01, respectivamente. Tais resultados refletem no aumento das seguintes categorias de impactos: carcinogênicos, respiráveis inorgânicos, mudanças climáticas, ecotoxicidade, recursos minerais e combustíveis fósseis.

O aumento dos aspectos e impactos ambientais se devem fundamentalmente ao prolongamento do tempo (15,45 anos) de vida útil do aterro e das atividades de triagem.

7.2.7 Comparação dos Cenários e Resultados e Análise do Desempenho Ambiental

Na Figura 11, são demonstrados os resultados comparativos de cada cenário com relação à cada categoria de impacto.

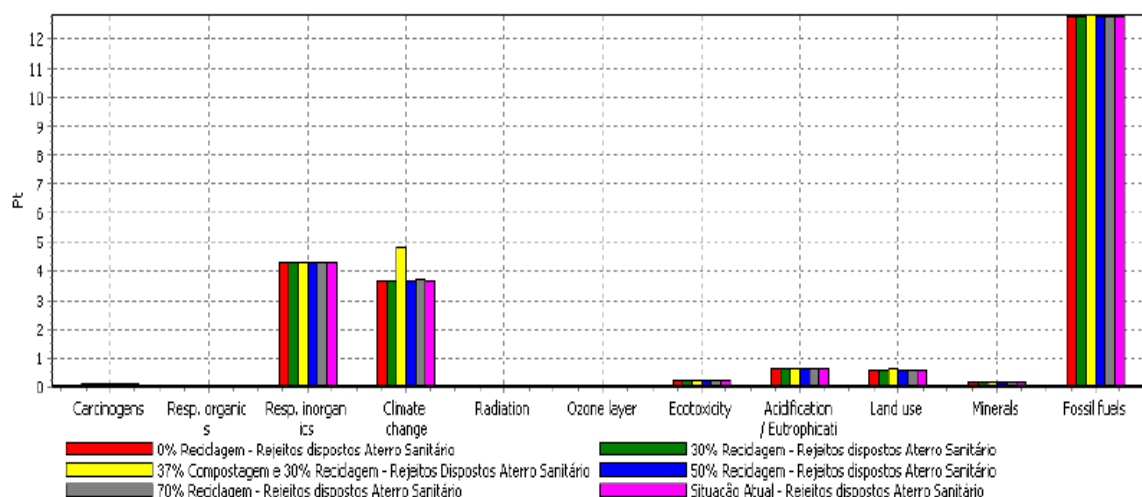


Figura 11: Impactos ambientais advindos de cada cenário de operação do SGRSU

Assim, é possível observar que todos os resultados são muito semelhantes em todos os cenários e em termos de categorias de impactos ambientais, exceto no Cenário 6, quando há metas de 37% para o reaproveitamento dos resíduos úmidos e 30% dos resíduos recicláveis secos. Neste caso (cenário 6), tem-se um aumento expressivo de 5,4% (1,21Pt) nos impactos ambientais totais, se comparado com a média (22,49Pt) dos cenários 1 a 5. Na tabela 24 pode-se notar o aumento dos impactos ambientais comparados com o Cenário Atual (2), assim como o tempo de operação do SGRSU em cada cenário.

Tabela 24: Aumento dos Impactos Ambientais Globais comparados com o Cenário Atual (2).

Cenários	Impactos Ambientais Totais (Pt)	Tempo de operação (Anos)	Aumento dos Impactos (%)
Cenário 1	22,45	6,80	0,1%
Cenário 2	22,42	7,01	0,0%
Cenário 3	22,45	7,57	0,1%
Cenário 4	22,47	8,03	0,2%
Cenário 5	22,5	8,53	0,4%
Cenário 6	23,7	15,45	5,7%

Então é possível visualizar que apenas no Cenário 6 há um crescimento significativo em termos de impactos ambientais globais – de 1,28Pt e 5,7%. Tal aumento se deve basicamente a categoria de impacto mudanças climáticas – devido a geração de metano do aterro – que conforme pode se ver na Tabela 25, passa de 3,62Pt (Cenário 2) para 4,81Pt.

Tabela 25: Comparação dos Resultados e contribuição de cada cenário para os impactos ambientais.

Categoria de impacto	Unidade	Cenário 1 – 0% Reciclagem	Cenário 2 – Situação Atual	Cenário 3– 30% Reciclagem	Cenário 4 – 50% Reciclagem	Cenário 5 – 70% Reciclagem	Cenário 6 – 37% Compostagem e 30% Reciclagem
Total	Pt	22,45	22,42	22,45	22,47	22,50	23,70
Carcinogênicos	Pt	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11
Resp. orgânicos	Pt	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Resp. inorgânicos	Pt	4,31	4,31	4,31	4,31	4,31	4,32
Mudanças Climáticas	Pt	3,64	3,62	3,64	3,65	3,68	4,81
Radiação	Pt	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Camada de Ozônio	Pt	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	Pt	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,23
Acidificação/ Eutrofização	Pt	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
Uso do Solo	Pt	0,57	0,57	0,57	0,58	0,58	0,58
Recursos Minerais	Pt	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
Combust. Fósseis	Pt	12,82	12,82	12,82	12,82	12,83	12,85

Além da categoria de impacto mudanças climáticas, os resultados do Cenário 6 refletem no aumento das seguintes categorias de impactos: carcinogênicos, respiráveis inorgânicos, ecotoxicidade, recursos minerais e combustíveis fósseis.

O aumento de tais impactos ambientais se devem fundamentalmente ao prolongamento do tempo de vida útil de operação do aterro sanitário e das atividades de triagem de resíduos (15,45 anos), que conforme pode-se visualizar na Tabela 23, refletem diretamente no aumento dos aspectos ambientais de: geração de metano e chorume e consumos de água e energia.

Após analisados todos os impactos ambientais globais, assim como as principais contribuições de cada atividade e aspectos ambientais inerentes ao SGRSU em análise, faz-se pertinente apresentar através da Tabela 26, os principais resultados e comparações relativos ao impacto mudanças climáticas, que teve maior evolução em termos de impactos ambientais, através da projeção do Cenário 6.

Tabela 26: Comparação de Cenários na Categoria de Impacto Ambiental Mudanças Climáticas.

Cenários	Unidade	Total	Geração de Metano	Transporte de RSU	Construção do Aterro	Aterramento e compactação	Água	Energia Elétrica	Geração de Chorume
Cenário 1	Pt	3,64	2,50	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Cenário 2	Pt	3,62	2,47	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Cenário 3	Pt	3,64	2,49	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Cenário 4	Pt	3,65	2,51	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Cenário 5	Pt	3,68	2,53	0,41	0,59	0,14	0,00	0,00	0,00
Cenário 6	Pt	4,81	3,66	0,41	0,59	0,14	0,00	0,01	0,00

Assim, é possível visualizar de maneira ampla e objetiva, que mesmo adotando metas de aproveitamento dos resíduos úmidos, há um aumento significativo na geração de metano advinda do aumento do período de operação do aterro, contribuindo diretamente para a evolução do impacto ambiental mudanças climáticas. Também pode se observar que outras atividades, como transporte de resíduos, construção do aterro, aterramento e compactação e, de maneira bem tímida, o consumo de energia, contribuem para a existência do impacto mudanças climáticas advindos do SGRSU.

Nas Tabelas 27 e 28, são apresentados os dados relativos às categorias de danos como consequência dos impactos ambientais gerados pelas atividades de gerenciamento de resíduos.

Tabela 27 - Categorias de danos como consequência dos impactos ambientais gerados pelas atividades de gerenciamento de resíduos nos Cenários 1, 2 e 3.

Categoria de Danos	C1 - 0% de Reciclagem		C2 - Situação Atual		C3 - 30% de Reciclagem	
	Pt	%	Pt	%	Pt	%
Influencia na Saúde Humana	8,08	36%	8,06	36%	8,08	36%
Qualidade dos Ecossistemas	1,40	6%	1,40	6%	1,40	6%
Uso de Recursos Naturais	12,97	58%	12,97	58%	12,97	58%
Total	22,45	100%	22,42	100%	22,45	100%

Tabela 28 - Categorias de danos como consequência dos impactos ambientais gerados pelas atividades de gerenciamento de resíduos nos Cenários 4, 5 e 6

Categoria de Danos	C4 - 50% de Reciclagem		C5 - 70% de Reciclagem		C6 - 37% Compostagem	
	Pt	%	Pt	%	Pt	%
Influencia na Saúde Humana	8,09	36%	8,12	36%	9,27	39%
Qualidade dos Ecossistemas	1,40	6%	1,40	6%	1,41	6%
Uso de Recursos Naturais	12,98	58%	12,98	58%	13,01	55%
Total	22,47	100%	22,50	100%	23,70	100%

É possível notar que nos cinco primeiros cenários, as contribuições de cada categoria de danos são todas muito similares, tanto em termos de pontuações como em porcentagem. Assim, em média, a categoria de danos uso dos recursos naturais é afetada por 58% (12,98Pt) dos impactos ambientais do SGRSU, enquanto que a influência na saúde humana e a qualidade dos ecossistemas, recebem 36% (8,09Pt) e 6% (1,40) de influência dos impactos ambientais, respectivamente; conforme pode-se visualizar nas Tabelas 27 e 28.

Já o Cenário 6 – único a demonstrar diferença dos demais cenários na categoria de danos – absorve e reflete 55% (13,01Pt) dos impactos ambientais na categoria de uso dos recursos naturais, 39% (9,27Pt) na influência na saúde humana e 6% (1,41) na qualidade dos ecossistemas.

Devido a proximidade dos dados e resultados quantitativos apresentados e o aumento dos impactos ambientais na maioria dos cenários, como consequência do aumento dos índices de reaproveitamento dos resíduos, fez-se pertinente e necessário estabelecer uma relação entre os impactos ambientais gerais/ globais com o tempo de operação de cada cenário.

Através de cada premissa adotada – com base nas metas do plano nacional de resíduos sólidos (PNRS) – houve reflexos nos impactos ambientais e no aumento ou na diminuição do tempo de operação do SGRSU. Então estabelecendo tal relação, foi possível analisar os impactos ambientais no ciclo de vida dentro de uma perspectiva temporal, neste caso por ano. Tais resultados estão expressos nas tabelas 29 e 30.

Tabela 29 - Impactos Ambientais Totais e Anuais nos Cenários 1, 2 e 3.

	0% Reciclag	C1 - 6,8 anos	Situação Atual	C2 - 7,01 anos	30% Reciclag	C3 - 7,57 anos
Categoria de impacto	Pt	Pt/ ano	Pt	Pt/ ano	Pt	Pt/ano
Total	22,45	3,30	22,42	3,20	22,45	2,97
Carcinogênicos	0,10	0,01	0,10	0,01	0,10	0,01
Resp. orgânicos	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
Resp. inorgânicos	4,31	0,63	4,31	0,61	4,31	0,57
Mudanças Climáticas	3,64	0,54	3,62	0,52	3,64	0,48
Radiação	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Camada de Ozônio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	0,22	0,03	0,22	0,03	0,22	0,03
Acidificação/ Eutrofização	0,60	0,09	0,60	0,09	0,60	0,08
Uso do Solo	0,57	0,08	0,57	0,08	0,57	0,08
Recursos Mínerais	0,15	0,02	0,15	0,02	0,15	0,02
Combust. Fósseis	12,82	1,88	12,82	1,83	12,82	1,69

Tabela 30 - Impactos Ambientais Totais e Anuais nos Cenários 4, 5 e 6.

	50% Reciclag	C4 - 8,03 anos	70% Reciclag	C5 - 8,53 anos	37% Compost	C6- 15,45 anos
Categoria de impacto	Pt	Pt/ ano	Pt	Pt/ ano	Pt	Pt/ ano
Total	22,47	2,80	22,50	2,64	23,70	1,53
Carcinogênicos	0,10	0,01	0,10	0,01	0,11	0,01
Resp. orgânicos	0,02	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
Resp. inorgânicos	4,31	0,54	4,31	0,51	4,32	0,28
Mudanças Climáticas	3,65	0,46	3,68	0,43	4,81	0,31
Radiação	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Camada de Ozônio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ecotoxicidade	0,22	0,03	0,22	0,03	0,23	0,01
Acidificação/ Eutrofização	0,60	0,08	0,60	0,07	0,60	0,04
Uso do Solo	0,58	0,07	0,58	0,07	0,58	0,04
Recursos Mínerais	0,15	0,02	0,15	0,02	0,16	0,01
Combust. Fósseis	12,82	1,60	12,83	1,50	12,85	0,83

Após a realização de tal relação, nota-se que as metas de reutilização dos RSU refletem diretamente nos impactos ambientais anuais do SGRSU, e que conforme aumentam os índices de reciclagem e reaproveitamento, melhor se apresentam os indicadores que expressam os impactos ambientais anuais (Pt/Ano).

Na tabela 31, pode-se notar a evolução quantitativa do desempenho ambiental anual através de cada cenário de gerenciamento de resíduos adotado.

Tabela 31: Reaproveitamento dos RSU, Impactos Ambientais Anuais e Melhoria no Desempenho Ambiental, em cada Cenário.

Cenários	Índices Efetivos de Reaproveitamento (%)	Pt/ Ano	Melhoria/ Eficiência
Cenário 1	0,00	3,30	0%
Cenário 2	2,84	3,20	3%
Cenário 3	10,21	2,97	10%
Cenário 4	15,28	2,80	15%
Cenário 5	20,24	2,64	20%
Cenário 6	56,00	1,53	54%

Assim, é possível notar evoluções em todos os cenários que adotaram ações de reaproveitamento de resíduos, onde conforme aumentam as metas, melhor se apresentam os indicadores ambientais, através da diminuição dos impactos ambientais anuais.

8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os levantamentos efetuados e os resultados gerados por ocasião desta iniciativa permitiram concluir que o impacto ambiental que recebe maior influência por conta do SGRSU de Piedade são os combustíveis fósseis, com uma pontuação média entre os seis cenários de 12,83, sendo que o impacto total teve uma média de 23,09. O transporte de resíduos efetuado no Município de Piedade representa em termos de contribuição, em média, 62% para este impacto e 47% para todo o SGRSU.

O presente estudo também permitiu concluir que o impacto respiráveis inorgânicos tem grande influência (19%) do sistema de gestão de resíduos, tendo as principais contribuições advindas, também das atividades de transporte de resíduos, seguidas pela operação de aterramento e compactação e pela etapa de construção do aterro.

Outro impacto importante que contribui, em média, para os seis (6) cenários, com 17% dos impactos do SGRSU são as mudanças climáticas. Quando há reaproveitamento dos resíduos úmidos (encaminhamento para compostagem) há um considerável aumento, contribuindo com 20% para os impactos globais do cenário 6. Assim, pode-se concluir, utilizando como exemplo o cenário 6, que 15% dos impactos globais estão ligados a geração do metano, enquanto que 76% do metano contribuem diretamente para os impactos de mudanças climáticas.

A observação de forma isolada dos resultados e dos cenários, apenas totalizando os impactos ambientais causados, pode dar a impressão de que o atual sistema de coleta seletiva de Piedade não impacta positivamente e de forma expressiva em termos ambientais e que, dessa maneira, não deveria ser ampliado. Isso, porém, está longe de ser realidade quando é adotada a perspectiva temporal para Avaliação dos Impactos no Ciclo de Vida no SGRSU atual e nos diversos cenários adotados, onde é possível visualizar as melhorias do desempenho ambiental através dos impactos anuais.

Além disso, o estudo realizado levou em conta somente o SGRSU de Piedade, de forma que os impactos ambientais positivos da reciclagem não são computados e, desta forma, deixam de impactar positivamente no sistema. Uma ampliação do sistema de produto para cada uma das possibilidades de reciclagem de cada um dos resíduos descartados poderia mostrar e quantificar, ainda mais, os aspectos positivos da reciclagem de resíduos.

Mesmo através das fronteiras do sistema adotadas, é interessante notar como o reaproveitamento dos resíduos secos e úmidos podem diminuir os impactos ambientais

anuais de todo o SGRSU do município; além de gerar outros benefícios como o aumento do tempo de operação do aterro dos atuais 7 anos (Cenário 2) para os 15,45 anos (Cenário 6), fato este que poderia dobrar o tempo de uso do aterro, deixando assim de haver necessidade da construção de um novo empreendimento por mais 8 anos, de realizar maior transporte dos resíduos para dispor em outros locais – deixando assim de impactar nos custos e despesas do município – além de se evitar o aumento potencial dos impactos ambientais advindos dessas atividades, através da construção de um novo aterro e/ou da ampliação do transporte de resíduos. Outros aspectos importantes estariam ligados aos ganhos econômicos e sociais advindos das atividades de coleta seletiva, triagem, reciclagem e reaproveitamento dos resíduos secos recicláveis e úmidos, através principalmente da geração de emprego e renda local.

Dessa forma, se fazem necessários investimentos em ações, projetos, programas e planos que melhorem a eficiência de todo o Sistema de Gerenciamento de Resíduos Sólidos Urbanos (SGRSU), especialmente que possibilitem a ampliação dos sistemas de coleta seletiva e triagem dos resíduos recicláveis e a recuperação e o reaproveitamento dos resíduos orgânicos, além da utilização de combustíveis menos poluentes nas etapas de transporte e aterramento e compactação dos resíduos. Neste sentido, ações regionais consorciadas e/ou compartilhadas se apresentam como boas alternativas para municípios de pequeno e médio porte e para regiões metropolitanas avançarem, principalmente nas etapas de reaproveitamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos.

O Inventário do Ciclo de Vida das Atividades e Aspectos Ambientais, assim como a Avaliação dos Impactos no Ciclo de Vida (AICV) dos atuais Sistemas de Gerenciamento de Resíduos se apresentam como ferramentas viáveis e importantes para o conhecimento da eficiência ambiental da gestão dos resíduos sólidos urbanos, assim como para a projeção e comparação de cenários. Esta técnica proporciona a geração de dados e informações necessárias para tomadas de decisões, que considerem as dimensões ambientais, sociais e econômicas desses sistemas, sobre a premissa do desenvolvimento sustentável.

Todas as informações geradas pelo presente estudo também poderão ser utilizadas de base para modelagem de outros sistemas de gerenciamento de resíduos que tenham características similares e para a realização de projeção de cenários a fim de comparar alternativas para a Gestão Integrada dos Resíduos Sólidos Urbanos.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Aterros de resíduos não perigosos - Critérios para projeto, implantação e operação.** NBR 13.896. Rio de Janeiro, 1993. 12p.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental** – Avaliação do Ciclo de Vida – Requisitos e Orientações, NBR 14.044. Rio de Janeiro, 2009b. 46p.
3. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Gestão Ambiental** – Avaliação do Ciclo de Vida – Princípios e Estrutura, NBR 14.040. Rio de Janeiro, 2009a. 21p.
4. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Resíduos Sólidos: Classificação**, NBR 10.004. Rio de Janeiro, 2004. 71p.
5. ALVES, B. J. R.; BODDEY, R. M.; SOARES, L. H. B.; URQUIAGA, S. **Mitigação das Emissões de Gases Efeito Estufa pelo Uso de Etanol da Cana-de-açúcar Produzido no Brasil.** Seropédica, RJ. Embrapa, 2009.
6. BANAR, M.; COKAYGIL, Z.; OZKAN, A. Life Cycle Assessment of Solid Waste Options for Eskisehir, Turkey. Waste Management. v. 29, p. 54 - 62. 2009.
7. BARROS, Regina Mambelli, **Tratado sobre Resíduos Sólidos – Gestão, Uso e Sustentabilidade.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2013.
8. BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos, **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos.** Belo Horizonte: Tessitura Editora, 2012.
9. BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Diário Oficial da União. Brasília, DF. 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm. Acesso em 28 de agosto de 2011.
10. BRASIL. Lei nº 11 107 de 06 de abril de 2005. **Normas Gerais de Consórcios Públicos**, Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Lei/L11107.htm. Acesso em 28 de agosto de 2011.
11. BRASIL. Lei nº 11 445 de 05 de janeiro de 2007. **Diretrizes Nacionais para o Saneamento Básico.** Diário Oficial da União. Brasília, DF. 2007. Disponível

em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm. Acesso em 28 de agosto de 2011.

12. 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. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12305.htm. Acesso em 28 de agosto de 2011.
13. BRASIL, Estudos para Elaboração do Plano Municipal de Saneamento Básico, Piedade/SP. 2011..Disponível em www.piedade.sp.gov.br. Acesso em 20 de fevereiro de 2012.
14. BRASIL, Estudos para Elaboração do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, Brasília, DF. 2011. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf. Acesso em 23 de junho de 2013.
15. BRASIL, Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores-Proconve. Resoluções CONAMA nº 18 de 1986, nº 403 de 2008 e nº 415 de 2009. Brasília. 2009.
16. BRASIL, Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SNIS) – Diagnostico do Manejo de Resíduos Sólidos (2011). Brasília, DF, 2013. Disponível em <http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=102>. Acesso em 20 de junho de 2013
17. BRASIL, SÃO PAULO. Política Estadual dos Resíduos Sólidos, lei nº 12 300 de 16 de março de 2006. Disponível em: http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/files/2012/09/2006_Lei_12300.pdf. Acesso em: 28 de agosto de 2011.
18. CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. 4ed. São Paulo: Humanitas, 2003.
19. CINQUETTI, Heloísa Chalmers Sisle; LOGAREZZI, Amadeu. (orgs). **Consumo e resíduos**: fundamentos para o trabalho educativo. São Carlos: EdUFSCAR, 2006.
20. COLTRO, L. Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão. Campinas: CETEA/ITAL, 2007.
21. CURRAN, M. A. (coord.). **Environmental Life Cycle Assessment**. New York: McGraw Hill, 1996.

22. CURRAN, M. A. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. EPA/600/R-06/060. National Risk Management Research Laboratory). Cincinnati, Ohio, USA. May. 2006.
23. DIAS, Sylmara Lopes Francelino Gonçalves; SANTOS, Maria Cecília Loschiavo **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais**. São Paulo: IEE-USP, 2012.
24. 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.
25. DOKA, G. **Life Cycle Inventories of Waste Treatment Services**. Ecoinvent Report n° 13. Swiss Centre for life Cycle Inventories. St Gallen, 2009;
26. EKVAL, T.; ASSEFA, G.; BJÖRKLUND, A.; ERIKSSON, O.; FINNVEDEN, G. What life-cycle assessment does not do is assessments of waste management. Waste Management. Vol. 27. 2007. 989-996 p.
27. ESTADO DE SÃO PAULO. Cenários Ambientais 2020. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2009.
28. ESTADO DE SÃO PAULO. Economia Verde: Desenvolvimento, Meio Ambiente e Qualidade de Vida. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Cetesb. São Paulo, 2009. 61.
29. ESTADO DE SÃO PAULO. Inventário Estadual de Resíduos Sólidos Domiciliares. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente, Cetesb. São Paulo, 2013.
30. ESTADO DE SÃO PAULO. Relatório de Qualidade Ambiental 2010. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Estado do Meio Ambiente. São Paulo, 2011.
31. 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.
32. FERRAZ, José Lázaro. **Modelo para avaliação da gestão municipal integrada de resíduos sólidos urbanos**. 2007. 241p. Tese (Doutorado) - Universidade de Campinas, Campinas, 2007.
33. FERREIRA, J. V. R. Gestão Ambiental: Análise de Ciclo de Vida de Produtos. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

34. FERREIRA, João Alberto; ANJOS, Luiz Antônio. **Aspectos de saúde coletiva e ocupacional associados à gestão dos resíduos sólidos municipais**. Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro: 2009. Scielo.
35. FINNVEDEN, G. Life Cycle of Energy from Solid Waste - Part 1: General Methodology and Results. **Journal of Cleaner Production**. Stockholm, v. 13, p.213-299, 2005.
36. 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.
37. 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.
38. GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. The eco-indicator99: A damage oriented method for life cycle impact assessment: Methodology report. 2001.
39. GRIPPI, Sidney. **Lixo: reciclagem e sua história**: guia para as prefeituras brasileiras. 2ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
40. HAMADA, J. *Manejo de Resíduos*. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Estadual Paulista – UNESP. Notas de Aula. 2011.
41. 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.
42. IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. **Censo 2010**. Brasília. 2010
43. IBGE. 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.
44. IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. **Módulo 6 – Lixo. Guia para Inventários Nacionais de Gases de Efeito Estufa**. Volume 2: Livro de Trabalho, 1996
45. IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Pesquisa sobre Pagamento por Serviços Ambientais Urbanos para Gestão de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010.

46. JACOBI, Pedro. (Org). **Gestão Compartilhada dos Resíduos Sólidos no Brasil: inovação com inclusão social.** São Paulo: Annablume, 2006.
47. JACOBI, Pedro. **Cidade e Meio Ambiente: percepções e práticas em São Paulo.** 2ed. São Paulo: Annablume, 2006.
48. LEFF, Enrique. **A complexidade ambiental.** São Paulo: Cortez, 2003.
49. 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.
50. **Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado.** São Paulo: IPT/CEMPRE, 1995
51. 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
52. MANCINI, S.D.; MANTOVANI, V.A.; NOGUEIRA, A.R. **Avaliação de ciclo de vida: uma ferramenta para a gestão adequada de resíduos sólidos urbanos.** In: 27. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitário e Ambiental (ABES). Goiânia, 2013.
53. MANTOVANI, A. M. **Caracterização detalhada dos resíduos sólidos domiciliares de Sorocaba e realização do inventário de ciclo de vida de um sistema de coleta seletiva visando melhorias.** 134 f. Dissertação -(Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”. 2013.
54. MCDOUGALL, F., WHITE, P., FRANKE, M., HINDLE, P., **Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory.** 2 ed. Iowa, Victoria e Berlin, Blackwell Science, 2001.
55. 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.
56. 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.

57. 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.
58. MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Estudo do Potencial de Energia Renovável provenientes dos Aterros Sanitários nas Regiões Metropolitanas e Grandes Cidades Brasileiras**. Brasília, 2004.
59. MMA, 2011 – **Plano Nacional de Resíduos Sólidos** – Versão Preliminar. Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em http://www.mma.gov.br/estruturas/253/publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf. Acesso em 23 jun 2013.
60. MOBERG, A. Life Cycle Assessment of Energy from Solid Waste - Part 2: Landfilling Compared to other Treatment Methods. **Journal of Cleaner Production**, Stockholm, v. 13, p. 231-240, 2005.
61. MOURA, Luiz Antônio Abdalla. **Economia Ambiental: gestão de custos e investimentos**. 3ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2006.
62. MUTHMANN, R., **Waste generated and treated in Europe**. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities - Environment Statistics, 2005.
63. 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.
64. Oonk H., Weenk A., Coops O., Luning L. (1994) Validation of landfill gas formation models; EWAB 9427; NOVEM, Utrecht, The Netherlands.
65. 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
66. 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.
67. PLANO DE BACIA DA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DOS RIOS SOROCABA E MÉDIO TIETÊ (UGRHI 10). Relatório Técnico nº 104.269-205.

68. POLAZ, Carla Natacha Marcolino; TEIXEIRA, Bernardo Arantes do Nascimento. **Indicadores de Sustentabilidade para a gestão municipal de resíduos sólidos urbanos: um estudo para São Carlos (SP)**. São Carlos: 2009. Scielo.
69. REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.; RYDBERG, T.; SCHMIDT W. P.; SUH, S.; WEIDEMA, B. P; PENNINGTON, D.W. Part 1: framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. **Environment International**, 30, pp. 701-720, 2004.
70. SANCHEZ, Luis Enrique, **Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.
71. SEO, E.S.M.; KULAY, L.A.; **Avaliação do Ciclo de Vida: Ferramenta Gerencial para Tomada de Decisão**. São Paulo: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente –v.1, n.1, art 4, 2006.
72. SEO, E.S.M.; KULAY, L.A.; **Orientações Conceituais para Elaboração de Inventário de Ciclo de Vida**. São Paulo: Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente –v.1, n.1, art 5, 2006.
73. SILVA, G. A; KULAY, L. *Análise de Ciclo de Vida*. Programa de Educação Continuada em Engenharia, PECE. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Notas de Aula. 2009.
74. SILVA, G. A; KULAY, L. Environmental Performance Comparison of Wet and Thermal Routes for Phosphate Fertilizer Production Using LCI – A Brazilian Experience. *In: InLCA/LCM – Life Cycle Assessment/Life Cycle Management: a bridge to a sustainable future*. 2003.Seattle.
75. SONNEMAN, G. Environmental damage estimations in industrial process chains –Methodology development with case study on waste incineration and special focus on humanhealth. Tese (doutorado) - Tarragona. 332p. Universitat Rovira i Virgili – Espanha. 2002.
76. UNEP – United Nations Environment Programme. **Life Cycle Management: A Businesss Guide to Sustainability**, 2007.
77. WITTMAYER, M.; LANGER, S.; SAWILLA, B. **Possibilities and limitations of life cycle assessment (LCA) in the development os waste utilization systems – Applied examples for a region in Northern Germany**. Waste Management. Vol. 29. 2009. 1732-1738 p
78. XARÁ, S.; SILVA, M.; ALMEIDA, M. F.; COSTA, C. **A aplicação da análise do ciclo de vida no planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos**

urbanos. In International Chemical Engineering Conference, 8th, - CHEMPOR 2001, Aveiro, Portugal. Set, 2001. Aveiro, Portugal. 1467-1474 p.

10 ANEXOS

ANEXO I – IGR – Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo

Município:	UGRHI:
Dados do respondente	
Nome:	Email:
Telefone:	
Área de atuação:	
Cargo/função:	

As respostas da presente pesquisa se referem ao ano 2011 e são fundamentais para a melhor avaliação da Gestão Municipal de Resíduos Sólidos

INSTRUMENTOS PARA A POLÍTICA DE RESÍDUOS

1. O município possui **legislação** específica para a gestão de resíduos sólidos?

() SIM () NÃO

2 – O município possui **Plano de Gerenciamento** de resíduos sólidos?

() SIM () NÃO

3 – O município possui **Programa Integrado de Gerenciamento** de Resíduos da **Construção Civil**? () SIM () NÃO

4 - Indique o percentual das despesas públicas referentes à Limpeza Pública do município coberto por orçamento específico da área de Limpeza Pública.

() 81 a 100% () 41 a 80% () até 40% () não há orçamento para a Limpeza Pública

5 – O município possui taxa/tarifa de lixo própria ou embutida em outra taxa/imposto/tarifa?

() SIM () NÃO

PROGRAMAS

6 – A prefeitura desenvolveu programas ou realizou ações educativas voltados à prevenção ou redução de **resíduos sólidos domiciliares (RSD)**?

() SIM () NÃO

7 – A prefeitura desenvolveu programas ou realizou ações educativas voltados ao reaproveitamento e destinação final dos **resíduos de construção civil**?

Atenção: Resíduos da construção civil (RCC): os provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos, tais como: tijolos, blocos cerâmicos, concreto em geral, solos, rochas, metais, resinas, colas, tintas, madeiras, compensados, forros e argamassas, gesso, telhas, pavimento asfáltico, vidros, plásticos, tubulações e fiação elétrica, comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha.

() SIM () NÃO

8 – A Prefeitura desenvolveu Programa ou Ações de Coleta Seletiva e/ou Triagem de Resíduos Sólidos Domiciliares?

Atenção: Considerar as ações ou programas realizados pela própria Prefeitura ou em parcerias com organizações não-governamentais, empresas privadas e outras instituições.

() SIM () NÃO

9- Indique se a prefeitura desenvolveu as ações específicas abaixo:

() Formação ou capacitação de agentes ou catadores

() Convênio com associações/cooperativas de catadores

() Outras ações. Especifique: -

10 – Há por parte da prefeitura iniciativas de assessoria voltadas à obtenção de crédito para financiamento de projetos de coleta seletiva e triagem de resíduos sólidos domésticos?

() SIM () NÃO

11 – Há por parte da prefeitura iniciativas voltadas ao incentivo do mercado de reciclados?

() SIM () NÃO

12 – A prefeitura possui cadastro de grandes geradores?

() SIM () NÃO

13 – A prefeitura possui cadastro de catadores e/ou cooperativas?

() SIM () NÃO

14 – Os programas ou ações de coleta seletiva e/ou triagem de lixo domiciliar foram desenvolvidos por meio de parcerias?

() Sim, em parcerias com órgãos públicos federais

() Sim, em parcerias com órgãos públicos estaduais

() Sim, em parcerias com associações, institutos ou outras organizações não-governamentais

() Sim, em parcerias com a iniciativa privada

) Sim, por iniciativa da própria Prefeitura

) Em parcerias com outras instituições. Especifique:

) NÃO

COLETA E TRIAGEM

15 - Qual o percentual da área urbana ocupada do Município atendida pelo serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares?

)%

16 - Qual o percentual da área urbana ocupada do Município atendida pelo serviço de **coleta seletiva** de resíduos sólidos domiciliares.

)%

17 – Indique os tipos de materiais obtidos dos resíduos sólidos domiciliares que são objeto dos programas ou ações de coleta seletiva e/ou triagem da Prefeitura.

) Papel ou papelão

) Alumínio

) Outros metais ferrosos e não ferrosos

) Plástico

) Vidro

) Baterias / pilhas

) Equipamentos eletrônicos

) Óleo de cozinha

) Outros materiais. Especifique:

18 – Há sistema de coleta de Resíduos da Construção Civil implantado no município?

) SIM) NÃO

19 - Indique a forma de coleta dos resíduos de serviços de saúde no Município.

Atenção: Resíduos de serviços de saúde (RSS): os provenientes de qualquer unidade que execute atividades de natureza médico-assistencial humana ou animal; os provenientes de centros de pesquisa, desenvolvimento ou experimentação na área de farmacologia e saúde; medicamentos e imunoterápicos vencidos ou deteriorados; os provenientes de necrotérios, funerárias e serviços de medicina legal; e os provenientes de barreiras sanitárias.

) Coleta diferenciada, em separado do RSD (indique a porcentagem _____ %)

) Coleta em conjunto com RSD (indique a porcentagem _____ %)

20 – Indique o percentual de domicílios do Município atendidos pelo Programa de Coleta Seletiva.

()%

TRATAMENTO E DISPOSIÇÃO

21 – Há no município galpão de triagem de materiais recicláveis em convênio e/ou com a participação da prefeitura?

() SIM () NÃO

22 – A prefeitura aproveita os resíduos de poda e capina para:

() Forração para viveiros de mudas

() Compostagem

() Doação ou venda

() Outros

() Não há aproveitamento

23 - Indique a(s) **forma(s) de tratamento** dos RSS gerados no Município.

() Incineradores com licença de operação vigente

() Microondas com licença de operação vigente

() Autoclave com licença de operação vigente

() Hidroclave com licença de operação vigente

() Outra forma. Especifique:

24 - Indique o **local** de tratamento dos RSS gerados no Município.

() No próprio município.

() Em outro município. Especifique:

25 - Indique a(s) **forma(s) de destinação final** dos RSS gerados no Município.

() Aterro sanitário após tratamento (conforme legislação vigente)

() Outra forma. Especifique:

26 – Indique o **destino** do RCC no município.

() Reaproveitamento e/ou beneficiamento (indique a porcentagem _____%)

() Aterro de resíduos da construção civil (indique a porcentagem _____%)

() Não há controle sobre o destino do RCC

27 – Indique se há controle sobre o destino dos pneus inutilizáveis no Município (conforme legislação vigente).

SIM NÃO

28 – Quais as formas de reaproveitamento/tratamento dos pneus inutilizáveis no município?

Queima em forno de cimento (co-processamento)

Reuso

Mistura na composição de massa asfáltica

Outro. Especifique:

Não há reaproveitamento/tratamento dos pneus inutilizáveis no município.

29- Indique se no município há:

Recuperação energética de resíduos sólidos domiciliares

Aproveitamento de metano de aterro sanitário

ANEXO II – Índice da Qualidade do Aterro de Resíduos (IQR)

11 APÊNDICE

Cálculo da Geração de Chorume do Aterro Sanitário do Município de Piedade.SP e seu Fator de Uso da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE).

Parâmetro (mm)	Meses												Anual
	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	
EP	121	110	110	82	61	50	48	64	76	93	103	115	1.033
P	256	202	190	108	57	31	12	19	66	117	138	232	1.426
C'	0,18	0,18	0,18	0,15	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,15	0,18	0,18	
ES	46	36	34	16	7	4	1	2	8	18	25	42	
I	210	166	155	92	50	27	10	16	58	99	113	190	1.187
I-EP	89	56	45	10	(11)	(23)	(38)	(48)	(18)	6	10	75	154
Σ neg(I-EP)	-	-	-	-	(11)	(34)	(72)	(119)	(137)	-	-	-	-
AS	50	50	50	50	46	40	31	22	20	50	50	50	
Δ AS	-	-	-	-	(4)	(7)	(9)	(8)	(3)	30	-	-	-
ER	121	110	110	82	53	34	19	25	61	93	103	115	926
PER	89	56	45	10	-	-	-	-	-	-	10	75	285

Resultado do balanço hídrico

Considerando o balanço hídrico e a metodologia proposta pelo Professor Jorge Hamada (FEB – UNESP), se são gerados 285 mm por ano de chorume, deve-se multiplicar pela área do aterro (20.000 m²), onde se tem o seguinte resultado: **0,285 m x 20.000 m² = 5.700m³.**

Então para os Cenários:

1- 42,2 ton/ dia = 6,8 anos

Tem- se 5.700m³ x 6,8 / 104.755 t = **0,3700 m³/ ton.**

2- 41 ton/ dia = 7 anos

Tem- se 5.700m³ x 7 / 104.755 t = **0,3809 m³/ ton.**

3- 37,89 ton/ dia = 7,57 anos

Tem- se 5.700m³ x 7,57 / 104.755 t = **0,4119 m³/ ton.**

4- 35,7 ton/ dia = 8,03 anos

Tem- se 5.700m³ x 8,03 / 104.755 t = **0,4369 m³/ ton.**

5- 33,66 ton/ dia = 8,53 anos

Tem- se 5.700m³ x 8,53 / 104.755 t = **0,4641 m³/ ton.**