



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO TÉCNICA DE APOIO À DECISÃO NO  
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE  
GARIBALDI/RS**

**CRISTINA MERSONI**

**Caxias do Sul**

**2015**



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIAS  
AMBIENTAIS**

**CRISTINA MERSONI**

**AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO TÉCNICA DE APOIO À DECISÃO NO  
GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE  
GARIBALDI/RS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial para a obtenção de grau de Mestre em Engenharia e Ciências Ambientais, orientado pelo Professor Dr. Geraldo Antônio Reichert.

**Caxias do Sul**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Universidade de Caxias do Sul  
UCS - BICE - Processamento Técnico

M574a Mersoni, Cristina, 1984-

Avaliação do ciclo de vida como técnica de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi/RS / Cristina Mersoni. -2015.

150 f. : il. ; 30 cm

Apresenta bibliografia.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Caxias do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, 2015.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Antônio Reichert.

1. Resíduos sólidos. 2. Limpeza urbana - Garibaldi(RS). I. Título.

CDU 2.ed.: 628.4

Índice para o catálogo sistemático:

1. Resíduos sólidos	628.4
2. Limpeza urbana - Garibaldi(RS)	628.46(816.5GARIBALDI)

Catalogação na fonte elaborada pela bibliotecária  
Carolina Machado Quadros – CRB 10/2236.

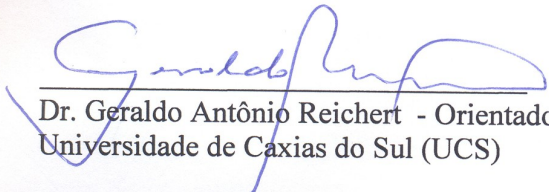
“AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COMO TÉCNICA DE APOIO À  
DECISÃO NO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS  
URBANOS NO MUNICÍPIO DE GARIBALDI /RS.”

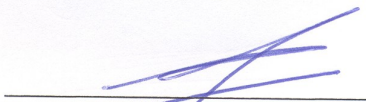
**CRISTINA MERSONI**

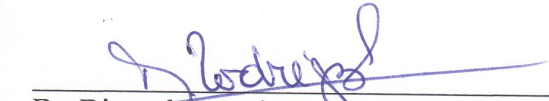
Dissertação de Mestrado submetida à Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestra em Engenharia e Ciências Ambientais, Área de Concentração: Gestão e Tecnologia Ambiental.


Caxias do Sul, 03 de julho de 2015.

Banca Examinadora:

  
Dr. Geraldo Antônio Reichert - Orientador  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

  
Dra. Cláudia Echevengúá Teixeira  
Universidade Nove de Julho (UNINOVE)

  
Dr. Diosnel Antonio Rodriguez López  
Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC)

  
Dra. Vania Elisabete Schneider  
Universidade de Caxias do Sul (UCS)

*Dedico este trabalho aos meus pais, Roque e Otilia,  
e a minha irmã Carina.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pela fé que sempre me guiou pelos caminhos da vida, da verdade e da busca pelo conhecimento.

Aos meus pais, Roque e Otilia, por todo amor, apoio, paciência e compreensão em todos os momentos da minha vida. Pelos exemplos de fé, força, vida e coragem, que me fazem persistir e acreditar na realização dos meus sonhos.

À minha irmã Carina, pelo amor, apoio, ajuda e companhia de sempre. Pelos momentos de conversas, desabafos e de lazer, me ensinando que é preciso também saber viver.

Ao Marcelo, pela atenção e disposição em todas as vezes que solicitei a sua ajuda.

Às minhas amigas, companheiras desde a infância, pelos momentos de alegrias, de amizade e energia sempre positiva neste período de trabalho intenso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da UCS, pelo conhecimento proporcionado, pelos caminhos apontados, pelas ideias que surgiram nesta caminhada.

Em especial, ao professor Dr. Geraldo Antônio Reichert, pela orientação, atenção, incentivo, acompanhamento constante e dedicação do seu tempo mostrando-me o caminho para alcançar este importante passo em minha vida profissional.

Aos colegas e amigos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Garibaldi, pelo companheirismo e aprendizado diário.

À Administração Pública Municipal de Garibaldi, por possibilitar que eu pudesse conciliar o trabalho profissional com a vida acadêmica, enriquecendo ainda mais a pesquisa por aproximá-la da prática.

*A mente que se abre para uma nova ideia  
jamais voltará ao seu tamanho original.*  
Albert Einstein

## RESUMO

A partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em 2010, os municípios brasileiros foram obrigados a repensar os serviços de limpeza urbana e manejo de resíduos. Esta responsabilização e a complexidade das ações impostas pela lei levaram à busca por alternativas para o correto tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Uma das principais dificuldades dos gestores e usuários é decidir entre as diferentes opções tecnológicas existentes. Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como uma técnica eficiente para avaliar os sistemas de gerenciamento RSU, servindo como apoio à tomada de decisão do melhor modelo a ser adotado. O presente estudo teve por objetivo analisar cenários para o gerenciamento de RSU por meio da técnica de ACV, considerando os aspectos ambiental e econômico, de modo a obter resultados que sirvam de apoio para a tomada de decisão quanto ao modelo a ser adotado no sistema de gerenciamento de resíduos do município de Garibaldi (RS). Para tanto, foram simulados cenários integrando processos tecnológicos para os quais foi elaborado o Inventário do Ciclo de Vida utilizando o programa computacional IWM-2. Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foram utilizados indicadores e categorias de impacto ambiental. No aspecto econômico, foram utilizados dados da situação atual do município e informações de referências técnicas, para calcular os custos. O estudo possibilitou identificar o potencial de impacto ambiental em cada cenário avaliado e em cada etapa do ciclo de vida dos resíduos. Os cenários com tecnologias associadas apresentaram o melhor desempenho ambiental. A reciclagem apresentou-se como a prática predominante para reduzir os impactos ambientais e, as etapas de separação e coleta seletiva, fundamentais para a eficiência dos processos. A análise de custos revelou a necessidade de investimentos para a implementação de qualquer modelo que inclua sistemas de tratamento de resíduos, porém, tais investimentos refletem em ganho ambiental. Conclui-se que, a ACV facilita a comparação de diferentes rotas tecnológicas, possibilitando aos gestores e usuários decidir as tecnologias com as menores cargas ambientais para o serviço público de gerenciamento de RSU. Por fim, o estudo propicia que outras pesquisas sejam realizadas no intuito de encontrar soluções para realidades semelhantes em outros municípios.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Resíduos Sólidos Urbanos. Indicadores ambientais.



## ABSTRACT

From the National Solid Waste Policy, enacted in 2010, Brazilian cities have been forced to rethink the urban cleaning and waste management. This accountability and the complexity of actions imposed by law led to the search for alternatives to the correct treatment and final disposal of municipal solid waste (MSW). One of the main difficulties of managers and users is deciding between the different technological options. In this context, the Life Cycle Assessment (LCA) is presented as an efficient technique to evaluate the MSW management systems, serving as support for decision making of the best model to be adopted. This study aimed to analyze scenarios for the MSW management through the LCA technique, considering the environmental and economic aspects, in order to obtain results that serve as support for decision making on the model to be adopted in the waste management system of Garibaldi, RS. For that, we simulated scenarios integrating technical process for which the Life Cycle Inventory was developed using the IWM-2 software. For the Life Cycle Impact Assessment (LCIA), indicators and categories of environmental impact were used. In the economic aspect, data from the current situation of the municipality management and technical reference information were used to calculate the costs. The study identified the potential environmental impact at every stage and assessed at every stage of the waste lifecycle. The scenarios with associated technologies presented the best environmental performance. Recycling was presented as the predominant practice to reduce environmental impacts. Steps of separation and selective collection are fundamental to the efficiency of the treatment processes. The cost analysis revealed the need for investment for the implementation of any model that includes waste treatment systems, however, these investments ever reflect environmental gain. In conclusion, LCA facilitates comparison of different technological routes, enabling managers and users to decide which are the technologies with lower environmental burdens for the public service of MSW management. Finally, the study provides that further research can be conducted in order to find solutions to similar situations in other municipalities.

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Municipal Solid Waste. Environmental indicators.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma das etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.....	29
Figura 2 - Estrutura metodológica da avaliação do ciclo de vida .....	41
Figura 3 - Elementos da etapa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	42
Figura 4 - Ciclo de Vida de um Produto.....	45
Figura 5 - Ciclo de Vida dos resíduos sólidos.....	45
Figura 6 - Fronteiras do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos.....	46
Figuras 7 e 8 - Composição gravimétrica dos resíduos sólidos da coleta de resíduos mistos e do rejeito.....	57
Figura 9 - Composição gravimétrica média dos RSU coletados no município de Garibaldi ..	58
Figura 10 - Panorama geral da composição gravimétrica dos RSU.....	59
Figura 11 - Fluxo de massa do cenário CEN 1BASE do município de Garibaldi.....	60
Figura 12 - Fluxo de massa do cenário CEN 2TOT.....	62
Figura 13 - Fluxo de massa do cenário CEN 3CTRAS.....	63
Figura 14 - Fluxo de massa do cenário CEN 4TRCAS.....	64
Figura 15 - Fluxo de massa do cenário CEN 5TRDAS.....	65
Figura 16 - Fluxo de massa do cenário CEN 6TRIAS.....	66
Figura 17 - Tela de entrada do programa IWM-2.....	66
Figura 18 - Limites do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos .....	76
Figura 19 - Resultados da categoria de impacto ambiental mudanças climáticas por etapa....	78
Figura 20 - Resultados da categoria formação de foto-oxidantes por etapa.....	79
Figura 21 - Resultados da categoria acidificação por etapa.....	80
Figura 22 - Resultado das categorias de impacto normalizado por cenário.....	80
Figura 23 - Composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta convencional.....	86
Figura 24 - Registro dos componentes encontrados nos resíduos da coleta convencional .....	87
Figura 25 - Resíduos de poda encontrados na coleta convencional.....	87
Figura 26 - Composição gravimétrica do rejeito da etapa de triagem dos resíduos seletivos..	88
Figura 27 - Composição dos resíduos da coleta seletiva do município de Garibaldi .....	89
Figura 28 - Dados da composição gravimétrica dos resíduos enviados para aterro sanitário..	89
Figura 29 - Composição gravimétrica dos RSU coletados no município de Garibaldi.....	90
Figura 30 - Resultado normalizado das categorias de impacto ambiental dos cenários.....	102
Figura 31 - Resultados do indicador Uso de Energia .....	107
Figura 32 - Resultados dos indicadores DRecAS e DOrgAS .....	107
Figura 33 - Resultado comparativo da destinação final de massa de resíduos nos cenários..	108

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição das características físicas e químicas dos resíduos.....	25
Tabela 2 - Categorias de impacto, problemas ambientais, indicadores e resultados de ICV ...	43
Tabela 3 - Indicadores do diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos no Brasil .....	48
Tabela 4 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV .....	53
Tabela 5 - Curvas de custos para unidades de tratamento e disposição final de resíduos.....	55
Tabela 6 – Resíduos sólidos seletivos comercializados pela cooperativa .....	58
Tabela 7 - Identificação dos cenários propostos.....	61
Tabela 8 - Composição dos RSU para a entrada no programa IWM-2 para os cenários .....	68
Tabela 9 - Composição detalhada de metal e de plástico .....	68
Tabela 10 - Dados da composição dos resíduos seletivos nos cenários no programa IWM-2.	69
Tabela 11 - Dados do sistema de coleta de resíduos seletivos para o programa IWM-2 .....	69
Tabela 12 - Custos do gerenciamento de resíduos sólidos em Garibaldi no ano de 2013.....	72
Tabela 13 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para AICV .....	77
Tabela 14 - Identificação dos resíduos seletivos comercializados pela cooperativa.....	88
Tabela 15 - Massa de resíduos (t/ano) nos cenários propostos.....	99
Tabela 16 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV .....	101
Tabela 17 - Emissões na categoria Mudanças Climáticas por etapa .....	103
Tabela 18 - Emissões na categoria Formação de Foto-oxidantes por etapa.....	104
Tabela 19 - Emissões na categoria Acidificação por etapa .....	105
Tabela 20 - Emissões na categoria Eutrofização por etapa .....	105
Tabela 21 - Emissões na categoria Toxicidade Humana por etapa .....	106
Tabela 22 – Quantidade de resíduos gerenciados por etapa (t/ano) .....	112
Tabela 23 - Custos dos Cenários avaliados por etapa (R\$/ano) .....	113
Tabela 24 - Custos dos Cenários avaliados por etapa em reais por tonelada (R\$/t).....	113
Tabela 25 – Resultado comparativo dos custos totais dos cenários avaliados .....	115

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Acid	Acidificação (categoria de impacto)
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
C/N	Relação carbono e nitrogênio
CEN 1BASE	Cenário base
CEN 2TOT	Cenário com triagem otimizada
CEN 3CTRAS	Cenário com coleta e triagem otimizados
CEN 4TRCAS	Cenário com compostagem
CEN 5TRDAS	Cenário com digestão anaeróbia e compostagem
CEN 6TRIAS	Cenário com compostagem e incineração
Eutr	Eutrofização (categoria de impacto)
DOrgAS	Disposição de recicláveis orgânicos em aterro sanitário
DRecAS	Disposição de recicláveis secos em aterro sanitário
FoFO	Formação de Foto-Oxidantes (categoria de impacto)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICV	Inventário do Ciclo de Vida
IWM-2	<i>Integrated Waste Management</i> (Programa computacional)
MdCl	Mudanças climáticas (categoria de impacto)
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Polietileno tereftalato
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
RS	Rio Grande do Sul
RSU	Resíduo Sólido Urbano
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
ToHu	Toxicidade Humana (categoria de impacto)

## LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	Porcentagem
dom.	Número de domicílios
EP	Equivalente Populacional
g	grama
GJ	gigajoule
GJ eq./ano	gigajoule equivalente ano
GJ/t	gigajoule por tonelada
hab.	habitantes
kg	quilograma
kg/dom./ano	quilograma por domicílio por ano
kg/hab./dia	quilograma por habitante por dia
kg/hab./ano	quilograma por habitante por ano
kg/m <sup>3</sup>	quilograma por metro cúbico
kcal/kg	quilocaloria por quilograma
km	quilômetro
kWh	quilowatt hora
kWh/t	quilowatt hora por tonelada
L	litro
L/ano	litro por ano
L/t	litro por tonelada
m <sup>3</sup>	metro cúbico
pes./dom	pessoa por domicílio
pH	potencial hidrogeniônico
R\$	reais
R\$/hab./ano	reais por habitante por ano
R\$/t	reais por tonelada
t	tonelada
t/a	tonelada por ano
t/d	tonelada por dia
t/mês	tonelada por mês
t CO <sub>2</sub> eq./ano	tonelada de dióxido de carbono equivalente por ano
kg CO <sub>2</sub> eq./ano	quilograma de dióxido de carbono equivalente por ano

kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./ano	quilograma de etileno equivalente por ano
t SO <sub>2</sub> eq./ano	tonelada de dióxido de enxofre equivalente por ano
t PO <sub>4</sub> eq./ano	tonelada de fosfato equivalente por ano
t C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> eq./ano	tonelada de diclorobenzeno equivalente por ano

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Definição do problema .....	16
1.2 Justificativa e relevância da pesquisa .....	18
1.3 Estrutura da dissertação .....	19
<b>2 OBJETIVOS DA PESQUISA.....</b>	<b>21</b>
2.1 Objetivo geral .....	21
2.2 Objetivos específicos.....	21
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>22</b>
3.1 Definição de resíduos sólidos .....	22
3.2 Classificação dos resíduos sólidos.....	23
3.2.1 Classificação segundo a periculosidade .....	23
3.2.2 Classificação segundo a origem .....	24
3.2.3 Características e classificação dos resíduos.....	25
3.3 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.....	27
3.3.1 Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos.....	29
3.3.2 Coleta e transporte .....	29
3.3.3 Triagem.....	31
3.3.4 Sistemas de tratamento .....	32
3.3.5 Tratamento biológico: compostagem e digestão anaeróbia.....	32
3.3.6 Tratamento térmico: incineração .....	35
3.3.7 Reciclagem .....	36
3.3.8 Aterro sanitário .....	37
3.4 Avaliação do Ciclo de Vida.....	38
3.4.1 Estrutura metodológica da ACV.....	41
3.4.2 Definição de objetivo e escopo.....	41
3.4.3 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV).....	42
3.4.4 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) .....	42
3.4.5 Inventário do Ciclo de Vida no gerenciamento de resíduos sólidos.....	44
3.5 Modelo IWM-2 para o ICV .....	46
3.6 Aspectos econômicos .....	47

<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>50</b>
4.1 Natureza e tipo de pesquisa .....	50
4.2 Etapas da pesquisa .....	50
4.2.1 Etapa 1 – Levantamento de dados .....	50
4.2.2 Etapa 2 - Sistematização de cenários.....	52
4.2.3 Etapa 3 – Inventário do Ciclo de Vida e aplicação do Modelo IWM-2 .....	52
4.2.4 Etapa 4 – AICV e análise final dos cenários .....	53
4.2.5 Etapa 5 – Análise de custos .....	54
<b>5 LEVANTAMENTO DE DADOS E ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS .....</b>	<b>56</b>
5.1 Caracterização da área de estudo.....	56
5.1.1 Composição gravimétrica dos RSU coletados.....	57
5.1.2 Fluxo de massa do cenário CEN 1BASE .....	59
5.2 Cenários propostos .....	60
5.2.1 Fluxo de massa do cenário CEN 2TOT .....	61
5.2.2 Fluxo de massa do cenário CEN 3CTRAS.....	62
5.2.3 Fluxo de massa do cenário CEN 4TRCAS.....	63
5.2.4 Fluxo de massa do cenário CEN 5TRDAS .....	64
5.2.5 Fluxo de massa do cenário CEN 6TRIAS .....	65
5.3 ICV: Modelo IWM-2.....	66
5.3.1 Informações sobre geração e composição dos resíduos .....	67
5.3.2 Dados do sistema de coleta.....	68
5.3.3 Dados da triagem e separação dos resíduos.....	69
5.3.4 Dados do tratamento biológico.....	70
5.3.5 Dados do tratamento térmico.....	70
5.3.6 Dados de transbordo e aterro sanitário .....	70
5.3.7 Dados da reciclagem.....	71
5.5 Dados para análise de custos .....	71
<b>6 RESULTADOS/ARTIGOS.....</b>	<b>73</b>
6.1 Artigo 1 .....	74
6.2 Artigo 2.....	84
6.3 Artigo 3.....	93
6.4 Resultados complementares e análise de custos.....	112



6.4.1 Apoio à tomada de decisão.....	117
<b>7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>121</b>
<b>APÊNDICE A – RELATÓRIOS DE EMISSÕES GASOSAS E LÍQUIDAS DO ICV .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE B - METODOLOGIA DE CÁLCULOS .....</b>	<b>137</b>
<b>APÊNDICE C – ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS.....</b>	<b>141</b>
<b>ANEXO A – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO E NORMALIZAÇÃO APLICADOS AOS INDICADORES AMBIENTAIS.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO B - FATORES DE NORMALIZAÇÃO, REFERÊNCIA ANUAL <i>PER CAPITA</i></b>	<b>148</b>
<b>ANEXO C – ATESTADOS DE APROVAÇÃO E SUBMISSÃO DOS ARTIGOS .....</b>	<b>149</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Definição do problema

Das alterações que as atividades humanas podem causar no meio ambiente, a geração de resíduos sólidos urbanos apresenta-se atualmente como um dos motivos de preocupação da sociedade e dos gestores. Quando mal gerenciados, os resíduos podem se tornar um agente prejudicial ao meio ambiente. Surgem não somente em um problema ambiental como também social e de saúde pública, apontando para uma necessidade de relação intersetorial, bem como de integração com as políticas ambientais, econômica, de desenvolvimento urbano, saneamento, habitação, entre outras.

A Lei Federal 11.445 (BRASIL, 2007), que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, trouxe uma nova fase para a prestação desses serviços no Brasil ao estabelecer o planejamento como um elemento fundamental na gestão e na política de saneamento. Destacou a responsabilidade dos titulares dos serviços públicos e reconheceu o manejo de resíduos sólidos como um dos pilares essenciais para saneamento básico. Firmou ainda que, as condições de eficiência e sustentabilidade econômico-financeira deverão ser consideradas na prestação dos serviços públicos de saneamento.

A partir da Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010a), que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, os municípios brasileiros foram obrigados a repensar, dentro dos serviços compreendidos como de saneamento básico, a limpeza urbana e o manejo de resíduos. Dos objetivos estabelecidos pela lei estão: a não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizada em 2008 (IBGE, 2010), 27,7 % dos municípios brasileiros destinaram os resíduos para aterros sanitários e, 50,8 % adotaram soluções inadequadas (a céu aberto ou em lixões). Dos 5.565 municípios do país, somente 994 têm coleta seletiva, e desses, 536 contam com a participação de cooperativas para triagem.

Conforme dados na proposta do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), estima-se que no País foram coletados no ano 2000, 149.094,3 t/d de resíduos sólidos domiciliares e públicos. Em 2008, a quantidade coletada foi de 183.481,5 t/d, o que representa um aumento de 35% em relação ao ano de 2000.

O diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos, realizado por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), avaliou que a coleta de resíduos domici-

liares e públicos nos municípios brasileiros em 2013 deva ter alcançado o montante de 61,1 milhões de toneladas, o que equivale a um valor de 167.500,0 toneladas por dia (BRASIL, 2015).

Ainda, de acordo com o SNIS, os aterros sanitários permanecem como a tecnologia dominante para a disposição de RSU, seguido por unidades de triagem (galpão ou usinas de triagem) e compostagem. Da massa total coletada em 2013, 50% foi disposta em aterro sanitário, 17% em aterros controlados, 11% em lixões e somente 2% seguiram para unidades de triagem e de compostagem, restando uma parcela de 20% sem informação (BRASIL, 2015).

Embora os números das pesquisas divulgadas sejam em sua maioria estimados, devido principalmente às dificuldades em se obter dados precisos dos serviços de limpeza pública, acredita-se que estejam bastante próximos da realidade, além de serem necessários para o avanço do conhecimento nesta área.

Os municípios ao se depararem com o considerável volume de resíduos gerados e a necessidade imediata de soluções práticas, somado à cobrança da população em remover rapidamente o que gerou, adotam medidas sem analisar critérios técnicos, tomando por base principal a questão financeira econômica.

Entretanto, a dimensão econômica também é um fator que deve ser avaliado, uma vez que, nem sempre os municípios dispõem de recursos financeiros suficientes para a implantação e operação de processos para o tratamento dos resíduos (DMITRIJEVAS, 2010).

A proposta para o Plano Nacional de Resíduos Sólidos coloca como meta reduzir a disposição de resíduos recicláveis em aterro (BRASIL, 2012a), desafiando desta forma os gestores a analisar o próprio sistema de gestão e a identificar os custos de manejo dos resíduos. Além disso, o diagnóstico do Plano Nacional identificou que as maiores deficiências na gestão de resíduos sólidos encontram-se em municípios de pequeno porte (até 100 mil habitantes).

Mucelin e Bellini (2008) destacam que a população brasileira integra a tendência mundial de ocupação territorial, urbanizando o ambiente. Nesta ocupação, a cultura e os hábitos do morador urbano estão relacionados à intensa geração de resíduos, cuja disposição inadequada pode provocar impactos ambientais negativos.

Da mesma forma, Santos e Gonçalves-Dias (2012) discorrem que como todas as populações, os brasileiros integram as estatísticas sempre crescentes da geração de resíduos sólidos, sinalizando a dimensão do dilema para sua gestão. Costa (2010) argumenta que, na gestão, deve-se favorecer a reciclagem, o tratamento e a valorização dos materiais como alternativa à utilização de aterros.

Face a este cenário, vários estudos vêm sendo realizados no sentido de buscar soluções para o tratamento dos resíduos sólidos urbanos com vistas ao reaproveitamento, como pode ser observado por Dmitrijevas (2010), Pavan (2010), Lima (2012), Jucá (2014) e Reichert (2013).

Nesse sentido, a presente pesquisa visa contribuir com melhorias no sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, por meio da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida, mediante a análise de alternativas que atendam a atual geração de resíduos, reduzam o impacto ambiental e o consumo de recursos naturais, tendo como objeto de estudo o município de Garibaldi (RS).

## **1.2 Justificativa e relevância da pesquisa**

Considerando a gestão dos resíduos sólidos, esta pesquisa apresenta relevância científica, histórica, social, econômica e, sobretudo, ambiental.

Cientificamente pode contribuir com informações que revelem o potencial dos resíduos sólidos urbanos, os aspectos ambientais e econômicos, frente às diferentes tecnologias de tratamento. Com o uso da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), pode-se avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto ou serviço, desde a extração da matéria prima até a disposição final.

No âmbito municipal, conhecer todas as etapas compreendidas no gerenciamento dos resíduos sólidos, identificando as carências do sistema, é fundamental para dar suporte ao planejamento futuro, indicando as ações que possibilitem a sustentabilidade e o equilíbrio ambiental econômico e social.

O Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Garibaldi (GARIBALDI, 2012) apontou como meta a implementação de uma central de triagem e compostagem, como uma das alternativas de tratamento para diminuir a quantidade de resíduos disposta em aterro. Desta forma, qualquer alternativa proposta requer estudos que verifiquem a viabilidade ambiental e econômica do processo em comparação a outras tecnologias disponíveis.

Historicamente, o Brasil vive um momento em que há uma maior responsabilização dos municípios pelas obrigações na gestão dos resíduos sólidos urbanos, conforme previsto na Política Nacional de Resíduos Sólidos. Metas como a eliminação total dos lixões, a redução de material reciclável disposto em aterro, e, objetivos como a recuperação e o aproveitamento energético, forçam os gestores a direcionar uma maior atenção a esta questão.

Dos 5.565 municípios brasileiros, 4.957 têm população com menos de 50 mil habi-

tantes (IBGE, 2011). Os classificados como de porte pequeno (com até 30.000 habitantes) são os que mais fortemente se deparam com a problemática dos resíduos, com a falta de recursos técnicos, financeiros e com a carência de profissionais com conhecimento específico da área (ARCILA, 2008).

Desta forma, a busca por soluções economicamente viáveis e ambientalmente corretas é necessária para avançar na forma de tratamento dos resíduos e alcançar as metas propostas pela Política Nacional de Resíduos Sólidos, principalmente em municípios com populações menores.

Socialmente, a gestão dos resíduos é essencial para manter a organização em sociedade e em harmonia com o meio ambiente. Para tanto, é preciso identificar os agentes envolvidos e as características dos resíduos gerados para, a partir disso, buscar o despertar da responsabilidade socioambiental de cada indivíduo.

Ambientalmente, a busca constante por medidas e estratégias que visem otimizar os processos de gestão de forma a encontrar um maior reaproveitamento de material é fundamental para evitar a disposição inadequada de resíduos no meio ambiente.

Assim, pesquisas para otimizar o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos podem ser consideradas como uma ferramenta que permite o desenvolvimento da sociedade com equilíbrio econômico, social e ambiental.

### **1.3 Estrutura da dissertação**

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, sendo este o introdutório que apresentou o problema, justificativa e relevância da pesquisa. No segundo capítulo, são apresentados os objetivos geral e específicos.

No terceiro capítulo, encontra-se o referencial teórico que fundamenta o estudo, esclarece conceitos e definições, citando trabalhos realizados que contribuem com informações técnicas e científicas ao problema proposto.

No quarto capítulo é descrita a metodologia adotada, a natureza da pesquisa, as etapas como foi desenvolvida, considerações aos métodos adotados, e as ferramentas e técnicas utilizadas para alcançar os objetivos. Na sequência, capítulo quinto, é apresentado o levantamento de dados e as informações que subsidiaram o desenvolvimento da pesquisa.

No sexto capítulo são apresentados os resultados na forma de artigos, em conformidade com o regulamento do Programa de Pós-Graduação. Além dos artigos, neste capítulo são apresentados os resultados complementares e a análise de custos, de forma a alcançar os obje-

tivos propostos.

No último capítulo, sétimo, são expostas as conclusões e as considerações finais, elaboradas com base nos resultados obtidos, bem como as contribuições, recomendações e perspectivas para pesquisas futuras.

## **2 OBJETIVOS DA PESQUISA**

### **2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral desta pesquisa é analisar cenários por meio da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida, considerando os desempenhos ambiental e econômico, para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos do município de Garibaldi (RS).

### **2.2 Objetivos específicos**

Como objetivos específicos, a presente pesquisa busca:

- Caracterizar os resíduos sólidos coletados no município para subsidiar estudos de reaproveitamento do material;
- Disponibilizar informações para a base de dados do sistema público de gerenciamento de resíduos sólidos do município;
- Estruturar, simular e avaliar cenários para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos verificando os impactos ambientais nas etapas de coleta, tratamento e disposição final;
- Comparar o desempenho ambiental dos cenários por meio da Avaliação do Ciclo de Vida, de modo a obter resultados que sirvam de apoio à tomada de decisão;
- Analisar, sob o aspecto econômico, os custos dos cenários propostos;
- Identificar os cenários que melhor atenderiam a uma situação real de tomada de decisão no planejamento futuro do modelo de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Garibaldi (RS).

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Definição de resíduos sólidos

Encontram-se na literatura várias definições para resíduos sólidos. Para Tchobanoglos et al. (1993), resíduos sólidos são todos os resíduos resultantes de atividades humanas e animais, geralmente sólidos, e que são descartados como inúteis e indesejáveis. De um modo mais amplo, Figueiredo (1992) define o conceito de resíduo como um descontrole entre os fluxos de certos elementos em um ecossistema, implicando na instabilidade do próprio sistema. Neste sentido, verifica-se uma dificuldade em conceituar o termo, uma vez que, na natureza os elementos resultantes do metabolismo dos organismos no seu ciclo de vida podem ser utilizados como nutrientes para outros organismos.

Monteiro (2001) define resíduo sólido como todo o material sólido ou semissólido indesejável, que necessita de remoção por ter sido considerado inútil por quem o descarta. Segundo McDougall et al. (2004), um resíduo somente se torna resíduo no momento em que é descartado, quando não tem mais qualquer valor para seu dono. Na língua portuguesa a palavra ‘resíduo’ é traduzida como “o que resta de qualquer substância, resto”, aquilo que sobra (FERREIRA, 2008).

A NBR 10004 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004), que estabelece os critérios de classificação para a identificação dos resíduos sólidos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e a saúde pública, define:

Resíduos sólidos: resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face a melhor tecnologia disponível (ABNT, 2004, p.1).

A Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010a) define resíduos sólidos como o material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, cuja destinação final se procede, se propõe a proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, gases contidos em recipientes e líquidos que não podem ser lançados na rede pública de esgotos ou em corpos d’água.

Ainda, a mesma Lei diferencia o termo “resíduo” do termo “rejeito”, com a seguinte



definição:

Rejeitos: 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, 2010a, Art. 3º, XV).

Neste contexto, apenas os rejeitos devem ser encaminhados para a disposição final. Os resíduos devem seguir para alternativas que viabilizem sua recuperação como bem material útil.

### **3.2 Classificação dos resíduos sólidos**

Os resíduos sólidos podem ser classificados e caracterizados quanto à periculosidade, à origem e quanto às propriedades físicas, químicas e biológicas.

#### **3.2.1 Classificação segundo a periculosidade**

A norma NBR 10004:2004 (ABNT, 2004) classifica os resíduos sólidos em:

- a) resíduos Classe I – perigosos: apresentam periculosidade em função de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade, podendo apresentar risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuados seus índices, e riscos ao meio ambiente, quando gerenciado de forma inadequada;
- b) resíduos Classe II – não perigosos, subdividem-se em:
  - resíduos Classe II A – não inertes: são aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos classe I (perigosos) ou classe II B (inertes). Estes resíduos podem ter propriedades de biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água;
  - resíduos Classe II B – inertes: são aqueles que quando submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme norma ABNT NBR 10006:2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

No gerenciamento dos resíduos é importante a sua classificação quanto à periculosida-

de, pois esta definição permite estabelecer a forma e o tipo de tratamento a ser adotado.

### **3.2.2 Classificação segundo a origem**

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010a), os resíduos podem ser classificados quanto à fonte geradora em:

- a) domiciliares: originários de atividades domésticas em residências urbanas;
- b) resíduos de limpeza urbana: provenientes de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana;
- c) sólidos urbanos: os resíduos englobados nas alíneas “a” e “b”;
- d) resíduos de estabelecimentos comerciais e prestadores de serviços;
- e) resíduos de serviços públicos de saneamento básico;
- f) resíduos industriais;
- g) resíduos de serviços de saúde;
- h) resíduos de construção civil;
- i) resíduos agrossilvopastoris;
- j) resíduos de serviços de transportes;
- k) resíduos de mineração.

A PNRS (BRASIL, 2010a) engloba como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, os originários de atividades domésticas em residências urbanas, os resíduos de limpeza urbana originários de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, e demais serviços de limpeza urbana.

Consoante a norma NBR 8419:1992 (ABNT, 1992) considera resíduos sólidos urbanos os “resíduos sólidos gerados num aglomerado urbano, excetuados os resíduos industriais perigosos, hospitalares sépticos, de aeroportos e portos”.

Segundo Monteiro et al. (2001), entre as atividades consideradas de limpeza urbana, os tipos “doméstico” e “comercial” constituem o chamado resíduo domiciliar. Desta forma, a coleta de resíduos sólidos domiciliares realizada pelos municípios muitas vezes incluem os provenientes de estabelecimentos como escritórios, lojas, supermercados e comércio em geral.

### 3.2.3 Características e classificação dos resíduos

Os resíduos sólidos podem ser caracterizados de acordo com as suas propriedades físicas, químicas e biológicas. Tais características podem influenciar diretamente nas etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

Na Tabela 1, são apresentadas as principais características físicas e químicas, bem como a importância da análise de cada uma no gerenciamento dos resíduos.

Tabela 1 - Descrição das características físicas e químicas dos resíduos

Características	Descrição	Importância
Geração <i>per capita</i> (kg/hab./dia)	Informa a quantidade diária de resíduos gerada por habitante.	Fundamental para projetar a quantidade de resíduos a coletar e a dispor, e, para dimensionar as unidades que compõem o sistema de limpeza.
Teor de umidade (%)	Representa o percentual (em massa) de água em uma amostra de resíduo sólido.	Influencia diretamente na velocidade de degradação aeróbia ou anaeróbia. Influencia no processo de incineração, uma vez que, a água possui calor específico diferente dos resíduos. As condições meteorológicas influenciam neste parâmetro em que a chuva acarreta o acréscimo em massa.
Composição gravimétrica (%)	Traduz o percentual de cada componente em relação à massa total da amostra de resíduo analisada.	Indica a possibilidade de aproveitamento das frações recicláveis (papel, plásticos, vidros, entre outros) para comercialização e para a compostagem.
Massa específica aparente (kg/m <sup>3</sup> )	Relação entre a massa do resíduo solto, não compactado, em relação ao volume que ocupa.	Utilizada para o dimensionamento de equipamentos, veículos de coleta e projetos de aterro sanitário.
Compressividade	Grau de compactação ou redução de volume que uma massa de resíduo sofre sob pressão.	Utilizada para o dimensionamento de equipamentos, veículos de coleta e para a vida útil do aterro sanitário.
Relação Carbono/Nitrogênio (C/N)	Indica o grau de decomposição de determinada massa de resíduos.	Auxilia a estabelecer a qualidade do composto produzido.
Poder Calorífico (kcal/kg)	Indica a energia (calor) que uma massa de resíduos irá desprender ao ser submetida a um processo térmico.	Influencia no dimensionamento das instalações dos processos de tratamento térmico (incineração, pirólise, outros).
pH	Indica o teor de acidez, neutralidade ou alcalinidade do ambiente da massa de resíduos.	Influencia nas espécies de microrganismos do ambiente e na definição do tipo de tratamento.
Composição química	Determina os teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogênio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral e gorduras.	Ajuda a indicar a forma de tratamento dos resíduos, principalmente para os processos biológicos.

Fonte: Adaptado de Monteiro et al. (2001) e Barros (2012)

Conforme descrito, o conhecimento das características físicas e químicas dos resíduos é fundamental para projetar e dimensionar as unidades de tratamento, bem como para planejar as etapas de um sistema de gerenciamento.

Deve-se considerar ainda as características biológicas que revelam as espécies microbiológicas presentes na massa de resíduos e, portanto, indicam a forma de degradação da matéria orgânica: as espécies que atuarão, por exemplo, nas fases da compostagem são distintas das que atuarão nas fases da digestão anaeróbia (BARROS, 2012). Desse modo, tal característica permite que sejam selecionados os métodos de tratamento e disposição final de resíduos.

Ainda, na classificação dos resíduos, verificam-se diferentes abordagens como as adotadas por Schneider (1994), Naime (2004), Vilhena (2010) e Brasil (2012b).

Schneider (1994) apresenta uma classificação para os resíduos sólidos domiciliares segundo o potencial de tratabilidade em biodegradáveis, recicláveis e descartáveis. Naime (2004) classifica como resíduos facilmente degradáveis os constituídos principalmente por matéria orgânica, moderadamente degradáveis os papéis, papelão e material celulósico, dificilmente degradáveis os resíduos têxteis, aparas, serragens de couro, borracha e madeira, e como não degradáveis, os vidros, metais e rochas.

Vilhena (2010) indica a possibilidade de classificação quanto ao aspecto físico do resíduo, como seco e molhado, ou por sua composição química, como matéria orgânica e inorgânica. Semelhantemente, utilizam-se termos como ‘resíduos secos’ e ‘resíduos úmidos’, os originários de atividades domésticas em residências urbanas:

Os resíduos secos são constituídos principalmente por embalagens fabricadas a partir de plásticos, papéis, vidros e metais diversos, ocorrendo também produtos compostos como as embalagens “longa vida” e outros. Já os resíduos úmidos são constituídos principalmente por restos oriundos do preparo dos alimentos. Contém partes de alimentos *in natura*, como folhas, cascas e sementes, restos de alimentos industrializados e outros (BRASIL, 2012b, p. 48).

Um fator a ser observado é a diversidade de material nos resíduos. Os resíduos sólidos urbanos apresentam uma heterogeneidade marcante que varia de acordo com a cidade, com as mudanças climáticas e sazonais, com os hábitos e padrão de vida da comunidade, em função de mudanças na política econômica e do nível de renda da população (REICHERT, 2013). Para Gorgati (2001), qualquer que seja a composição, os resíduos podem ter seus componentes separados em frações de acordo com sua natureza para serem reciclados.

Neste trabalho será adotado o termo resíduo sólido urbano (RSU) para englobar os resíduos de origem domiciliar, de limpeza urbana, comercial, de prestadores de serviços e institucionais, devido a estes serem geralmente recolhidos pelo sistema de coleta pública e que integram os dados analisados na presente pesquisa, pois são normalmente gerenciados pelos municípios, em especial no município de Garibaldi.

Ainda, será adotado o termo ‘coleta seletiva de resíduos sólidos’ para os resíduos previamente segregados no local gerador e coletados pela coleta seletiva do município, sendo composto principalmente por embalagens, plásticos, papéis, vidros e metais diversos.

O termo ‘coleta de resíduos sólidos mistos’ será adotado para designar os resíduos coletados sem prévia separação no local gerador (misturados), sendo compostos principalmente por matéria orgânica, resíduos sanitários (papel higiênico, fraldas, absorventes), rejeito e outros materiais não recolhidos na coleta seletiva.

### **3.3 Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos**

Ao tratar sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, é importante esclarecer inicialmente os conceitos de gestão e gerenciamento.

Mesquita Júnior (2007) entende como gestão integrada de resíduos sólidos o modo de conceber, implementar e administrar os sistemas de manejo de RSU, contemplando uma ampla participação da sociedade com perspectiva para um desenvolvimento sustentável.

Nunesmaia (2002), em seus estudos, cita que um modelo de gestão de resíduos sólidos urbanos socialmente integrado firma-se em cinco pontos: no desenvolvimento de tecnologias limpas para o tratamento de resíduos, priorizando a redução e a valorização; na viabilidade econômica; na comunicação e educação ambiental; na inclusão social; e, nos aspectos ambientais, sanitários e de saúde.

Já o gerenciamento de resíduos sólidos é pautado nos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais, de desempenho (produtividade e qualidade), incluindo a prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final (LIMA, 2000).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (BRASIL, 2010a) coloca de forma diferenciada os termos gerenciamento e gestão integrada dos resíduos, definindo-os como:

Gerenciamento de resíduos sólidos: conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta Lei.

Gestão integrada de resíduos sólidos: conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos, de forma a considerar as dimensões política, econômica, ambiental, cultural e social, com controle social e sob a premissa do desenvol-

vimento sustentável (BRASIL, 2010a, art. 3º, incisos X, XI).

Demajorovic (1996) considera que a expansão da geração de resíduos impõe desafios ao gerenciamento adequado, seja nos países industrializados ou nos países em desenvolvimento, embora os problemas possam ser bastante diferentes. Nos primeiro cenário, como já está garantida a destinação para aterros sanitários e incineradores, presume-se que seja ampliado o incentivo à reciclagem e à recuperação de materiais. Nos países em desenvolvimento, como ainda ocorre parcela significativa de resíduos dispostos ou queimados a céu aberto, a situação continua agravando os problemas de poluição do ar, do solo e da água.

Para Albertin (2010), conhecer a situação dos resíduos sólidos é importante para subsidiar o planejamento das atividades do setor de limpeza urbana, assim como avaliar o potencial de reutilização, reciclagem e recuperação do material gerado.

Segundo a Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010a), compete aos municípios legislar, organizar e prestar direta ou indiretamente os serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, sem isentar a responsabilidade do gerador quanto à disponibilização do material para a coleta.

De um modo geral, os municípios costumam tratar os resíduos gerados como um material não desejado, a ser recolhido, transportado, podendo receber algum tratamento manual ou mecânico para ser disposto finalmente em aterros (MONTEIRO, 2001). O mesmo autor expõe:

O manejo ambientalmente saudável de resíduos deve ir além da simples deposição ou aproveitamento por métodos seguros dos resíduos gerados e buscar desenvolver a causa fundamental do problema, procurando mudar os padrões não-sustentáveis de produção e consumo. Isto implica a utilização do conceito de manejo integrado do ciclo vital, o qual apresenta oportunidade única de conciliar o desenvolvimento com a proteção do meio ambiente (MONTEIRO, 2001, p.8).

Neste sentido, é preciso analisar as alternativas tecnológicas de tratamento para evitar os danos ambientais. Cabe ressaltar que a PNRS propõe como ordem de prioridade na gestão e no gerenciamento de resíduos primeiramente a não geração, posteriormente a redução, reutilização, reciclagem, tratamento e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos.

Todavia, nenhum sistema de gerenciamento consegue tratar todo o material presente nos resíduos sólidos urbanos com a adoção de um único tratamento. Faz-se necessário a aplicação de uma série de tratamentos incluindo, por exemplo, reciclagem, tratamento biológico, incineração e aterro (MOURAD et al., 2002).

Barros (2012) destaca que o conjunto de etapas do gerenciamento de resíduos, desde a coleta até a destinação final, deve ser planejado, pois estão interligadas, sendo, portanto, pas-

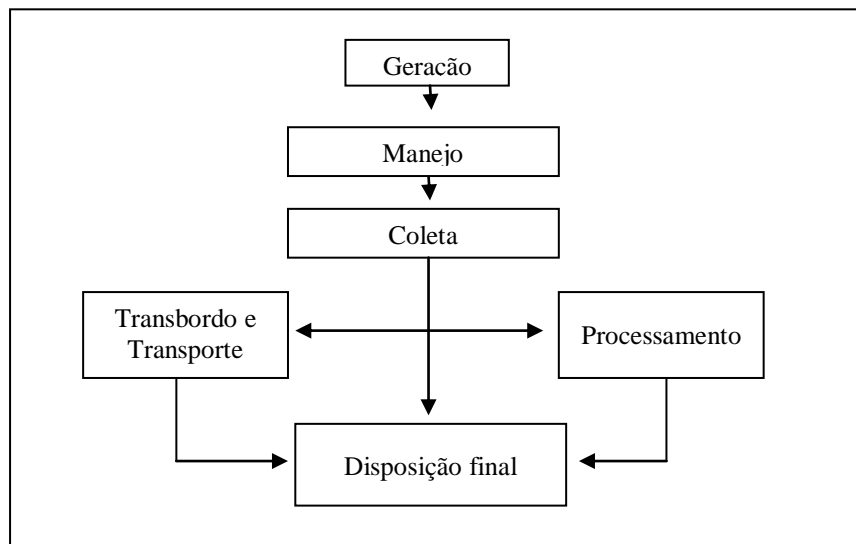
sível de influenciar o desempenho da etapa posterior nas mais diversas dimensões.

Assim, é necessário identificar e analisar os processos capazes de tratar efetivamente os resíduos, de modo a atender a maior parcela possível de material gerado, inserindo tecnologias que melhorem o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

### 3.3.1 Etapas do gerenciamento de resíduos sólidos

No planejamento para gerenciar os resíduos sólidos urbanos deve-se prever as fases nas quais o resíduo passará desde a sua origem, ou seja, sua geração até a disposição final, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1- Fluxograma das etapas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos



Fonte: Tchoubanoglous et al. (1993)

As ações operacionais incluem os processos de manejo e de coleta a partir de diferentes fontes onde os resíduos são gerados, o transporte, o tratamento ou processamento e a disposição final. Os procedimentos em cada etapa devem ser integrados para monitorar e controlar as operações. Nos municípios, as ações podem ser executadas diretamente pelo poder público ou delegadas a empresas por meio de concessão, terceirização ou em consórcio (BARROS, 2012).

### 3.3.2 Coleta e transporte

A PNRS afirma que, sempre que estabelecido sistema de coleta seletiva nos municípios, compete ao consumidor acondicionar adequadamente e de forma diferenciada os resí-

duos gerados e disponibilizá-los à coleta ou à devolução (BRASIL, 2010a).

No manejo dos resíduos a partir da fonte geradora, o acondicionamento constitui-se em uma etapa importante para seu gerenciamento, devido ao fato de ser a etapa que precede à coleta, cujo modo de acondicionar influenciará nas etapas seguintes.

Entende-se por ‘coleta seletiva’ a coleta de resíduos sólidos previamente segregados de acordo com a sua constituição ou composição (BRASIL, 2010a). A implementação do sistema de coleta é fundamental para alcançar a meta de disposição final apenas de rejeitos (BRASIL, 2012b).

Para a coleta, em geral, os resíduos domiciliares são acondicionados em sacos plásticos. Porém, os sacos plásticos devem possuir características como: estanqueidade, de modo a assegurar o não vazamento de líquidos dos resíduos; resistência mecânica para serem manuseados durante a coleta; e, dimensões compatíveis ao volume a ser acondicionado (BARROS, 2012).

Dentre as formas de coleta seletiva, de um modo geral, distinguem-se duas modalidades: coleta porta-a-porta, onde veículos específicos realizam um percurso por ruas fazendo a coleta em cada domicílio; e, em locais determinados chamados Pontos de Entrega Voluntária, onde a população leva os resíduos até o local de recebimento (BRASIL, 2010b).

Em ambos os métodos há benefícios e desvantagens. Na coleta porta-a-porta, tem-se o contato direto com o gerador facilitando medir a adesão da população ao sistema de coleta e permitindo a correção da segregação dos resíduos pelo contato direto do agente coletor com o morador. Porém, os custos de transporte são elevados e a produtividade por quilômetro percorrido é baixa (BRASIL, 2010b).

Já a coleta em pontos ou locais de entrega voluntária requer a aquisição de recipientes (contêineres ou pequenos depósitos) para o acondicionamento do material. Esse tipo de coleta não permite identificar a adesão ao sistema, não facilita o contato direto com o usuário para correções na segregação e os recipientes necessitam de manutenção e limpeza. No entanto, tem-se uma economia nos custos de transporte, uma vez que, a coleta é centralizada em pontos determinados e o veículo não necessita ficar parando a pequenas distâncias, além de facilitar a separação por tipo de resíduo e, conseqüentemente, a triagem (BRASIL, 2010b).

Para planejar as etapas de coleta e de transporte, é imprescindível conferir a quantidade de resíduos gerada pela população. A pesquisa nacional de informações sobre saneamento apontou uma média *per capita* de massa recolhida de resíduos sólidos urbanos (domiciliares e públicos), em relação à população urbana, de 1,01 kg/hab./dia (BRASIL, 2013), resultando em 368,60 kg/hab./ano.



Comparando por faixa populacional, municípios brasileiros com até 30.000 habitantes apresentaram o indicador médio de 0,85 kg/hab./dia de massa coletada de RSU. Nos municípios da região Sul do país, registrou-se a média de 0,82 kg/hab./dia (BRASIL, 2013). Garibaldi, inserida nesta faixa, registrou uma geração de 0,61 kg/hab./dia (GARIBALDI, 2013).

Quanto à coleta seletiva, a mesma pesquisa identificou que 20,8% dos municípios brasileiros possuem o serviço de coleta, 43,3% não possuem e, uma parcela restante (35,9%) não se tem informações (BRASIL, 2013). Observa-se que a prática da coleta seletiva ainda é muito baixa.

### 3.3.3 Triagem

A triagem é a separação dos resíduos sólidos urbanos coletados de forma indiferenciada ou seletivamente, podendo ser realizada em unidades ou centrais de triagem. Esta etapa é importante, pois permite uma melhor separação para a comercialização de materiais que serão reintroduzidos aos ciclos produtivos.

A separação pode ser realizada de forma mecânica ou manual, de modo a separar os resíduos recicláveis dos rejeitos. Os resíduos recicláveis são separados e armazenados de acordo com a tipologia. O material rejeitado pode ser encaminhado para incineração ou disposição em aterro (TEIXEIRA, 2004).

Nas unidades, dependendo da demanda da indústria, os resíduos são separados em: papel e papelão, plástico duro (policloreto de vinila - PVC, polietileno de alta densidade - PEAD, polietileno tereftalato - PET), plástico filme (polietileno de baixa densidade - PEBD), garrafas inteiras, vidro (claro, escuro e misto), metal ferroso (latas, chaparia, outros), metal não ferroso (alumínio, cobre, chumbo, outros) (MONTEIRO, 2001).

Além da separação, nas unidades de triagem podem ser realizadas outras atividades que permitem um ganho maior na comercialização do material, como lavagem, trituração, peneiramento, prensagem e enfardamento. As centrais que operam somente com resíduos provenientes da coleta seletiva apresentam um melhor desempenho, uma vez que, o resíduo chega menos contaminado. A quantidade de rejeito pode variar de um município para outro, dependendo do grau de conscientização da população, do rendimento dos trabalhadores na separação e das condições de mercado para assimilar o material (MASSUKADO, 2004).

A unidade de triagem, quando bem gerenciada, pode reduzir a quantidade de resíduos enviada para aterro sanitário. Conjuntamente, ainda pode ter um local para a compostagem da fração orgânica dos resíduos, visto que também requer uma separação prévia (VILHENA,

2010).

Dentre as vantagens de uma unidade de triagem destaca-se a possibilidade de aproveitamento da fração orgânica por meio da compostagem. Quanto às desvantagens, cita-se: o investimento inicial em equipamentos, a necessidade de operadores capacitados e a baixa qualidade do material quando não há coleta seletiva devido à contaminação por outros componentes presentes (VILHENA, 2010).

Segundo o diagnóstico do SNIS, no ano de 2013, em relação à população urbana, os indicadores apontaram a maior recuperação da massa de material reciclável (secos) em municípios de pequeno porte (até 30.000 habitantes), nos quais a média recuperada *per capita* foi de 21,5 kg/hab./ano. O fator apontado para este resultado é a existência de unidades de triagem nos municípios, que mesmo sem contar com uma coleta seletiva conseguem recuperar o material (BRASIL, 2015).

#### **3.3.4 Sistemas de tratamento**

Segundo Jucá et al. (2014), o tratamento de resíduos sólidos urbanos pode ser compreendido como um conjunto de procedimentos físicos, químicos e biológicos, que têm como objetivo diminuir a carga poluidora ao meio ambiente e reduzir os impactos sanitários, além de visar o beneficiamento econômico dos resíduos.

Tchoubanoglous et al. (1993), discorrendo sobre os principais processos de transformações utilizados para o gerenciamento de resíduos sólidos, destaca a transformação física (separação de componentes, redução de volume), a transformação química (combustão, pirólise, gaseificação) e a transformação biológica (compostagem, digestão anaeróbia e anaeróbia).

A seguir são apresentados os tipos de tratamentos a serem propostos na presente pesquisa para os sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

#### **3.3.5 Tratamento biológico: compostagem e digestão anaeróbia**

O tratamento biológico consiste na decomposição da fração orgânica dos resíduos por meio da ação de microrganismos presentes naturalmente no meio. Este tratamento pode ocorrer por dois processos: aeróbio (presença de oxigênio livre) ou anaeróbio (ausência de oxigênio livre). Praticamente todo material orgânico pode receber o tratamento biológico, sendo indicado principalmente para resíduos domiciliares, de parques e jardins (MCDUGALL et al., 2004).

A compostagem é um processo biológico aeróbio e controlado, no qual ocorre a transformação de resíduos orgânicos em resíduos estabilizados, com propriedades e características completamente diferentes do material que lhe deu origem (BIDONE, 2001).

A norma NBR 13591:1996 define compostagem como:

Processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável dos resíduos, efetuado por uma população diversificada de organismos, em condições controladas de aerobiose e demais parâmetros, desenvolvido em duas etapas distintas: uma de degradação ativa e outra de maturação (ABNT, 1996, p.2).

A compostagem ocorre a partir da mistura de teores e de granulometria adequados da matéria orgânica rica em carbono, como por exemplo, restos de poda, e em nitrogênio, como restos de alimentos, esterco e lodo de esgoto (BARROS, 2012).

O processo de compostagem pode ser desenvolvido por diferentes métodos, a citar:

- a) sistema de leiras revolvidas: a mistura de resíduos é disposta em leiras (pilhas), sendo a aeração fornecida pelo revolvimento dos resíduos e pela difusão do ar na massa do composto. Neste sistema, além do revolvimento pode ser utilizado a insuflação de ar sob pressão nas leiras;
- b) sistema de leiras estáticas aeradas: a mistura de resíduos é colocada sobre uma tubulação perfurada que injeta ou aspira ar na massa do composto, não havendo revolvimento mecânico das leiras;
- c) sistema fechado ou reator biológico: os resíduos são colocados em sistemas fechados que permitem o controle de todos os parâmetros (aeração, temperatura, umidade, outros) do processo de compostagem (FERNANDES e SILVA, 1996).

Como resultado do tratamento obtém-se principalmente dióxido de carbono, composto e água (MCDOUGALL et al., 2004). O composto é o produto final maturado (bioestabilizado, curado ou estabilizado) proveniente da biodigestão da fração orgânica biodegradável (ABNT, 1996).

Do ponto de vista ambiental, a compostagem apresenta como vantagens o aumento do tempo de vida útil dos aterros sanitários, a redução da emissão de gás metano, a redução da geração de lixiviado, e a economia de implementação e manutenção de sistemas para tratamento de chorume (MASSUKADO, 2008). Além disso, permite a obtenção de compostos orgânicos que podem ser utilizados na agricultura (BARROS, 2012).

Por outro lado, como desvantagens: requer uma separação eficiente de resíduos, um

tempo de processamento que pode chegar a seis meses, necessita de mercado para a comercialização do composto, requer área relativamente grande para a operação, uma coleta diferenciada da fração orgânica apresenta custos altos, e quando mal operada, líquidos e gases gerados podem contaminar o meio ambiente (JUCÁ et al., 2014).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos incentiva o processo de compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente adequada e de reciclagem da matéria orgânica, a fim de evitar danos ou riscos à saúde pública e a minimizar os impactos ambientais.

Embora a própria legislação incentiva os municípios a implantarem processos de compostagem no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, observa-se que este tratamento não é habitual.

Considerando o potencial para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares e públicos coletados no Brasil, a partir da composição gravimétrica, estima-se que 51,4% do total coletado compreende a massa orgânica. Destes, apenas 1,6% são encaminhados para unidades de compostagem e o restante é encaminhado a outros destinos como aterro sanitário (IPEA, 2012).

Já o diagnóstico mais recente do manejo de RSU do Sistema Nacional de Informações para Saneamento apontou a existência de 62 unidades de compostagem (pátio ou usina), as quais receberam no ano de 2013, somente 0,02% do total de resíduos coletados no País (BRASIL, 2015).

Estes dados reafirmam que o processo de compostagem para tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos ainda é pouco utilizado pelos municípios. Os motivos seriam a dificuldade em se obter o resíduo orgânico separado na fonte geradora, a insuficiência de manutenção do processo, o preconceito com o produto gerado, a carência de investimentos e de tecnologia adequada para a coleta deste material (MASSUKADO, 2008).

Outro possível tratamento biológico, a digestão anaeróbia ou biogásificação consiste na degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos na ausência de oxigênio, formando um composto mineralizado, além de formar gases, predominantemente dióxido de carbono e metano, que podem ser utilizados como fonte de energia. Este processo é adequado para resíduos caracteristicamente bastante úmidos como lodos residuais e restos de alimentos que são difíceis de processar por compostagem (MCDUGALL et al., 2004).

O tratamento por digestão anaeróbia apresenta como principais vantagens: o aumento da vida útil dos aterros sanitários, maior geração de biogás, maior recuperação do biogás gerado reduzindo as emissões de gases do efeito estufa, geração de produtos valorizáveis como o biogás (energia e calor) e composto orgânico. Como desvantagens desta tecnologia citam-

se: a possibilidade de variação na composição dos resíduos (dependendo do local e da estação do ano, pode comprometer a qualidade do processo e de seus produtos, biogás e composto), necessidade de uma etapa posterior (a compostagem) para bioestabilizar os resíduos digeridos, dificuldades na operação do sistema como obstruções de canalização, e necessidade de mão de obra qualificada para operar o processo (JUCÁ, et al., 2014).

### **3.3.6 Tratamento térmico: incineração**

A incineração é um processo que ocorre por meio da combustão dos resíduos sólidos na presença de oxigênio em excesso, em um sistema fechado, resultando em sólidos (cinzas), gases e líquidos. Para tanto, este tratamento requer equipamentos de controle de poluição e práticas operacionais adequadas para evitar a formação de compostos tóxicos (BARROS, 2012).

A NBR 11.175:1990 define a incineração de resíduos sólidos como um “processo de oxidação à alta temperatura que destrói ou reduz o volume ou recupera materiais ou substâncias” (ABNT, 1990).

Das vantagens da incineração citam-se: a redução de volume dos resíduos em até 90%, a estabilização dos resíduos (cinzas resultantes do processo são mais inertes que o material que entra), a possibilidade de recuperação de energia contida nos resíduos para a geração de energia elétrica, e a esterilização dos resíduos a partir da destruição de microrganismos (bactérias e vírus) patogênicos (MCDUGALL, 2004).

Como desvantagens, conforme observado por Vilhena (2010) e JUCÁ et al. (2014), destacam-se: os custos elevados para instalação e operação do sistema, a inviabilidade de produção em caso de resíduos com umidade excessiva, a necessidade de mão de obra qualificada para garantir a eficiência da operação e, a presença de materiais nos resíduos que podem gerar compostos tóxicos e corrosivos.

Waldman (2013), discorrendo sobre a gestão de resíduos sólidos domiciliares, cita que em 2008 a França queimou 32% dos rejeitos, a Alemanha 35%, a Holanda 39%, a Suécia 49% e a Dinamarca 49%. Estima-se que na Europa, em 2003, já existiam 420 usinas de incineração com recuperação de energia obtida a partir da queima dos resíduos. Porém, observa que o resíduo domiciliar brasileiro apresenta caracteristicamente uma abundante massa de material úmido, arrefecendo o calor do sistema de incineração e, conseqüentemente, encarecendo a operação.

Entretanto, comparando a incineração dos resíduos sólidos urbanos com a disposição

em aterro sanitário destaca-se como vantagem a economia de área, visto que as instalações de incineradores ocupam um espaço menor. Ainda, os aterros sanitários estão sujeitos à contínua geração de subprodutos como chorume e gás metano, devendo ser monitorado por muitos anos após a desativação (BARROS, 2012).

Também, o tratamento térmico pode ser considerado um mecanismo de valorização dos resíduos com a recuperação de energia que pode ser utilizada na própria planta ou na alimentação de outros sistemas (MCDOUGALL, 2004).

Conforme objetivos da PNRS, podem ser utilizadas tecnologias para a recuperação energética dos resíduos sólidos urbanos desde que comprovada a viabilidade técnica e ambiental, e com programa de monitoramento de emissão de gases tóxicos (BRASIL, 2010a).

### **3.3.7 Reciclagem**

A PNRS define como reciclagem de resíduos sólidos o processo de transformação que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, visando a sua transformação em insumos ou novos produtos (BRASIL, 2010a).

Os resíduos sólidos urbanos compõem-se de uma diversidade de materiais resultante das atividades de produção e de consumo da população cuja parcela significativa do montante gerado pode ser reciclada, evitando o envio de material para aterro, economizando o uso de recursos naturais e o consumo de energia (BARROS, 2012). Entre os materiais usualmente encaminhados para reciclagem encontram-se papéis, plásticos, papel, papelão, vidro e metais.

A separação dos resíduos na fonte geradora e a implementação da coleta seletiva nos municípios auxiliam no beneficiamento do material, evitando que percam o valor devido a contaminações. Conforme Monteiro (2001), a reciclagem apresenta como vantagens a conservação de recursos naturais, economia de energia, economia de transporte, redução de material encaminhado para aterro, geração de emprego e renda, e estimula a conscientização da população para as questões ambientais. Entretanto, altos custos no beneficiamento de recicláveis para empregar tecnologias limpas de processamento tem provocado negligência por parte das indústrias, o que pode se tornar nocivo ao meio ambiente.

Os dados do SNIS, em diagnóstico realizado em 2013, apontaram que, apesar de um maior número de municípios estarem adotando a coleta seletiva, não aumentou o percentual de massa recuperada de resíduos recicláveis (papel, plástico, vidro e metais). Admitindo-se que a fração de material reciclável presente nos resíduos sólidos urbanos (domiciliares e públicos) é de 30% (exceto matéria orgânica), estimou-se que apenas 4,7% da massa total foi

recuperada (BRASIL, 2015).

### 3.3.8 Aterro sanitário

O aterro sanitário consiste em uma obra de engenharia que tem por objetivo acomodar os resíduos sólidos no solo, no menor espaço possível, sem causar danos ao meio ambiente ou à saúde pública (LIMA, 2000).

Nos termos da norma NBR 8419:1992, aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é definido como:

Técnica de disposição de resíduos sólidos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e à sua segurança, minimizando os impactos ambientais, método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos sólidos à menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores, se necessário (ABNT, 1992, p.1).

O aterro sanitário é considerado um dos processos mais aplicados no mundo devido ao seu baixo custo, simplicidade de operação em relação a outras formas de tratamento e devido aos processos de tratamento também gerarem resíduos cujo destino final é o aterro. Dentre as desvantagens pode-se citar a perda de matérias-primas e energia contida nos resíduos, o transporte de resíduos a longa distância, a desvalorização da região no entorno do aterro, a geração de lixiviado e percolados, o risco de contaminação do lençol freático, a necessidade de manutenção e vigilância por longo tempo após o fechamento, vida útil limitada (TENORIO et al., 2004).

De acordo com Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), somente os rejeitos devem ser enviados para aterro, sendo que esta disposição final deve observar as normas operacionais de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública, à segurança e a minimizar os impactos ambientais.

Lembrando que, no contexto da legislação, o rejeito é o resíduo para o qual não há possibilidades de tratamento ou de recuperação, sendo a disposição final a única alternativa. Cabe destacar que, o material descartado como rejeito em uma cidade pode não estar como rejeito em outra. Isso dependerá dos processos tecnológicos disponíveis para o tratamento dos RSU, e, principalmente, da viabilidade econômica para a recuperação do material e das condições de mercado para absorver o material aos ciclos produtivos. Portanto, somente aquele material que não pode ser recuperado, ou que ainda não existe mercado para o seu reaproveitamento, deve ser enviado para aterro sanitário.

Barros (2012) explica que o aterro sanitário, como forma de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos, é uma solução sanitariamente segura tanto à população quanto ao meio ambiente, devido aos requisitos de projeto e regulamentos para a obtenção de licenciamento para operação. Tais requisitos compreendem: condições topográficas, hidrogeológicas e geotécnicas, sistema de monitoramento de águas subterrâneas, drenagem de gases (com queima ou recuperação energética), sistema de tratamento de percolado, recobrimento com argila compactada ou geomembranas, entre outros.

O principal processo que ocorre em um aterro é a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia, gerando o biogás que é composto por uma mistura de gases sendo majoritariamente por metano e dióxido de carbono, e os lixiviados, que apresentam uma potencial capacidade poluidora quando em contato com águas subterrâneas. Por isso um aterro é construído e preparado para ser um sistema fechado de modo a evitar contaminações (TEIXEIRA, 2004).

O biogás drenado e recolhido pode ser utilizado para gerar energia elétrica. Apresenta um poder calorífico de aproximadamente 50 a 60 % do gás natural, por isso a importância do aproveitamento energético dos gases em aterros, podendo ser utilizado como combustível (TEIXEIRA, 2004).

Portanto, a disposição final em aterro sanitário também pode ser entendida como uma forma de tratamento e de valorização dos resíduos, uma vez que, o biogás pode ser utilizado para a recuperação de energia. O objetivo principal do aterro é a disposição segura dos resíduos a longo prazo, sejam provenientes de domicílios ou de outros tipos de tratamento (MCDUGALL et al., 2004).

O Plano Nacional de Resíduos Sólidos estabeleceu como diretriz a captação e a recuperação de gases em aterros sanitários para a geração de energia (BRASIL, 2012a). Ressaltando que, entre os gases gerados nos aterros, encontra-se o metano, um dos agravantes do efeito estufa.

### **3.4 Avaliação do Ciclo de Vida**

Os estudos iniciais envolvendo a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foram desenvolvidos nos Estados Unidos no final da década de 1960, quando a crise do petróleo gerou uma busca intensa por alternativas de energia, despertando preocupações com as limitações das matérias-primas e para a necessidade de melhor utilizar os recursos naturais. Neste período, pesquisas foram realizadas para avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo das fontes energéticas esgotáveis (CHEHEBE, 1998).



Os primeiros trabalhos desenvolvidos abordavam em sua maioria os diferentes processos na fabricação de produtos. Posteriormente, as análises começaram a considerar os aspectos que revelassem as interações entre os processos e suas consequências de impacto ambiental como: emissões atmosféricas, efluentes líquidos e resíduos. Como resultado da evolução dos estudos, visto a diversidade apresentada, a *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) iniciou a sistematização, padronização e critérios da ACV. Em 1993, a *International Organization for Standardization* (ISO) criou um comitê técnico para elaborar normas de sistemas de gestão ambiental e suas ferramentas, publicando a série ISO 14.000, que inclui as normas de Avaliação do Ciclo de Vida (SANTOS et al., 2011).

A norma NBR 14040:2001 define como Avaliação do Ciclo de Vida a técnica utilizada para avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais de um sistema de produto, a partir da compilação de um inventário de entradas e saídas, desde a extração da matéria-prima na natureza até a disposição final (ABNT, 2001). A ACV como uma técnica de gestão ambiental pode auxiliar na tomada de decisões de organizações governamentais no planejamento estratégico e na definição de prioridades e de processos.

Integrando a ACV, o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é a fase que envolve a coleta de dados e a quantificação de entradas (material ou energia que entra no sistema) e saídas (material ou energia que deixa um sistema), compreendendo também o uso de recursos e as liberações para o ar, água e solo (ABNT, 2001).

Várias pesquisas já foram desenvolvidas utilizando a metodologia de ACV para o gerenciamento de resíduos sólidos. Xará (2001) exemplifica a aplicação desta técnica na gestão de resíduos para avaliar os diferentes cenários de tratamento, desenvolver estratégias de gestão e avaliar as cargas ambientais associadas aos sistemas. Conforme as características desta técnica, a ACV ajusta-se a realidade local permitindo deste modo planejar de forma objetiva.

Segundo Massukado (2004), apoiar-se na técnica de cenários é recomendado para tomar decisões quando o gerenciamento encontra-se insatisfatório, o ambiente passou ou passa por muitas mudanças e para buscar a diminuição de conflitos e diversidades internas. É considerada uma importante ferramenta de planejamento.

Mendes et al. (2003), utilizando a Avaliação do Ciclo de Vida, abordaram cinco cenários para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos: a compostagem, a compostagem seguida por tratamento de gases, aterros sanitários, aterros com recuperação de energia e a biogaseificação (digestão anaeróbia).

Rosa Neto (2007) afirma que o uso da ACV no gerenciamento de resíduos sólidos permite calcular os danos ambientais associados ao sistema e fornece dados detalhados de

modo a auxiliar na tomada de decisões.

No Brasil, estudos também utilizaram a ACV para determinar o impacto ambiental, os custos e o consumo energético no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos e domiciliares.

Dmitrijevas (2010) comparou o desempenho econômico-ambiental de duas formas de tratamento para resíduos sólidos urbanos no Estado de São Paulo, o aterro sanitário e a incineração com recuperação de energia, estabelecendo indicadores de ecoeficiência. Leme et al. (2010), em um estudo de caso, utilizando a metodologia de ACV, avaliaram ambientalmente as opções tecnológicas para a geração de energia a partir dos resíduos sólidos urbanos com base nos seguintes cenários: aterro sanitário sem a recuperação de energia, aterro sanitário com uso de biogás gerado e sistema de incineração com geração de eletricidade.

Willers (2012), utilizando-se de pesquisa documental, fez um panorama do uso da ACV em pesquisas com base nos anais do Simpósio Brasileiro de Engenharia de Produção, realizado anualmente por meio da Universidade Estadual Paulista, no período de 1999 a 2010. A pesquisa constatou que apenas 10,3% dos trabalhos aplicaram efetivamente a metodologia da ACV. A maioria se restringiu a uma abordagem conceitual. Os trabalhos que aplicaram a ACV revelaram que esta é uma metodologia que identifica os pontos críticos do processo, fornece subsídios para a elaboração de planos e ações, identifica e quantifica os impactos ambientais ao longo do ciclo de vida do produto ou processo.

Reichert (2013), ao aplicar a Avaliação do Ciclo de Vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos do município de Porto Alegre (RS), abordou além da questão ambiental e econômica, a participação social na definição de modelos de gerenciamento. Incorporando desta forma, os atores sociais no processo de tomada de decisão para alcançar um modelo efetivamente sustentável. Os resultados mostraram que o uso de técnicas estruturadas, como a ACV, auxiliam na construção de possíveis cenários futuros permitindo a escolha por alternativas que atendam a Política Nacional de Resíduos Sólidos, especialmente quanto a otimização da reciclagem com o envio apenas de rejeitos para aterro sanitário.

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012), ao publicar o relatório do Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil, descreveu a situação da gestão dos resíduos e, ao abordar os aspectos metodológicos para a pesquisa, recomendou o uso da análise do ciclo de vida para um futuro sistema de informações em resíduos, objetivando compatibilizar os dados disponíveis sobre os materiais em cada etapa.

Considerando os três pilares para o desenvolvimento sustentável, o manejo de resíduos sólidos deve ser ambientalmente eficaz, economicamente viável e socialmente aceito. Em termos ambientais, o consumo de recursos e a geração de emissões para o ar, água e solo de-

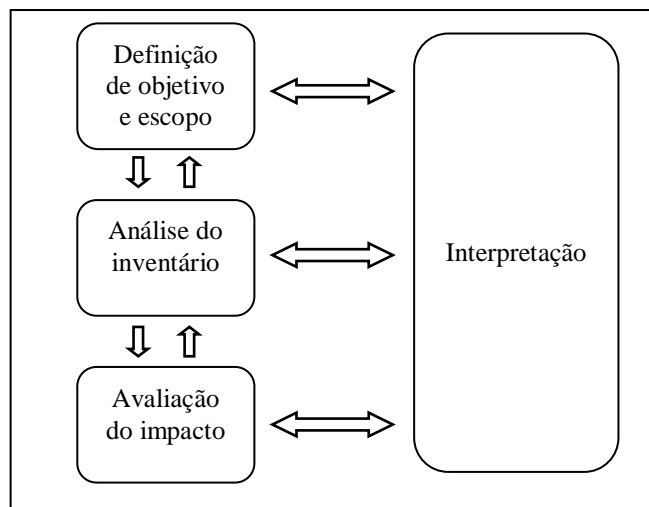
vem ser reduzidos. Do ponto de vista econômico, é importante que os custos para a gestão dos resíduos seja viável para todos os setores da comunidade. E, sob o aspecto social, é necessário que a gestão dos resíduos atenda as necessidades da comunidade e reflita suas prioridades (MCDOUGALL, 2000).

Assim, a ACV, técnica utilizada nesse trabalho, permite avaliar o desempenho ambiental de diferentes processos para o gerenciamento dos resíduos sólidos considerando o consumo de energia, a entrada de recursos, a recuperação de material e energia, as emissões líquidas e gasosas.

### 3.4.1 Estrutura metodológica da ACV

Em termos metodológicos, a ACV divide-se em quatro fases distintas, conforme representado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura metodológica da avaliação do ciclo de vida



Fonte: Adaptado de ABNT (2001)

### 3.4.2 Definição de objetivo e escopo

A primeira fase consiste em definir o objetivo do estudo e as razões para sua condução.

Na definição do escopo são descritos os elementos base da pesquisa, requerendo para tanto: a definição das funções e as fronteiras (limites) do sistema a ser estudado, a unidade funcional, os procedimentos de alocação, tipos de impacto, metodologia de avaliação de impacto e interpretação a ser usada, requisitos dos dados, suposições, limitações, requisitos da

qualidade dos dados iniciais, tipo de análise crítica (se aplicável) e, tipo e formato do relatório requerido para o estudo (ABNT, 2001).

As fronteiras do sistema definem as unidades de processo incluídas na ACV, e a unidade funcional consiste na unidade de medida para assegurar a comparação de resultados em uma base comum (ABNT, 2001).

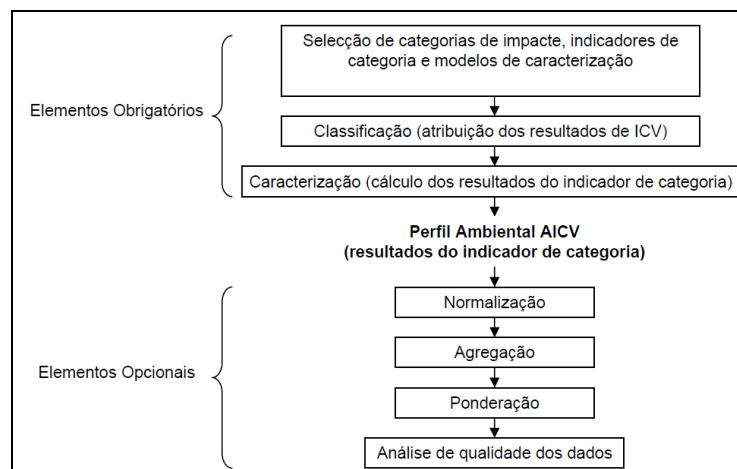
### 3.4.3 Análise do Inventário do Ciclo de Vida (ICV)

A análise do Inventário do Ciclo de Vida inicia com a coleta de dados e envolve os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e as saídas do sistema em estudo (ABNT, 2001). Esta fase envolve a construção de um balanço de massa e energia para cada etapa do Ciclo de Vida. Posteriormente, as análises de entrada e saída para cada etapa podem combinar-se resultando no Inventário do Ciclo de Vida do sistema como um todo (MCDONOUGH et al., 2004).

### 3.4.4 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV)

Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) são utilizados os resultados do Inventário do Ciclo de Vida. Nesta etapa é realizada a classificação, caracterização e ponderação dos dados. O nível de detalhamento, a escolha dos impactos e a metodologia utilizada dependerão do objetivo e do escopo do estudo (ABNT, 2001). Na Figura 3 encontram-se ilustrados os elementos obrigatórios e opcionais para a AICV.

Figura 3 – Elementos da etapa de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida



Fonte: Ferreira (2004)

Na AICV os resultados do Inventário do Ciclo de Vida são associados a uma categoria

de impacto, como por exemplo mudanças climáticas. Na caracterização, colocam-se em uma mesma base diferentes parâmetros que contribuem para a mesma categoria, por exemplo, todas as substâncias que contribuem para as mudanças climáticas são somadas, expressas como equivalente de CO<sub>2</sub>, cuja grandeza é calculada a partir do potencial de aquecimento global de cada substância (MOURAD et al., 2002).

As categorias de impacto ambiental devem considerar o uso de recursos, a saúde humana e as consequências ecológicas (ABNT, 2001). Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos de categorias de impacto ambiental.

Tabela 2 - Categorias de impacto, problemas ambientais, indicadores e resultados de ICV

<b>Categoria de Impacto Ambiental</b>	<b>Problema Ambiental</b>	<b>Indicador</b>	<b>Resultado do Inventário</b>
Mudança climática global	Aumento da temperatura média global.	Agrupar gases causadores do efeito estufa expressos como equivalentes de CO <sub>2</sub> .	Emissões de gases causadores do efeito estufa, por exemplo, CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , CFCs e HCFCs, etc, além dos limites do sistema.
Acidificação	Perda de vida aquática devido à diminuição do pH nos corpos d'água receptores.	Agrupar as cargas de todas as emissões atmosféricas e aquáticas expressas como potencial de acidificação (equivalentes de prótons de H <sup>+</sup> ).	Emissões de ácidos e substâncias que possivelmente se convertem em ácidos, por exemplo, HCl, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , etc., além dos limites do sistema.
Eutrofização	Perda de vida aquática devido à diminuição do nível de oxigênio dissolvido nos corpos d'água receptores.	Cargas de nutrientes que podem causar eutrofização e substâncias orgânicas que podem diminuir a concentração de oxigênio dissolvido durante a mineralização.	Emissão de nutrientes mais importantes, como fósforo e nitrogênio, e matéria orgânica facilmente biodegradável, por exemplo, DBO, além dos limites do sistema.
Toxicidade Humana	Efeitos adversos na saúde humana, desde ocorrência de câncer a irritação na pele e olhos.	Não existe um indicador sobre o qual haja um acordo comum. Alguns médicos utilizam um agrupamento total de toxicidade, outros utilizam subqualificações para câncer, reprodução, etc.	Emissão de várias substâncias tóxicas além dos limites do sistema. Deve-se conhecer o grau de toxicidade aproximada e seu efeito.
Recursos	Esgotamento de recursos naturais	Taxa de esgotamento de cada recurso mineral. Implica subjetividade ao combinar diferentes recursos.	Entradas de diferentes recursos ao interior dos limites do sistema.

Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

Neste contexto, importante distinguir os termos 'aspecto ambiental' e 'impacto ambiental'. Segundo Moura (2011), a relação entre aspectos e impactos é uma relação de causa e efeito: um aspecto ambiental se refere a um elemento do produto ou serviço que pode ter um impacto benéfico ou adverso sobre o meio ambiente. O aspecto ambiental envolve, por exem-

plo, uma emissão, um consumo. Já o impacto ambiental está relacionado à alteração (física, química ou biológica) que ocorre no meio ambiente como um resultado do aspecto. Exemplificando: a emissão de gases seria o aspecto ambiental cujo efeito, ou impacto ambiental, seria um aumento da concentração de gases na atmosfera.

Na etapa de classificação da AICV são identificados os dados relevantes do inventário para cada categoria específica de impacto. Os dados podem pertencer a mais de uma categoria, como por exemplo,  $\text{NO}_x$  afetam o aquecimento global e tem efeito acidificante (MCDOUGALL et al., 2004).

A etapa de caracterização requer a realização de cálculos para avaliar a significância relativa de cada fator contribuinte ao impacto global do sistema ou operação em estudo, convertendo a um indicador comum. Por exemplo, no caso do aquecimento global o indicador mais utilizado é o Potencial de Aquecimento Global expresso em equivalente de  $\text{CO}_2$ . Neste caso, cada gás do inventário é convertido em equivalente de  $\text{CO}_2$  com base em um fator específico de caracterização. Posteriormente os equivalentes de  $\text{CO}_2$  individuais se somam resultando em um indicador total (MCDOUGALL et al., 2004).

A normalização é um elemento opcional da avaliação do ICV que tem por objetivo compreender melhor a magnitude relativa de cada resultado do indicador do sistema em estudo (FERREIRA, 2004). Na ponderação, as categorias de impacto são somadas apontando um indicador único de desempenho ambiental para o produto ou serviço (MOURAD et al., 2002).

A interpretação é a fase na qual as constatações da análise do inventário e da avaliação do impacto são combinadas com o objetivo e o escopo previamente definidos, visando alcançar as conclusões e recomendações do estudo (ABNT, 2001).

Como limitações da ACV, verificam-se a disponibilidade e a qualidade dos dados necessários para o estudo, uma vez que, é fundamental para a confiabilidade e representatividade dos resultados. E, a ausência de dimensões espaciais e temporais das informações utilizadas para avaliar o impacto, podendo gerar incertezas nos resultados.

### **3.4.5 Inventário do Ciclo de Vida no gerenciamento de resíduos sólidos**

O Inventário do Ciclo de Vida do sistema de gerenciamento dos resíduos sólidos inicia a partir do momento em que um produto se torna resíduo, ou seja, ao perder seu valor, até o momento em que recupera valor, deixando de ser resíduo e passando a ser considerado novamente um produto útil. Exemplificando, no ICV de um produto é considerado todo o ciclo de vida de somente um produto. No ICV de resíduos está incluído parte do ciclo de vida de vá-

rios produtos (MCDOUGALL et al., 2004).

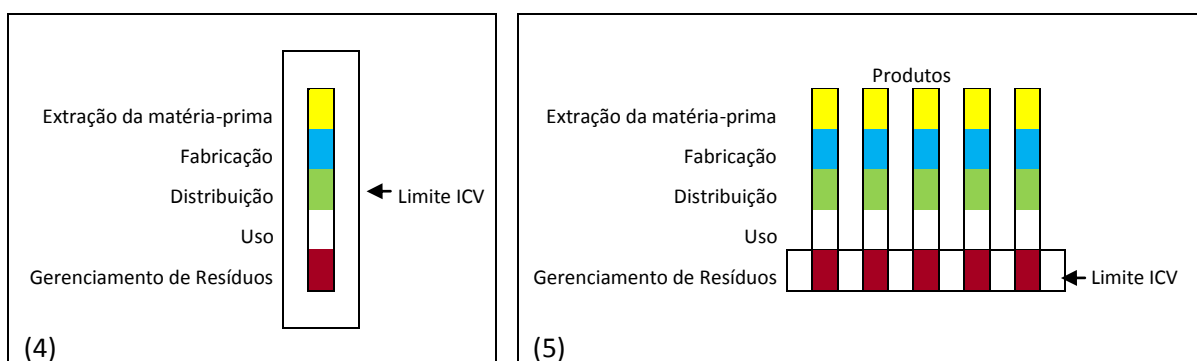
Um sistema de gerenciamento de resíduos tem por finalidade manejar os resíduos de uma determinada área. Para isso, a unidade funcional de um ICV de resíduos é constituída pelo total de resíduos gerados em uma área geográfica em um determinado tempo, por exemplo, toneladas em um ano. A unidade funcional é definida em termos de entrada no sistema, ou seja, pelos próprios resíduos (MCDOUGALL et al., 2004).

O ICV é uma das principais etapas no estudo de ACV de gerenciamento de resíduos sólidos, pois requer uma grande quantidade de dados para mostrar de que forma os mesmos podem ser tratados.

Para tanto, é importante definir as fronteiras do sistema, ou seja, determinar as etapas do processo que se encontram incluídas na ACV. A fronteira do sistema delimita a dimensão do estudo da ACV, sua extensão e o nível de detalhes do estudo.

Quando se considera o Ciclo de Vida de produtos, os inventários geralmente iniciam a partir da extração da matéria-prima e finalizam, ou se limitam, à disposição final do produto, sendo normalmente o aterro sanitário. Considerando os resíduos, estes se tornam resíduos no momento em que são descartados, perderam valor para seu dono. Nesta dimensão, o “berço” do resíduo é a cesta de resíduos no local onde foi gerado e, o “túmulo”, a sua disposição final de retorno ao meio ambiente (MCDOUGALL et al., 2004). O limite do Ciclo de Vida de produtos e de resíduos encontra-se ilustrado nas Figuras 4 e 5.

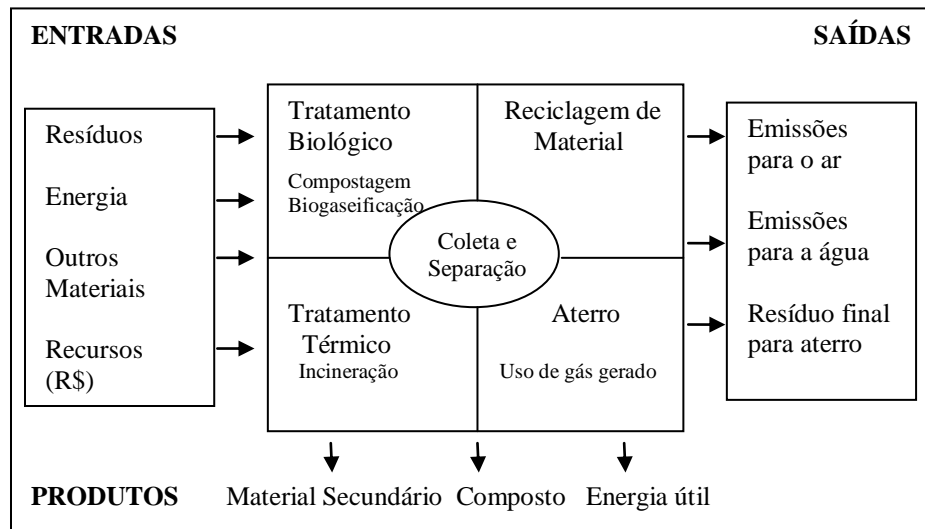
Figura 4 – Ciclo de Vida de um Produto e Figura 5 - Ciclo de Vida dos resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

As fronteiras do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida de resíduos sólidos encontram-se ilustrados de modo esquemático na Figura 6.

Figura 6 – Fronteiras do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos



Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

As entradas para o sistema de gerenciamento consistem em resíduos, energia, outros materiais e recursos financeiros. As saídas são os materiais reciclados, composto, energia útil, emissões para o ar e água, e material para aterro. Definidos os tratamentos para o sistema de gerenciamento, as entradas e as saídas são calculadas e os resultados expressos em: consumo de energia líquida, emissões atmosféricas e líquidas, volume de rejeito para aterro e material recuperado, composto (MCDUGALL, 2000).

### 3.5 Modelo IWM-2 para o ICV

Modelado por McDougall et al. (2001), o programa computacional *Integrated Solid Waste Management* (IWM-2) é utilizado para construção e análise do Inventário do Ciclo de Vida. O modelo permite simular cenários a partir de dados como geração, coleta, tratamento e disposição final de resíduos, identificar os impactos ambientais decorrentes dos modelos de gestão e os seus custos econômicos.

Num planejamento estratégico, o conceito de cenário pode ser definido como uma descrição de uma situação futura e os encaminhamentos dos acontecimentos que permitem passar a situação atual à situação futura (BLUET et al., 1970 apud GRISI, et al. 2003).

O programa IWM-2 é baseado na ISO 14040 que possibilita a representação das etapas de coleta, tratamento, compostagem, incineração, reciclagem e disposição final de resíduos (SCHULLER, 2008).

De acordo com McDougall et al. (2004) o modelo determina com precisão as cargas



ambientais e os custos econômicos de um sistema de gerenciamento de resíduos, possibilitando o desenvolvimento do Inventário do Ciclo de Vida e servindo de apoio às decisões para a gestão dos resíduos.

Em cada etapa do ciclo de vida de resíduos o programa dispõe de uma tela onde são inseridas informações como quantidade de material, número de habitantes e domicílios, demanda de energia (combustível, energia elétrica) e custos operacionais. Como resultados, o programa totaliza o consumo total de energia para o cenário proposto, emissões atmosféricas, emissões para a água e material residual. A qualidade dos dados é um dos principais fatores para garantir um resultado mais preciso.

O modelo permite construir mapas de fluxos de massa em uma representação esquemática para cada cenário, possibilitando assim realizar comparações e identificar as etapas nas quais podem ser realizadas melhorias no sistema de gerenciamento.

O programa IWM-2, escolhido para o trabalho, apresenta as seguintes vantagens:

- a) Como uma ferramenta para análise do ciclo de vida, permite fazer julgamentos racionais sobre a carga ambiental ou a processos alternativos;
- b) A análise do ciclo de vida por meio do modelo dá a base para a tomada de decisões em que um resíduo, num determinado cenário ou circunstância, tenha a gestão mais eficiente;
- c) O modelo também permite uma simulação econômica dos cenários (ROCHA, 2007).

### **3.6 Aspectos econômicos**

Os estudos econômicos no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos são importantes para garantir a qualidade e a continuidade dos serviços nos municípios.

A PNRS coloca como objetivo a universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos com a adoção de mecanismos que assegurem além da sustentabilidade operacional, a sustentabilidade financeira, cabendo ao poder público local a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010a).

O sistema de cobrança de taxa de limpeza pública é o instrumento legal que permite o suporte financeiro para a execução dos serviços. Todavia, em grande parte dos municípios brasileiros os recursos provenientes desta taxa não cobrem as despesas da prestação do serviço (TENORIO et al., 2004). Tal situação pode levar à disposição incorreta dos resíduos e re-

flete a limitação dos municípios para investimentos em novas tecnologias.

Segundo dados do SNIS, no diagnóstico do ano de 2013, dos 3.572 municípios brasileiros participantes da pesquisa, 60,5% não efetuam a cobrança pelos serviços de coleta, transporte e destinação final dos resíduos domiciliares, sendo que a prática de não cobrar ocorre, sobretudo, em municípios menores (até 100.000 habitantes). O valor médio de despesa nos municípios com o manejo de resíduos sólidos urbanos em relação à população urbana é de R\$ 105,77/hab./ano (BRASIL, 2015). Alguns dos indicadores avaliados por meio do SNIS são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Indicadores do diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos no Brasil

Faixa Populacional dos municípios	Massa de RSU coletada kg./hab./dia	Coleta seletiva %	Massa recuperada %	Cobrança pelos serviços %	Despesas com RSU R\$/hab./ano
até 30mil hab.	0,85	25,9%	7,2%	39,6%	75,21
de 30.001 a 100.000 hab.	0,90	45,3%	4,1%	45,5%	71,91
de 100.001 a 250.000 hab.	0,90	68,5%	2,3%	59,0%	76,47
de 250.001 a 1.000.000 hab.	0,96	82,4%	1,8%	62,4%	92,36
de 1.000.001 a 3.000.000 hab.	1,29	92,9%	0,8%	66,8%	118,60
acima de 3.000.001 hab.	1,12	100%	0,1%	35,4%	167,20
<b>Média total</b>	<b>1,01</b>	<b>78,6%</b>	<b>1,8%</b>	<b>53,4%</b>	<b>105,77</b>

Fonte: Adaptado de SNIS - Diagnóstico 2013 (BRASIL, 2015)

Nota: RSU = estimativa da coleta de resíduos sólidos domiciliares e públicos no País; a coluna “coleta seletiva” refere-se à ocorrência de coleta seletiva de resíduos sólidos domiciliares nos municípios que responderam a pesquisa; “massa recuperada” indica a média de resíduos sólidos recicláveis recuperados em relação à massa de RSU coletada; “cobrança pelos serviços” corresponde ao percentual de município com cobrança de taxa pelo serviço de manejo de RSU; “despesas com RSU” corresponde ao indicador médio de despesa com o manejo de RSU em relação a população urbana.

O valor contratual médio para a disposição de resíduos sólidos urbanos em aterro sanitário encontra-se estimado em R\$ 40,37/t. Para municípios com menos de 100.000 habitantes o valor é de R\$ 54,25/t. Já o custo médio da coleta seletiva é de R\$ 215,59/t (IPEA, 2012).

Embora se reconheça que os dados possam não ser tão precisos, o aspecto financeiro deve ser avaliado no gerenciamento dos resíduos sólidos, visto os gastos elevados, a disponibilidade inadequada de resíduo ainda presente no Brasil e o baixo índice de municípios com cobrança pela prestação dos serviços, a fim de alcançar soluções que integrem a questão econômica com o aspecto ambiental.

Em geral, a cobrança pela coleta e disposição final dos resíduos não está vinculada a quantidade gerada pelo usuário e as despesas são pagas com receitas independentes. A alternativa seria como ocorre em outros países, o preço unitário, por unidade de resíduo, porém outro problema que surge é a disposição ilegal de resíduos, reduzindo a eficiência deste tipo de sistema (BRUSADIN, 2003).

Apesar da cobrança da taxa ser um mecanismo legítimo que permite a sustentabilidade

do sistema público, parte dos especialistas concorda que a medida, como um sistema isolado, não garante a longo prazo o adequado gerenciamento dos RSU. É necessária a existência de planos que possibilitem a gestão voltada para a redução, reutilização e reciclagem, com a incorporação da responsabilidade compartilhada de toda a cadeia produtiva incluindo os resíduos pós-consumo (DEMAJOROVIC, 2004).

Segundo McDougall et al. (2004), os aspectos econômicos durante o ciclo de vida dos resíduos sólidos incluem os custos com a coleta, separação, tratamento, transporte e disposição final. Os ganhos que podem ser obtidos no sistema são provenientes da venda de material reciclável, da compostagem e energia útil.

Da mesma forma, Teixeira (2004), especifica que os custos com a coleta abarcam fatores como o tipo de coleta, a quantidade e o tipo de resíduo coletado, a área geográfica e a frequência da coleta, o transporte e o número de veículos. Dependendo do sistema de coleta, alteram-se as opções de tratamento.

## **4 METODOLOGIA**

### **4.1 Natureza e tipo de pesquisa**

A presente pesquisa é do tipo exploratória e descritiva, não-experimental. De acordo com Köche (2012), a pesquisa exploratória consiste em um processo de investigação que busca identificar a natureza do fenômeno e apontar as características das variáveis que se quer estudar. Esclarecendo que, variáveis são os aspectos, propriedades, características ou fatores, mensuráveis, distinguíveis em um objeto de estudo. Neste tipo de pesquisa se trabalha com o levantamento da presença das variáveis e da sua caracterização quantitativa ou qualitativa.

Segundo Gil (2009), este tipo de pesquisa tem como objetivo principal o aprimoramento de ideias e comumente envolve o levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que tiveram experiência com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão.

Já a pesquisa descritiva, ou chamada de *ex pos facto*, segundo Köche (2012), estuda a relação entre as variáveis de um fenômeno. Neste caso, o estudo cria e produz uma situação com determinadas condições e com poder de manipulação das variáveis independentes, constatando o comportamento das mesmas posteriormente a sua manifestação.

A palavra método, do grego *methodos*, significa ‘caminho para chegar a um fim’. A metodologia é o conjunto de procedimentos estabelecidos para realizar uma pesquisa. As técnicas utilizadas são uma forma segura e ágil para o desenvolvimento destas pesquisas (GERHARDT et al., 2009). Para tanto, utilizam-se ferramentas que permitam coletar, organizar e analisar os dados.

No presente estudo será utilizado o programa computacional IWM-2 como ferramenta para auxiliar na aplicação da técnica de ACV.

### **4.2 Etapas da pesquisa**

Para alcançar os objetivos propostos, o estudo encontra-se dividido em quatro etapas principais.

#### **4.2.1 Etapa 1 – Levantamento de dados**

A primeira etapa do trabalho iniciou com a pesquisa bibliográfica exploratória, bus-

cando informações na literatura técnica e científica, onde foram consultadas obras de referência, teses, dissertações e periódicos científicos, verificando os problemas, as técnicas e as soluções estudadas por diversos autores, de diferentes áreas, relacionadas ao tema.

No levantamento de dados do município de Garibaldi, realizou-se a pesquisa documental junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente em diagnósticos disponíveis e registros do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos.

Foram realizadas visitas à unidade de triagem da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Garibaldi para conhecer o processo de separação. No local, procedeu-se a identificação dos tipos de resíduos selecionados e a consulta aos registros de quantidades mensais de material comercializado pela mesma, bem como a destinação.

A determinação da composição gravimétrica dos resíduos da coleta não seletiva e do rejeito proveniente da etapa de triagem foi realizada no mês de julho de 2014, seguindo o método de quarteamento, conforme descrito por Pessin et al. (2002).

Para a determinação da composição gravimétrica da coleta de resíduos mistos, provenientes da coleta não seletiva, foram selecionados dois veículos: um com roteiro de coleta na área central da cidade e outro nos bairros, ambos com capacidade de 12 m<sup>3</sup>.

Para a determinação da composição do rejeito, proveniente da unidade de triagem da cooperativa de catadores, foi selecionada uma amostra correspondente a um contêiner com capacidade de 12 m<sup>3</sup>, em um dia normal de recolhimento do material para a unidade de transbordo.

Concluído o quarteamento, em uma amostra final de 200 litros cada, os componentes presentes foram identificados e diferenciados nas seguintes categorias: matéria orgânica (casca, restos de alimentos, resíduo verde de poda), plásticos, papel/papelão, vidros, metais, material têxtil, rejeitos (papel higiênico, contaminantes biológicos, outros).

A partir dos dados da composição dos resíduos mistos (coleta não seletiva), da composição do rejeito e do levantamento do material comercializado pela cooperativa, obteve-se o panorama geral da composição gravimétrica do RSU coletados no município.

Ainda, com base na composição gravimétrica dos resíduos mistos e do rejeito, foi elaborada a composição do material enviado para aterro sanitário. Os dados encontram-se apresentados detalhadamente na seção 5.1.1.

Nesta etapa, foi definido o objetivo e o universo da pesquisa, as fronteiras do sistema, para a condução do estudo.

#### 4.2.2 Etapa 2 - Sistematização de cenários

Para a sistematização dos cenários, inicialmente foram identificadas as etapas do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município, a fim de determinar o cenário atual, ou base.

Na definição do cenário base, foi considerado o sistema de gerenciamento de resíduos adotado em Garibaldi no ano de 2013, por tratar-se de informações atualizadas. As principais etapas verificadas foram a coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação e disposição final, cuja descrição encontra-se apresentada detalhadamente na seção 5.1.

Com o levantamento de dados, foi definido o fluxo de massa, em t/ano, dos resíduos em cada etapa do cenário base. Também, foi calculada a porcentagem dos resíduos coletados e sua destinação final.

Para a proposição de novos cenários foram consideradas as metas da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e as metas do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Garibaldi, visando minimizar a quantidade de resíduos enviada para aterro. Também, as experiências relatadas na literatura científica quanto aos processos tecnológicos disponíveis para tratamento e disposição final. A elaboração dos cenários está apresentada no capítulo 5.

#### 4.2.3 Etapa 3 – Inventário do Ciclo de Vida e aplicação do Modelo IWM-2

Na etapa do ICV foram quantificadas todas as entradas (resíduos, energia, materiais) e saídas (emissões para o ar, para a água e resíduo sólido final) do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

Nesta etapa, considerou-se como início do ciclo de vida o momento em que o resíduo foi gerado, ou seja, disposto em contêiner ou cesto, até o momento em que retorna ao ambiente na forma de rejeito, material secundário, composto ou energia. A unidade funcional utilizada foi tonelada de resíduos por ano (t/a).

Para o Inventário do Ciclo de Vida foi utilizado o programa computacional *Integrated Solid Waste Management (IWM-2)*, versão 2.50-1, onde o sistema foi alimentado com informações sobre a quantidade e a composição dos resíduos coletados no município, consumo de energia e matérias-primas utilizadas, conforme detalhado na seção 5.3.

#### 4.2.4 Etapa 4 – AICV e análise final dos cenários

Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida foram utilizados indicadores ambientais classificados por categoria de impacto. As categorias selecionadas foram com base em Den Boer et al. (2005a, 2005b) e encontram-se apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV

Categoria de Impacto Ambiental	Resultado do ICV relacionado à categoria de impacto		Resultado do Indicador - expresso em equivalente
	Substância emitida para a atmosfera	Substância emitida para a água	
<b>Mudanças climáticas (MdCl)</b>	CO <sub>2</sub> ; N <sub>2</sub> O; CH <sub>4</sub>	-	kg CO <sub>2</sub> eq.
<b>Formação de foto-oxidantes (FoFO)</b>	CO; CH <sub>4</sub> ; NO <sub>x</sub> ; SO <sub>2</sub>	-	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.
<b>Acidificação (Acid.)</b>	Amônia, NO <sub>x</sub> ; SO <sub>2</sub>	-	kg SO <sub>2</sub> eq.
<b>Eutrofização (Eutr.)</b>	Amônia, NO <sub>x</sub>	Amônio, DQO, Nitrato, Fosfato	kg PO <sub>4</sub> eq.
<b>Toxicidade Humana (ToHu)</b>	Amônia, Arsênico, Cadmio, Cromo, Cobre, Dioxinas, HCl, HF, Chumbo, Mercúrio, Níquel, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , Zinco	Arsênico, Bário, Cadmio, Cromo, Cobre, Dioxinas, Fluoreto, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Fenóis, Zinco	kg C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> eq.

Fonte: Adaptado de DEN BOER et al. (2005a, 2005b)

A partir dos resultados gerados no Inventário do Ciclo de Vida, por meio do programa IWM-2, de substâncias emitidas para atmosfera e para a água (Apêndice A), foram realizados os cálculos dos indicadores ambientais conforme descrito por Den Boer et al. (2005b).

O cálculo para o indicador de Mudanças Climáticas, por exemplo, foi de acordo com a equação indicada a seguir.

$$MdCl = \sum_{i=1}^n PAG_i \times m_i$$

Onde:

MdCl = resultado do indicador, expresso em kg CO<sub>2</sub> equivalente;

PAG<sub>i</sub> = Potencial de Aquecimento Global da substância i (Anexo A);

m<sub>i</sub> = massa da substância i emitida em kg.

O resultado da fórmula de cálculo aplicada em cada categoria de impacto foi normalizado, sendo o valor final dividido pelo fator de normalização sugerido por Guinée et al. (2001), apresentado no Anexo B, resultando em termos de equivalentes populacionais (EP – habitantes).

Para possibilitar a comparação entre as categorias de impacto nos cenários avaliados, os valores normalizados foram divididos pelo número de habitantes do município, resultando o valor em porcentagem, conforme resultados apresentado na seção 6.3. Os cálculos para todos os indicadores ambientais foram realizados por meio de planilhas eletrônicas em Excel elaboradas pela Autora.

Além das categorias foram aplicados mais três indicadores para avaliação dos cenários, com base em Reichert (2013), a citar:

- a) Uso de energia: equivalente energético em Giga Joule (GJ) líquido total do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos nos cenários, cujo valor provém do Inventário realizado com o programa IWM-2;
- b) Disposição de resíduos sólidos “secos” potencialmente recicláveis dispostos em aterro sanitário;
- c) Disposição de resíduos sólidos “orgânicos” potencialmente recicláveis dispostos em aterro sanitário.

A metodologia de cálculo dos indicadores encontram-se no Apêndice B. Os resultados dos cálculos dos indicadores ambientais estão apresentados nas seções 6.2 e 6.3.

Na avaliação final dos cenários, foram identificados os que apresentaram o menor potencial de impacto ambiental, como apoio à tomada de decisão ao modelo que melhor atenderia a uma situação real e de planejamento do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de Garibaldi.

#### **4.2.5 Etapa 5 – Análise de custos**

Embora o programa IWM-2 permite avaliar os custos econômicos dos cenários simulados, o mesmo não foi utilizado neste trabalho. Para a análise de custos dos cenários, foi realizado um levantamento das despesas reais com o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos junto à Prefeitura de Garibaldi, definindo assim os custos do cenário base, referente ao ano de 2013, conforme dados apresentados na seção 5.5.



Para os demais cenários, a estimativa de custos para a avaliação econômica foi elaborada com base em Tsilemou e Panagiotakopoulos (2005), método utilizado também por Den Boer et al. (2005a) e Reichert (2013), por meio de curvas de custos. As fórmulas aplicadas para a estimativa encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Curvas de custos para unidades de tratamento e disposição final de resíduos

Unidade	Investimento Inicial (R\$)	Custo de Operação (R\$/t)	Intervalo de validade (t/ano)
Incineração	$y = 5.000 * x^{0,8}$	$y = 700 * x^{-0,3}$	$20.000 \leq x \leq 600.000$
Triagem semi-mecanizada	$y = 1.500 * x^{0,8}$	$y = 4.000 * x^{-0,4}$	$7.500 \leq x \leq 250.000$
Digestão anaeróbia	$y = 34.500 * x^{0,55}$	$y = 17.000 * x^{-0,6}$	$2.500 \leq x \leq 100.000$
Compostagem	$y = 2.000 * x^{0,8}$	$y = 2.000 * x^{-0,5}$	$20.000 \leq x \leq 120.000$

Fonte: Adaptado de Tsilemou e Panagiotakopoulos (2005)

Destaca-se que, apesar do método ter sido desenvolvido para países europeus e a quantidade de resíduos dos cenários avaliados na presente pesquisa ficar fora do intervalo de validade, estudo desenvolvido no Brasil, por Reichert (2013), demonstrou que os valores resultantes deste método ficaram próximos às despesas reais.

Assim, os curvas de custos foram aplicadas aos cenários simulados para estimar os investimentos iniciais e os custos operacionais para as etapas de triagem semi-mecanizada, tratamento térmico (incineração), tratamento biológico (digestão anaeróbia) e compostagem.

Os custos de coleta (porta-a-porta), transbordo, transporte e disposição final de rejeito em aterro sanitário foram calculados a partir dos dados do cenário base, considerando o fluxo de massa de resíduos em cada etapa dos cenários.

As etapas consideradas em cada cenário foram: coleta seletiva de resíduo sólido, coleta de resíduos mistos, triagem de resíduos seletivos e de resíduos mistos, transbordo, transporte de rejeito da unidade de triagem até a unidade de transbordo, tratamentos (compostagem, digestão anaeróbia, incineração), transporte até a destinação final e disposição final em aterro sanitário.

Os valores em cada cenário foram calculados por meio de planilhas de custos elaboradas pela Autora, por meio do programa computacional Excel, sendo considerados os custos de implantação dos processos, prevendo o prazo de amortização, e de operação.

Para todos os cenários, foram calculadas a despesas totais em reais por ano (R\$/ano) e em reais por tonelada (R\$/t). No valor final de custo operacional foi incluído o custo do investimento inicial, prevendo a amortização em um prazo de 12 meses nos cenários 2, 3 e 4; e, um prazo de 15 meses nos cenários 5 e 6. Os resultados encontram-se na seção 6.4.

## 5 LEVANTAMENTO DE DADOS E ELABORAÇÃO DE CENÁRIOS

De acordo com informações obtidas junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Prefeitura de Garibaldi e consulta a trabalhos já realizados no município, como o Plano Ambiental, o Plano de Saneamento Básico e o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, apresentam-se a seguir os dados que caracterizam a área de estudo.

### 5.1 Caracterização da área de estudo

Com uma população de 32.578 habitantes (IBGE, 2013), Garibaldi está localizada na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul, a 110 km de Porto Alegre, capital do Estado.

O serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares atende 100% da área municipal (urbano e rural), sendo realizado por empresa terceirizada, sob coordenação e fiscalização da Secretaria Municipal de Meio Ambiente.

A coleta de resíduos seletiva e a coleta de resíduos mistos atende toda a população residente na área urbana. Na área rural, ocorre apenas a coleta seletiva de resíduos, sendo incentivada a prática da compostagem caseira. O sistema é do tipo porta-a-porta e o recolhimento é realizado por caminhões coletores de carga traseira, sendo do tipo “baú” para resíduos seletivos e, “compactador” para os mistos, com uma equipe de três garis por veículo.

O município implementou em alguns locais da zona urbana contêineres para o acondicionamento dos resíduos na forma de uma iniciativa “piloto”. Cada ponto possui identificado um contêiner para resíduo seletivo e um para mistos, neste último a coleta utiliza sistema automatizado.

Os resíduos seletivos são destinados para uma unidade de triagem da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Garibaldi, situada na sede do município, sendo o material reciclável posteriormente comercializado. Os resíduos mistos e os rejeitos da unidade de triagem são encaminhados à central de transbordo da empresa coletora localizada no município de Barão (RS), a 20 km de Garibaldi. Posteriormente, são enviados ao aterro sanitário situado em Minas do Leão (RS), a 180 km da cidade.

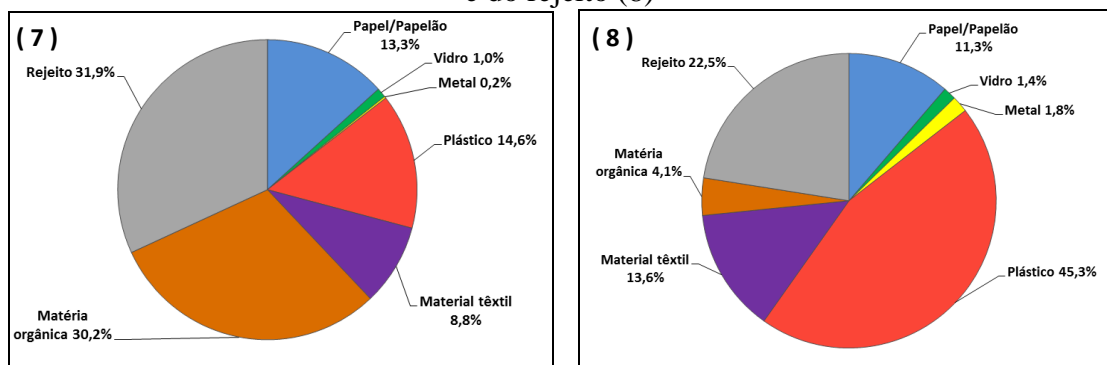
Todos os veículos que realizam as coletas são pesados em balança rodoviária, bem como os rejeitos provenientes da etapa de triagem e as cargas encaminhadas ao aterro sanitário. Na prática, verifica-se que são recolhidos os resíduos sólidos provenientes de domicílios, comércio, instituições, prestadores serviços e da limpeza de logradouros públicos, configurando assim os resíduos sólidos urbanos.

### 5.1.1 Composição gravimétrica dos RSU coletados

A composição gravimétrica é a porcentagem em massa de cada componente presente numa fração amostral de resíduos. O conhecimento desta composição é importante para iniciar qualquer estudo de viabilidade de implantação de sistema de tratamento e de disposição final de resíduos (MASSUKADO, 2004).

Nas Figuras 7 e 8 é apresentada a composição gravimétrica dos resíduos sólidos mistos coletados (coleta não seletiva) e do rejeito proveniente da unidade de triagem, respectivamente.

Figuras 7 e 8 – Composição gravimétrica dos resíduos sólidos da coleta de resíduos mistos (7) e do rejeito (8)



Fonte: Elaborado pela autora.

Na composição dos resíduos mistos coletados (Figura 7) o rejeito apresenta-se com a maior fração percentual, em um valor de 31,9%, seguida de matéria orgânica, com 30,2%. Materiais como plástico (14,6%), papel/papelão (13,3%), têxtil (8,8%), vidro (1,0%) e metal (0,2%), também são encontrados. Esclarecendo que, como rejeito foram considerados resíduos sanitários (papel higiênico, fraldas, absorventes), minerais (cerâmica), outros resíduos não especificados ou contaminados. Também, foram encontrados resíduos perigosos como eletro-eletrônico e de serviços de saúde (contaminante biológico).

Na composição gravimétrica dos rejeitos (Figura 8), cujo material consiste na sobra da etapa de triagem, verificou-se que o plástico apresentou a maior porcentagem, com 45,3%, seguido do rejeito (22,5%), material têxtil (13,6%), papel/papelão (11,3%), matéria orgânica (4,1%), metal (1,8%) e vidro (1,4%).

Para os resíduos sólidos provenientes da coleta seletiva, nesta pesquisa, serão considerados os registros da quantidade de resíduos comercializados pela cooperativa de catadores que recebe 100% do material recolhido no município. Na Tabela 6, são apresentados os resul-

tados da identificação do material seletivo comercializados pela cooperativa, em porcentagem.

Tabela 6 – Resíduos sólidos seletivos comercializados pela cooperativa

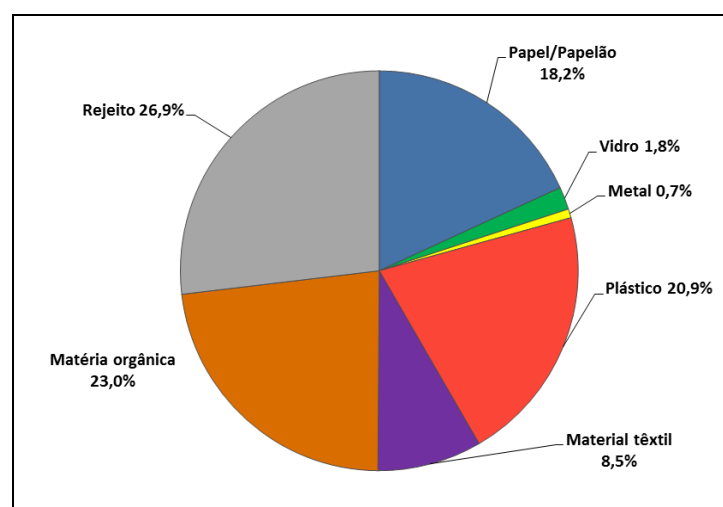
<b>Componente</b>	<b>Porcentagem comercializada (%)</b>
Matéria orgânica	0,0
Vidro	7,5
Metal	2,8
Papel/papelão	58,4
Material têxtil	0,0
Plástico	31,4
Rejeito	0,0
<b>Total</b>	<b>100</b>

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Garibaldi (2013).

Na identificação do material comercializado, o papel representa a maior fração, com 58,4%, seguido de plástico (31,3%), vidro (7,5%) e metal (2,8%). O material têxtil, matéria orgânica e outros não especificados, são descartados como rejeito.

A partir da composição dos resíduos mistos (Figura 7), da composição do rejeito (Figura 8) e do levantamento do material comercializado pela cooperativa (Tabela 6), os resultados sistematizados resultaram na composição média gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no município de Garibaldi, conforme apresentado na Figura 9.

Figura 9 - Composição gravimétrica média dos RSU coletados no município de Garibaldi

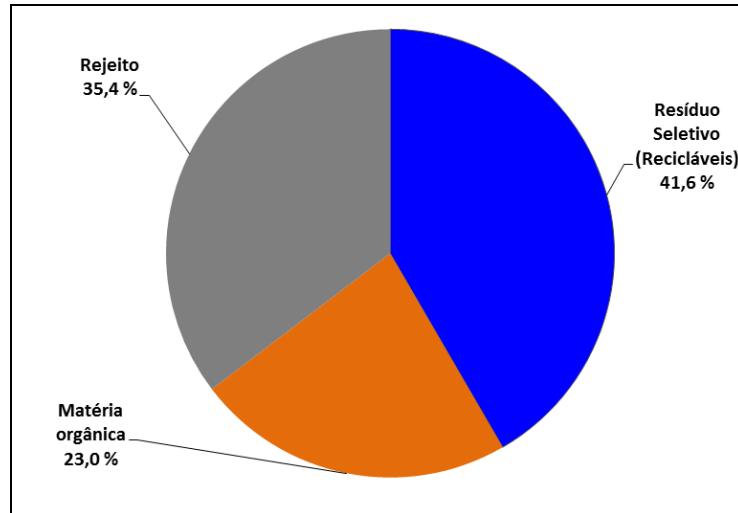


Fonte: Elaborado pela autora.

Como panorama geral da composição gravimétrica para o total de resíduos sólidos coletados no município, considerando a matéria orgânica, os resíduos recicláveis e os rejeitos,

tem-se como resultado a Figura 10.

Figura 10 – Panorama geral da composição gravimétrica dos RSU



Fonte: Elaborado pela autora.

Na composição geral, os resíduos recicláveis representam 41,6% da quantidade total de resíduos coletados no sistema público, a matéria orgânica 23,0% e o rejeito somado ao material têxtil, 35,4%.

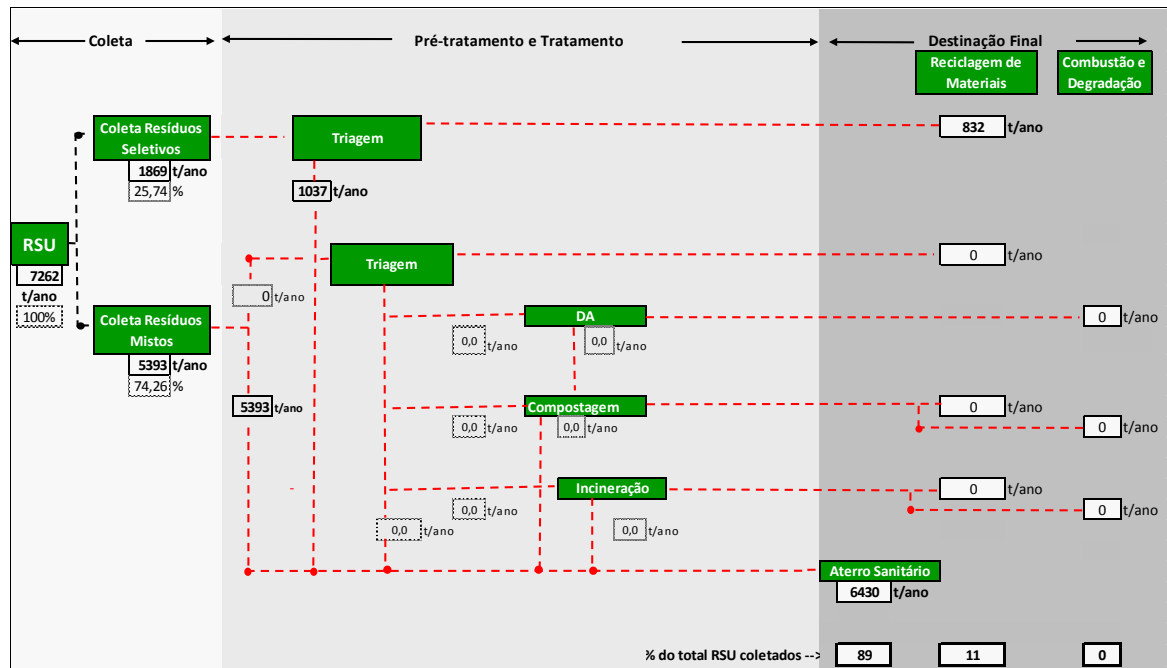
### 5.1.2 Fluxo de massa do cenário CEN 1BASE

Segundo dados do Município, no ano de 2013 foi coletada a quantidade de 7.262 toneladas de resíduos sólidos urbanos. Deste montante, 6.430 toneladas foram dispostos em aterro sanitário, representando 89% do total. A média de resíduos seletivos coletados foi de 156 t/mês, e de resíduos mistos, 449 t/mês, apontando uma geração média de 223 kg/hab./ano. O índice de reaproveitamento por meio da reciclagem foi de 11% do total de RSU recolhido no ano.

Na unidade de triagem foram recebidos 1.869 toneladas de resíduos no ano. Destes, 832 toneladas foram efetivamente reciclados, representando um índice de aproveitamento de 44,5% do total de material recebido pela cooperativa. O rejeito que sobra da etapa de triagem corresponde a 55,5%.

Na Figura 11, apresenta-se o fluxo de massa dos RSU gerenciados em Garibaldi no ano base desta pesquisa, considerando a coleta, o tratamento e a destinação final.

Figura 11 – Fluxo de massa do cenário CEN 1BASE do município de Garibaldi



Fonte: Elaborado pela autora a partir de Garibaldi (2013), adaptado de Reichert (2013).

## 5.2 Cenários propostos

De forma a alcançar os objetivos desta pesquisa, foram construídos seis cenários, dos quais um é o Cenário Base (cenário atual dos RSU gerenciados em Garibaldi, descrito anteriormente), e os demais foram elaborados considerando uma melhoria progressiva na reciclagem efetiva dos resíduos, com diferentes sistemas de tratamento.

As proposições apresentam como principais etapas de gerenciamento a coleta, o tratamento e a disposição final. Nos cenários, não foi considerada a recuperação energética no aterro sanitário devido à ênfase na recuperação de material por diferentes tipos de tratamentos, visando reduzir a quantidade de resíduos disposta em aterro, indo ao encontro da Política Nacional de Resíduos Sólidos.

Para tanto, observou-se as metas do Plano Nacional de Resíduos Sólidos de reduzir 70% dos resíduos dispostos em aterro na região Sul do País (BRASIL, 2012). Os cenários buscam refletir esta meta a nível municipal.

Na Tabela 7, são apresentados os cenários com a respectiva descrição.

Tabela 7 - Identificação dos cenários propostos

<b>Cenários</b>	<b>Descrição</b>	<b>Etapas do sistema de gerenciamento</b>
<b>CEN 1BASE</b>	Cenário base de Garibaldi, referente ao ano 2013	Coleta de resíduos seletivos e de resíduos mistos. Triagem e reciclagem de resíduos seletivos. Disposição final de rejeito e resíduos mistos em aterro sanitário.
<b>CEN 2TOT</b>	Cenário com triagem otimizada (triagem semi-mecanizada)	Coleta de resíduos seletivos e de resíduos mistos. Triagem de resíduos seletivos otimizada. Reciclagem de resíduos seletivos. Disposição final de rejeito e resíduos mistos em aterro sanitário.
<b>CEN 3CTRAS</b>	Cenário com coleta de resíduos seletivos e triagem otimizados (melhoria da separação na fonte geradora; triagem semi-mecanizada)	Coleta de resíduos seletivos otimizada. Coleta de resíduos mistos. Triagem de resíduos seletivos otimizada. Reciclagem de resíduos seletivos. Disposição final de rejeito e resíduos mistos em aterro sanitário.
<b>CEN 4TRCAS</b>	Cenário com triagem de resíduos seletivos e mistos, e com compostagem	Coleta de resíduos seletivos otimizada. Coleta de resíduos mistos. Triagem de resíduos seletivos e mistos. Reciclagem de resíduos seletivos. Compostagem de matéria orgânica. Disposição final de rejeito em aterro sanitário.
<b>CEN 5TRDAS</b>	Cenário com triagem de resíduos seletivos e mistos, e com digestão anaeróbia	Coleta de resíduos seletivos otimizada. Coleta de resíduos mistos. Triagem de resíduos seletivos e mistos. Reciclagem de resíduos seletivos. Digestão Anaeróbia da matéria orgânica. Disposição final de rejeito em aterro sanitário.
<b>CEN 6TRIAS</b>	Cenário com triagem de resíduos seletivos e mistos, compostagem e incineração	Coleta de resíduos seletivos otimizada. Coleta de resíduos mistos. Triagem de resíduos seletivos e mistos. Reciclagem de resíduos seletivos. Compostagem de matéria orgânica. Incineração de rejeito da triagem. Disposição final de rejeito em aterro sanitário.

Fonte: Elaborado pela autora.

Para todos os cenários propostos considerou-se a composição gravimétrica dos RSU de Garibaldi (apresentado na Figura 9), a quantidade total de resíduos gerenciada anualmente (7.262 t/ano) e o sistema de coleta do tipo porta-a-porta.

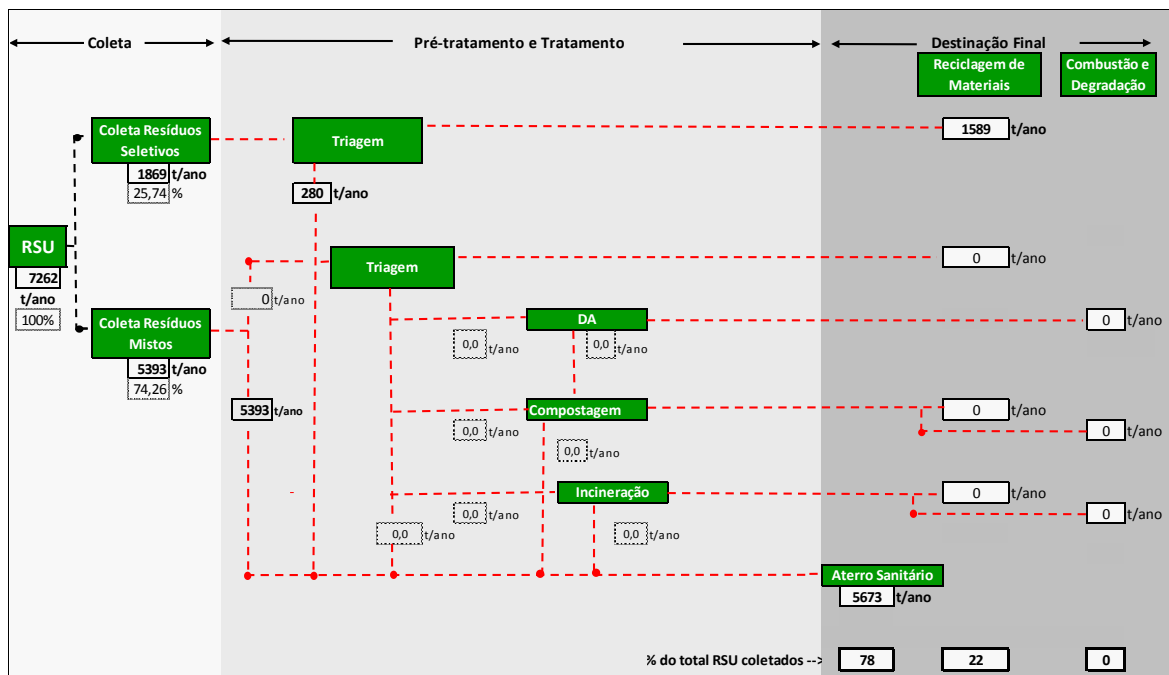
### 5.2.1 Fluxo de massa do cenário CEN 2TOT

No cenário CEN 2TOT propõe-se uma otimização da reciclagem de material proveniente da coleta de resíduos seletivos. Neste cenário, considera-se que somente o rejeito e a matéria orgânica presente, que juntos representam 15% do total/ano recolhido na coleta seletiva, sejam encaminhados para aterro sanitário. Assim, o total de resíduos seletivos reciclados no

cenário representa 22% do total coletado/ano. Lembrado que, no cenário CEN 1BASE este valor é de 11%.

A quantidade total de material destinado para aterro sanitário no cenário é de 5.673 t/ano, representando 78% do total de resíduos coletados. O fluxo de massa do cenário 2 encontra-se na Figura 12.

Figura 12 – Fluxo de massa do cenário CEN 2TOT



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Reichert (2013).

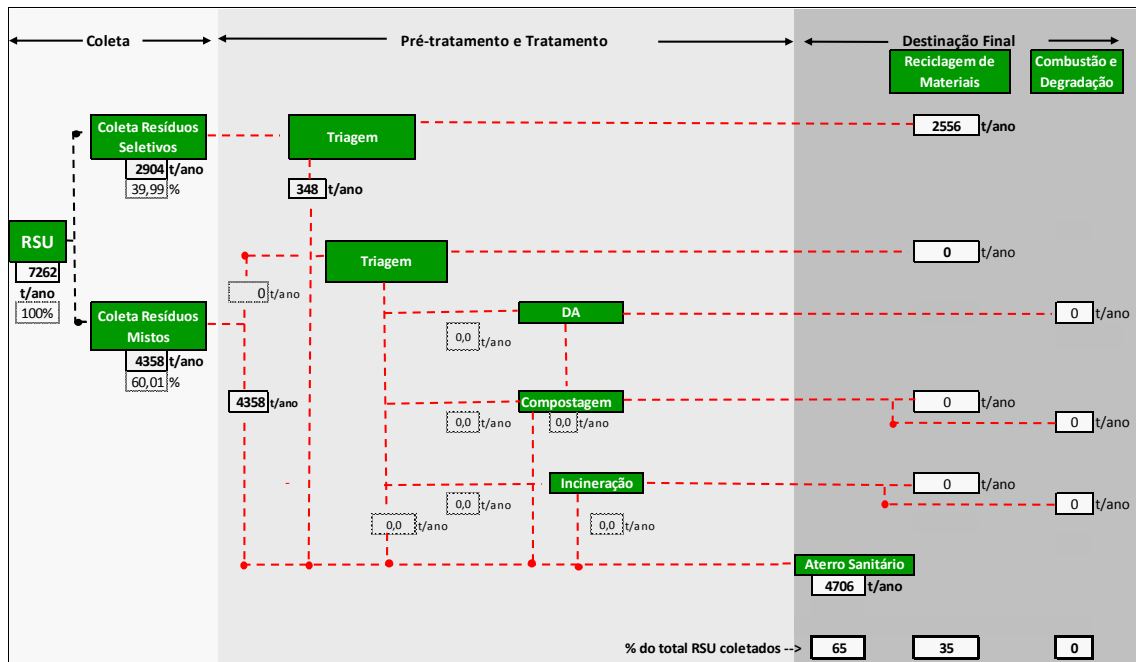
### 5.2.2 Fluxo de massa do cenário CEN 3CTRAS

No cenário 3, com base na composição gravimétrica dos RSU coletados no município, sugere-se que ocorra uma melhoria na separação do material na fonte geradora, consequentemente, um aumento do índice de resíduos seletivos encaminhados para a triagem e reciclagem. Assim, a coleta de resíduos seletivos apresentaria 2.904 t/ano, com 12% (348 t/ano) de rejeito e 35% (2.556 t/ano) de material efetivamente reciclado. E, a coleta de resíduos mistos apresentaria 4.358 t/ano.

Do total de resíduos gerenciados, 65% (4.706 t/ano) ainda teriam como destino o aterro sanitário. O fluxo de massa do cenário 3 encontra-se na Figura 13.



Figura 13 – Fluxo de massa do cenário CEN 3CTRAS



Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Reichert (2013).

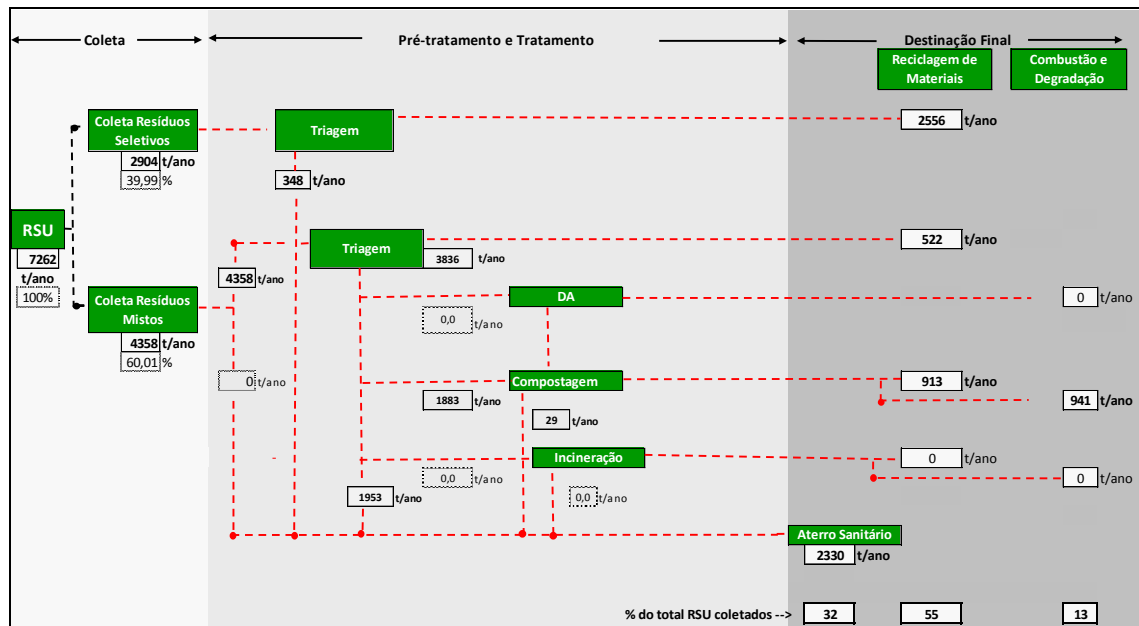
### 5.2.3 Fluxo de massa do cenário CEN 4TRCAS

No cenário 4, seguiu-se considerando a melhoria na separação na fonte geradora e na triagem de resíduos seletivos, propondo a triagem do material proveniente da coleta de resíduos mistos e a compostagem para a matéria orgânica.

Assim, com base na composição gravimétrica, do total de 4.358 t/ano de resíduos mistos, aproximadamente 12% (522 t/ano) representa o material que pode ser encaminhado para a reciclagem, 43,2% (1.883 t/ano) consiste em matéria orgânica para a compostagem e, 44,8% como rejeito.

Com base em McDougall et al. (2004), na etapa de compostagem adotou-se uma perda de massa em torno de 50% (941 t/ano). Considerou-se um índice de rejeito de 3% (29 t/ano) resultando em 913 t/ano de composto. A quantidade de rejeito enviada para aterro sanitário representa 32% (2.330 t/ano) do total de resíduos coletados. Na Figura 14 ilustra-se o fluxo de massa do cenário 4.

Figura 14 – Fluxo de massa do cenário CEN 4TRCAS



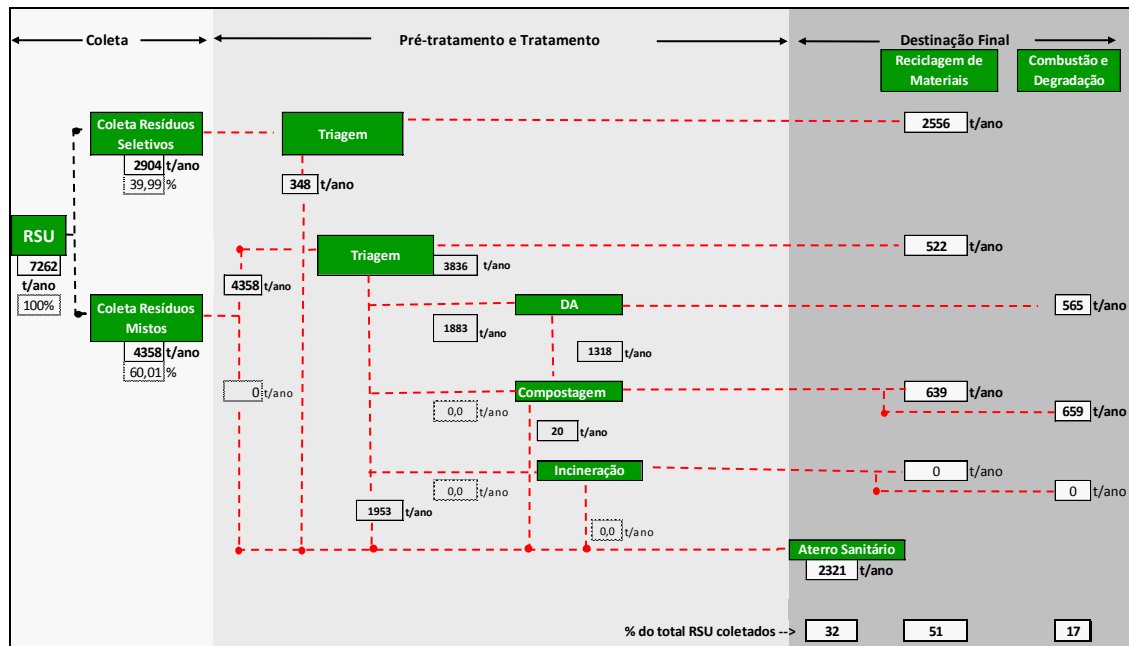
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Reichert (2013).

### 5.2.4 Fluxo de massa do cenário CEN 5TRDAS

No cenário 5 propõe-se o tratamento da matéria orgânica por digestão anaeróbia seguida por compostagem. Assim, do total de 4.358 t/ano de resíduos mistos coletados, 43,2% (1.883 t/ano) consiste em matéria orgânica que pode ser destinada ao tratamento biológico.

Com base em McDougall et al. (2004), para o tratamento biológico adotou-se uma perda de massa de 60% (1.224 t/ano). Considerou-se um índice de rejeito de 3% (20 t/ano) resultando em 639 t/ano de composto. A quantidade total de rejeito enviada para aterro sanitário representa aproximadamente 32% (2.321 t/ano) dos resíduos coletados. A Figura 15 ilustra o fluxo de massa do cenário 5.

Figura 15 – Fluxo de massa do cenário CEN 5TRDAS



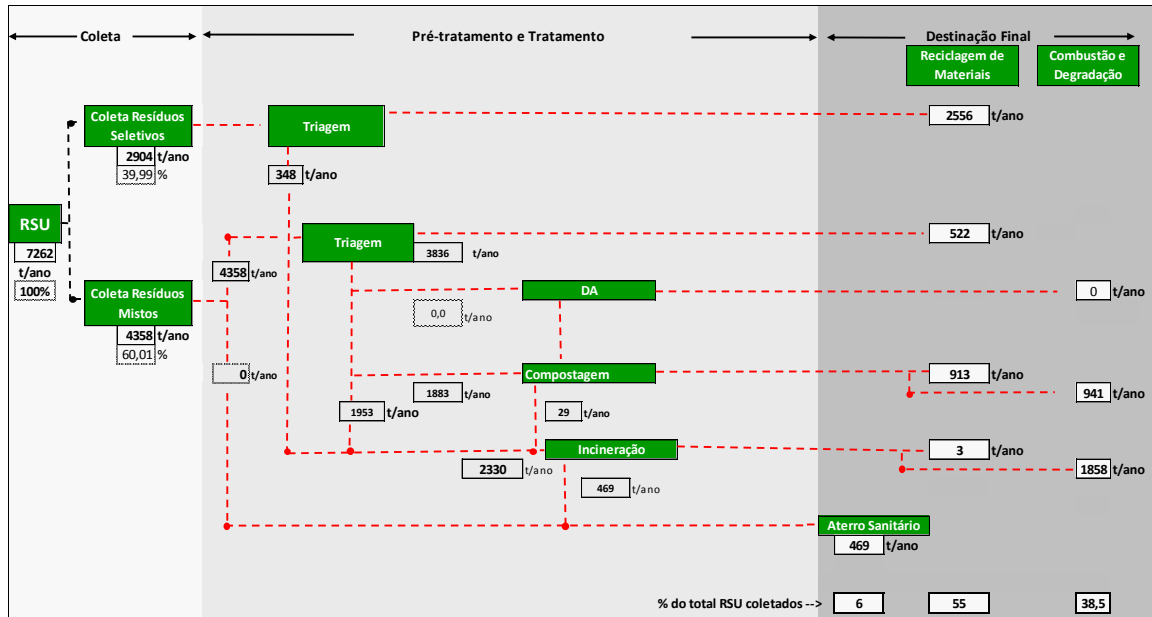
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Reichert (2013).

### 5.2.5 Fluxo de massa do cenário CEN 6TRIAS

Para o cenário 6, sugere-se o tratamento biológico (compostagem) para a matéria orgânica e o tratamento térmico (incineração) para os rejeitos das etapas de triagem de resíduos seletivos e mistos, e do rejeito da compostagem.

Com base em McDougall et al. (2004), para o tratamento térmico adotou-se uma perda de massa de aproximadamente 79% e, 20% de rejeito (cinzas). O total de rejeito disposto em aterro sanitário representa 6% (469 t/ano) do total de resíduos coletados. O fluxo de massa do cenário 6 encontra-se na Figura 16.

Figura 16 – Fluxo de massa do cenário CEN 6TRIAS



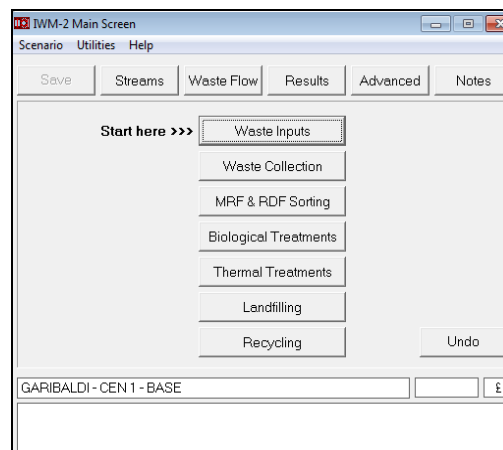
Fonte: Elaborado pela autora, adaptado de Reichert (2013).

### 5.3 ICV: Modelo IWM-2

O Inventário do Ciclo de Vida foi realizado para os seis cenários propostos utilizando-se o programa computacional IWM-2 (McDougall et al., 2001), conforme descrito anteriormente. O programa apresenta dados padrões nas diferentes etapas de gerenciamento de resíduos sólidos. Entretanto, foi adaptado à realidade brasileira e alimentado com números do município de Garibaldi.

Na Figura 17 ilustra-se a tela principal de entrada do programa IWM-2, *Main Screen*, onde o Inventário do Ciclo de Vida pode ser aplicado para cada cenário.

Figura 17 – Tela de entrada do programa IWM-2



A partir da tela de entrada, encontra-se a opção para a tela *Streams* onde o programa mostra o inventário de fluxo de materiais de entrada e saída para cada uma das opções de tratamento. Na tela *Waste Flow* é apresentado de forma esquemática o fluxo de massa de resíduos gerenciados no sistema. Em *Results* o programa exibe as seguintes informações: custos (despesas, receitas, custos unitários por domicílio e por pessoa), energia (consumida e gerada), resíduo sólido final, emissões atmosféricas (24 parâmetros) e emissões líquidas (27 parâmetros), todas em relação à unidade funcional (tonelada de RSU). Na opção *Advanced* é possível alterar parâmetros padrões do programa a fim de adequar ao sistema de gerenciamento de resíduos proposto para cada cenário, permitindo que o modelo europeu da ferramenta possa ser aplicado a realidade local.

Na sequência encontram-se os dados inseridos para o cenário Base e para os cenários simulados nas demais telas do programa.

### **5.3.1 Informações sobre geração e composição dos resíduos**

As informações sobre a área de estudo, a quantidade e a composição dos resíduos coletados foram inseridas inicialmente no programa (tela '*Waste Inputs*'), cujos dados embasaram todos os cenários analisados, conforme segue.

- População atendida: 32.578 habitantes (IBGE, 2013);
- Número de pessoas por domicílio: 3,2 pes./dom.;
- Número de domicílios atendidos: 10.181 dom. (IBGE, 2013);
- Geração média de resíduos domiciliares (seletivos e mistos): 222,9 kg/hab./ano.

Para a composição, no programa IWM-2 foi informado o percentual por tipo de material em relação à massa total de resíduos coletados no município, isto é, considerou-se os resíduos sólidos urbanos coletados seletivamente e os provenientes da coleta de resíduos mistos. Os dados foram obtidos a partir da determinação da composição gravimétrica, conforme apresentado na seção 5.1.1. Considerou-se a mesma quantidade gerada e a composição nos diferentes cenários. Na Tabela 8, são apresentados os valores utilizados.

Tabela 8 - Composição dos RSU para a entrada no programa IWM-2 para os cenários

%	Tipo de Material						
	Papel	Vidro	Metal	Plástico	Têxtil	Orgânico	Outros
<b>% (em massa)</b>	18,2	1,8	0,7	20,9	8,5	23,0	26,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Os metais foram classificados em ferrosos (material a base de ferro) e não ferrosos (alumínio). Os plásticos foram divididos em dois grupos: plástico filme (PEBD, outros de natureza leve e transparente) e plástico rígido (PEAD, PET, PVC, outros de natureza rígida). Na Tabela 9, encontram-se os valores em porcentagem destes materiais.

Tabela 9 - Composição detalhada de metal e de plástico

%	Tipo de Material			
	Metais		Plásticos	
	Ferrosos	Não Ferrosos	Filme	Rígido
<b>% (em massa)</b>	60,8	39,2	24,3	75,7

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3.2 Dados do sistema de coleta

As informações sobre o sistema de coleta seletiva de resíduos são registradas na entrada do programa IWM-2 (tela '*Waste Collection*'). Para o Cenário 1 BASE, de acordo com os dados levantados no município, foram consideradas as seguintes quantidades:

- Papel: 63,6 kg/dom./ano
- Vidro: 8,1 kg/dom./ano
- Metal ferroso: 3,0 kg/dom./ano
- Metal não ferroso: 1,9 kg/dom./ano
- Plástico filme: 11,9 kg/dom./ano
- Plástico rígido: 76,9 kg/dom./ano
- Têxteis: 18,9 kg/dom./ano

Visto a presença de rejeito nos resíduos coletados seletivamente, foi informado para o Cenário 1 BASE a fração de 55,5% na tela *Advanced*. O consumo total de óleo diesel na coleta (para os dois tipos de coleta) no Cenário 1 BASE é de 111.840 L/ano.

Para os demais cenários, os dados foram ajustados de acordo com a quantidade de resíduos coletados e quantidade de rejeito, como pode ser verificado nas Tabelas 10 e 11.

Tabela 10 - Dados da composição dos resíduos seletivos nos cenários no programa IWM-2

Composição	Cenários	
	CEN 2 TOT	CEN 3CTRAS, CEN4 TRCAS CEN 5TRDAS, CEN6 TRIAS
	kg/dom./ano	kg/dom./ano
Papel	63,6	109,0
Vidro	8,1	12,7
Metal ferroso	3,0	2,9
Metal não ferroso	1,9	1,9
Plástico filme	11,9	16,8
Plástico rígido	76,9	112,0
Têxteis	18,9	30,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 11 - Dados do sistema de coleta de resíduos seletivos para o programa IWM-2

Cenários	Rejeito (%)	Consumo total de combustível (L/ano)
<b>CEN 2 TOT</b>	15	101,118
<b>CEN 3 CTRAS</b>	12	107,417
<b>CEN 4 TRCAS</b>	12	107,417
<b>CEN 5 TRDAS</b>	12	107,417
<b>CEN 6 TRIAS</b>	12	107,417

Fonte: Elaborado pela autora.

### 5.3.3 Dados da triagem e separação dos resíduos

Para o ICV no programa IWM-2, foram informados os seguintes dados sobre a triagem e separação de resíduos na tela *MRF Sorting*:

- Consumo de energia elétrica para o Cenário 1 BASE: 6,0 kWh/t;
- Consumo de energia elétrica para os demais cenários: 30,0 kWh/t (McDougall et al., 2001);
- Consumo de diesel: 1,0 L/t para os todos os cenários.

### 5.3.4 Dados do tratamento biológico

Para os Cenários 4 TRCAS, 5 TRDAS e 6 TRIAS, na tela *Biological Treatments* do programa IWM-2, adotaram-se os seguintes valores:

- Consumo de energia na compostagem: 30 kWt/h;
- Perda de massa na compostagem: 50%;
- Perda de massa na digestão anaeróbia: 60%.

### 5.3.5 Dados do tratamento térmico

Para o Cenário 5 TRIAS, que contempla o tratamento térmico por incineração, na tela *Thermal Treatments* foram adotados os seguintes dados:

- Eficiência energética do processo: 30% (McDougall et al., 2004);
- Destino das cinzas: aterro sanitário;
- Distância percorrida para destinar o rejeito até o aterro sanitário: 150 km;
- Distância percorrida para destinar resíduos perigosos até o destino final: 14 km;
- Poder calorífico do material: 6,12 GJ/t;
- Padrão de emissão atmosférica: 23 m<sup>3</sup> para SO<sub>2</sub>, 15 mg/Nm<sup>3</sup> para HCl, 279 mg/Nm<sup>3</sup> para NO<sub>x</sub>, 4,5 ng/Nm<sup>3</sup> para Dioxinas/Furanos, 33 mg/Nm<sup>3</sup> para CO e 4 ng/Nm<sup>3</sup> para Particulados (McDougall et al., 2004).

### 5.3.6 Dados de transbordo e aterro sanitário

Para as etapas de estação de transbordo, ou transferência, e aterro sanitário, foram utilizadas na tela *Landfilling* do programa IWM-2 as seguintes informações:

- Percentagem de material (rejeito) enviado ao aterro sanitário: 100 %;
- Consumo de energia elétrica na estação de transbordo: 0,2 kWh/t;
- Consumo de diesel na estação de transbordo e transporte: 3,5 L/t;
- Distância da estação de transbordo ao aterro sanitário: 150 km.

Os dados para o aterro sanitário foram com base em Reichert (2013), a citar:



- Consumo de energia elétrica: 1,6 kWh/t;
- Consumo de diesel no aterro: 0,8 L/t;
- Eficiência de coleta de biogás: 70 %;
- Energia recuperada do biogás: 0 %;
- Eficiência de coleta de lixiviados: 98 %;
- Eficiência de tratamento do lixiviados: 95 %.

### 5.3.7 Dados da reciclagem

Para a etapa de reciclagem dos resíduos sólidos seletivos, nos cenários foram utilizados os dados levantados junto à Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Garibaldi e informado no programa IWM-2 (tela *Recycling*), conforme apresentado abaixo.

- Distância de transporte do material até a indústria de reciclagem:
- Papel: 37 km;
- Vidro: 91 km;
- Metal ferroso: 168 km;
- Metal não ferroso: 1.022 km;
- Plástico filme: 306 km;
- Plástico rígido: 236 km.

### 5.5 Dados para análise de custos

Para a análise de custos dos cenários, foram identificados os seguintes dados:

- a) Massa total de resíduos sólidos urbanos gerenciados do município: 7.262 t/ano;
- b) População atendida: 32.578 hab. (IBGE, 2013);
- c) Número de domicílios atendidos: 10.181 dom. (IBGE, 2013);
- d) Receita anual da Prefeitura com arrecadação na cobrança pela prestação dos serviços de limpeza pública (taxa de coleta de resíduos): R\$ 2.073.290,65 (GARIBALDI, 2013);
- e) Despesa total anual da Prefeitura com o gerenciamento de RSU: R\$ 2.235.695,47 (GARIBALDI, 2013);
- f) Despesa anual por habitante, com base no ano de 2013: R\$ 68,63/hab./ano;

g) Custo da tonelada de resíduo gerenciado, com base no ano de 2013: R\$ 307,86/t.

Para auxiliar na estimativa de custos dos cenários propostos, realizou-se o levantamento dos valores reais investidos pelo município no gerenciamento dos resíduos, referente ao ano de 2013 (Cenário Base), conforme apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 - Custos do gerenciamento de resíduos sólidos em Garibaldi no ano de 2013

<b>Serviço</b>	<b>Quantidade de resíduos gerenciada (t/ano)</b>	<b>Custo de prestação do serviço (R\$/t)</b>
Coleta de resíduos seletivos (porta-a-porta)	1869	323,12
Coleta de resíduos mistos (porta-a-porta)	5393	108,54
Triagem de resíduos seletivos	1869	120,30
Estação de Transbordo	6430	26,31
Transporte de rejeito <sup>1</sup>	1037	115,85
Transporte de rejeito <sup>2</sup>	6430	85,00
Disposição final em aterro sanitário	6430	46,00

Fonte: Elaborado pela autora a partir de Garibaldi (2013).

<sup>1</sup> Transporte de rejeito da Unidade de Triagem até a Estação de Transbordo (20 km).

<sup>2</sup> Transporte de rejeito da Estação de Transbordo até o aterro sanitário (180 km).

Os resultados da análise de custos dos cenários encontram-se na seção 6.4.

## 6 RESULTADOS/ARTIGOS

De acordo com o regulamento do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais, da Universidade de Caxias do Sul, a estrutura da Dissertação deve apresentar os resultados da pesquisa na forma de artigos. Deste modo, encontram-se na sequência três artigos submetidos à análise para publicação, no formato exigido pelo congresso ou periódico ao qual foi submetido.

O primeiro artigo intitulado como ‘Utilização da ACV em apoio à decisão em gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com enfoque no desempenho ambiental’, foi aprovado para apresentação oral no 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, a ser realizado no Rio de Janeiro, em outubro de 2015.

O segundo artigo sob o título ‘Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos coletados no município de Garibaldi – RS’, foi aprovado para publicação no 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, a ser realizado no Rio de Janeiro, em outubro de 2015. Os artigos serão publicados de forma completa nos anais do evento.

O terceiro artigo, ‘Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida como técnica de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi’, encontra-se submetido para análise da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, órgão oficial de informação técnica da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental.

No Anexo C encontram-se os atestados de confirmação de aprovação e submissão dos artigos.

## 6.1 Artigo 1

### UTILIZAÇÃO DA ACV EM APOIO À DECISÃO EM GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COM ENFOQUE NO DESEMPENHO AMBIENTAL<sup>1</sup>

**Cristina Mersoni<sup>(1)</sup>**

Bióloga. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

**Geraldo Antônio Reichert**

Engenheiro Civil. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro do DMLU de Porto Alegre e Professor Adjunto da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Ernesto Alves, 335 – Bairro Vale dos Pinheiros - Garibaldi – RS – CEP: 95720-000 – Brasil – Tel: (54) 9995 3173 – e-mail: crismersoni@yahoo.com.br.

#### RESUMO

A busca por alternativas e técnicas que viabilizem melhorias nos sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos nas cidades brasileiras passou a ter uma maior relevância a partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Neste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem-se apresentado como uma técnica para o planejamento e definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. O presente trabalho tem como objetivo comparar e avaliar dois cenários de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de Garibaldi, RS, Brasil, utilizando como técnica a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, identificando aquele com o menor impacto ambiental quanto às emissões gasosas. Para tanto, utilizou-se o programa computacional IWM-2 para o inventário do ciclo de vida e indicadores ambientais para quantificar o impacto ambiental dos cenários quanto à emissão de substâncias para a atmosfera, a citar: mudanças climáticas, formação de foto-oxidantes e acidificação. De acordo com os resultados obtidos, a introdução de diferentes opções de tratamento de resíduos contribuiu para a redução de emissões gasosas com potencial de causar impactos ambientais. A técnica de ACV contribuiu para a identificação do potencial de impacto ambiental nas diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos, auxiliando na avaliação de modelos para a gestão pública de resíduos sólidos urbanos com enfoque no desempenho ambiental.

**PALAVRAS-CHAVE:** ACV, Resíduos sólidos urbanos, Indicadores ambientais.

#### INTRODUÇÃO

O tema resíduo passou a ocupar um espaço de destaque no Brasil a partir da Lei Federal 12.305/2010, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecendo a responsabilidade dos geradores e do poder público no gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos urbanos e incentivando ações conjuntas para a busca de soluções no tratamento dos resíduos (BRASIL, 2010).

No gerenciamento, as diferentes alternativas utilizadas para o manejo, transporte, tratamento e disposição final, apresentam potencial de geração de impactos ambientais resultantes das

<sup>1</sup> Artigo aprovado para o 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

emissões gasosas, líquidas e dos resíduos finais das etapas do sistema (REICHERT, 2013).

Em relação às emissões gasosas, os resíduos sólidos urbanos são responsáveis por uma emissão de gases de efeito estufa em torno de 1,4 Gt de CO<sub>2</sub> equivalente/ano, dos quais a maior parte provém de aterros sanitários (STERN, 2006). No setor de tratamento, a disposição de resíduos é responsável por 84% das emissões de metano (CH<sub>4</sub>), sendo o restante devido ao tratamento de esgoto (BRASIL, 2008).

Atualmente, medidas que buscam reduzir a emissão de gases, a fim de amenizar as mudanças climáticas globais e evitar possíveis impactos negativos ao meio ambiente, são temas debatidos a cada dia com mais frequência na sociedade, nos setores empresariais e governamentais.

A proposta para o Plano Nacional de Resíduos Sólidos contempla, entre as diretrizes e estratégias, a redução da geração de resíduos sólidos urbanos, desde a produção ao pós-consumo. Deste modo, busca alcançar todas as etapas do ciclo de vida dos produtos e contribuir para atenuar as mudanças climáticas, para preservar a biodiversidade e os demais recursos naturais (BRASIL, 2012).

Neste contexto, o gerenciamento dos resíduos sólidos deve ter por finalidade recuperar o valor do material descartado e reduzir os impactos sobre o meio ambiente por meio da seleção de opções adequadas para cada fração de resíduo (MOURAD et al., 2002).

Considerando a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) é uma importante ferramenta para a definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos (REICHERT, 2007). Consiste na fase em que se desenvolve a coleta de dados, a quantificação de entradas e saídas de material e energia, permitindo compreender e avaliar o uso de recursos, as liberações para o ar, água e solo, associados ao sistema investigado (ABNT, 2001). Logo, o ICV é útil para avaliar a eficiência ambiental do sistema de gerenciamento de resíduos, apontando a melhor combinação entre as opções de tratamento disponíveis (MCDOUGALL, 2000).

Assim, o presente estudo tem como objetivo comparar e avaliar dois modelos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para o município de Garibaldi, Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, utilizando como técnica a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida, identificando aquele com o menor impacto ambiental quanto às emissões gasosas.

## **METODOLOGIA**

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas principais: coleta de dados e definição do escopo, sistematização dos cenários para os modelos de gerenciamento de resíduos, Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

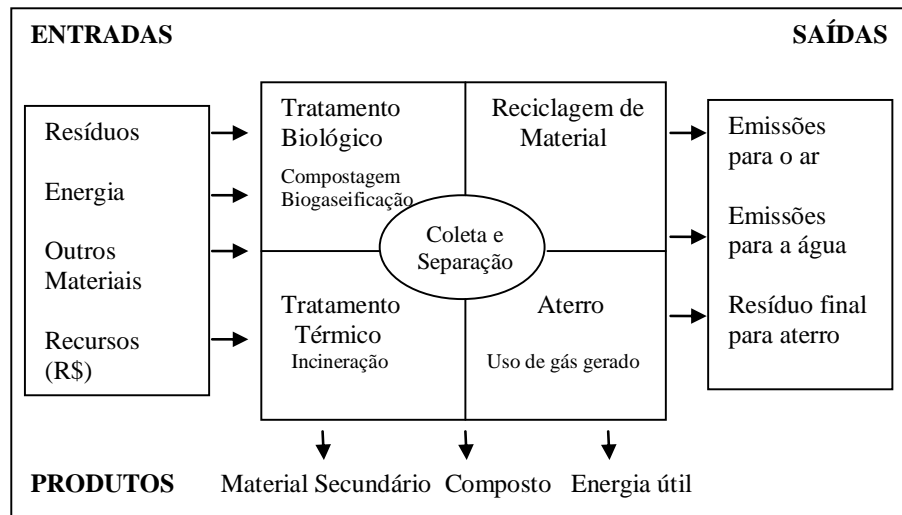
### **PRIMEIRA ETAPA: COLETA DE DADOS E ESCOPO**

A coleta de dados foi realizada junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi, onde foram obtidas informações quanto à população atendida pelo sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos, número de domicílios e registros quantitativos dos resíduos recolhidos, tendo como referência o ano de 2013.

Para a determinação da composição gravimétrica dos resíduos foi utilizado o método de quarteramento, conforme metodologia descrita por Pessin et al. (2002), e foram identificadas as

etapas do gerenciamento de resíduos no município para a construção dos cenários.

Na definição do escopo foram definidos os limites (fronteiras) do sistema estudado e a unidade funcional (tonelada de resíduos por ano, t/a). Considerando o ciclo de vida dos resíduos, este inicia no momento em que o resíduo é gerado até sua destinação final de retorno ao meio ambiente. Na Figura 18 estão ilustradas, de modo esquemático, as fronteiras do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos.



**Figura 18: Limites do sistema para o Inventário do Ciclo de Vida dos resíduos sólidos**

Fonte: Adaptado de McDougall et al. (2004)

As entradas para o sistema consistem em resíduos, energia, outros materiais e recursos financeiros. As saídas são os materiais reciclados, composto, energia útil, emissões para o ar e água, e material para aterro. Definidos os tratamentos para o sistema de gerenciamento, as entradas e as saídas são calculadas e os resultados expressos em: consumo de energia líquida, emissões atmosféricas e líquidas, volume de rejeito para aterro e material recuperado, composto (MCDUGALL, 2000).

No presente estudo foram consideradas como entradas os resíduos, a energia e outros materiais. Como saídas foram avaliados o material reciclado, composto e emissões para o ar.

## SEGUNDA ETAPA: SISTEMATIZAÇÃO DOS CENÁRIOS

A segunda etapa consistiu na sistematização de dois cenários. O Cenário A (base) representa o modelo de gerenciamento atualmente adotado no município de Garibaldi, abrangendo a coleta de resíduos seletivos e mistos, transporte, triagem dos resíduos seletivos, reciclagem de 11% dos resíduos seletivos coletados e disposição final em aterro sanitário. Neste cenário, o serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares atende 100% da área municipal.

Para a sistematização do Cenário B foram consideradas as metas da proposta preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2012), integrando ao sistema de gerenciamento o processo de compostagem para os resíduos orgânicos ou biodegradáveis e, elevando o índice de reciclagem dos resíduos recicláveis.

Assim, o Cenário B contempla as seguintes etapas: coleta de resíduos seletivos e mistos, tria-

gem para ambas as coletas, envio de material reciclável para a reciclagem, tratamento biológico (compostagem) para a matéria orgânica e disposição final do rejeito em aterro sanitário. No cenário, foi proposto uma otimização de material encaminhado para reciclagem equivalente a 42% do total de resíduos coletados no município e, 13% encaminhado para tratamento biológico.

Os resíduos seletivos são compostos predominantemente por embalagens, plásticos, papéis, vidros e metais diversos. Já os resíduos mistos são compostos por matéria orgânica, papel higiênico, rejeitos e outros materiais não recolhidos na coleta seletiva.

### **TERCEIRA ETAPA: INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA**

De posse das informações obtidas no município e da sistematização dos cenários, iniciou-se a etapa de inventário de ciclo de vida utilizando como ferramenta o programa computacional *Integrated Solid Waste Management - IWM-2*.

Modelado por McDougall et al. (2001), o programa permite formar cenários a partir de dados de entrada como quantidade de resíduos gerenciados, número de habitantes e domicílios, demanda de energia (combustível, energia elétrica), tipo de coleta, tratamento e disposição final. E, como saída o programa apresenta o consumo total de energia, os materiais reciclados, composto, energia útil, emissões para o ar e água, e resíduos sólidos residuais.

### **QUARTA ETAPA: AVALIAÇÃO DE IMPACTO DO CICLO DE VIDA**

Por fim, seguiu-se à Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida com a utilização de indicadores ambientais classificados por categoria de impacto. As categorias foram selecionadas visando quantificar o impacto ambiental dos cenários quanto à emissão de substâncias (gases) para a atmosfera, a citar: mudanças climáticas, formação de foto-oxidantes e acidificação.

Utilizando a metodologia descrita por Den Boer et al. (2005), seguiu-se para a classificação das substâncias emitidas para o ar e foi aplicado o cálculo matemático em cada categoria de impacto, cujos resultados foram expressos em termos de equivalentes, conforme apresentado na tabela 13. Os cálculos foram realizados por meio de planilhas eletrônicas em programa computacional Excel.

Tabela 13 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para AICV

<b>Categoria de Impacto Ambiental</b>	<b>Substância emitida para a atmosfera</b>	<b>Resultado do indicador expresso em equivalente</b>
Mudanças climáticas	CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O e CH <sub>4</sub>	Kg CO <sub>2</sub> eq.
Formação de foto-oxidantes	CO, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.
Acidificação	Amônia, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	Kg SO <sub>2</sub> eq.

Fonte: Adaptado de Den Boer et al. (2005)

A partir dos resultados dos cálculos para cada categoria de impacto, foram elaborados os gráficos para a comparação dos Cenários A e B, para cada etapa do sistema, de acordo com os indicadores utilizados, buscando identificar o cenário que apresenta o menor impacto ambiental em relação às emissões atmosféricas.

Para melhor evidenciar o desempenho ambiental dos cenários avaliados, os resultados dos in-

dicadores foram submetidos à normalização em termos de equivalentes populacionais (EP – habitantes), de acordo com metodologia sugerida por Guinée et al. (2001), sendo os valores divididos pelo número de habitantes do município de Garibaldi e o resultado final expresso em porcentagem da população.

Destaca-se que, os resultados nos gráficos que apresentam valores negativos indicam que há ganho ambiental (redução de emissões). E, os valores positivos apontam os impactos ambientais (emissões para o ar).

## RESULTADOS

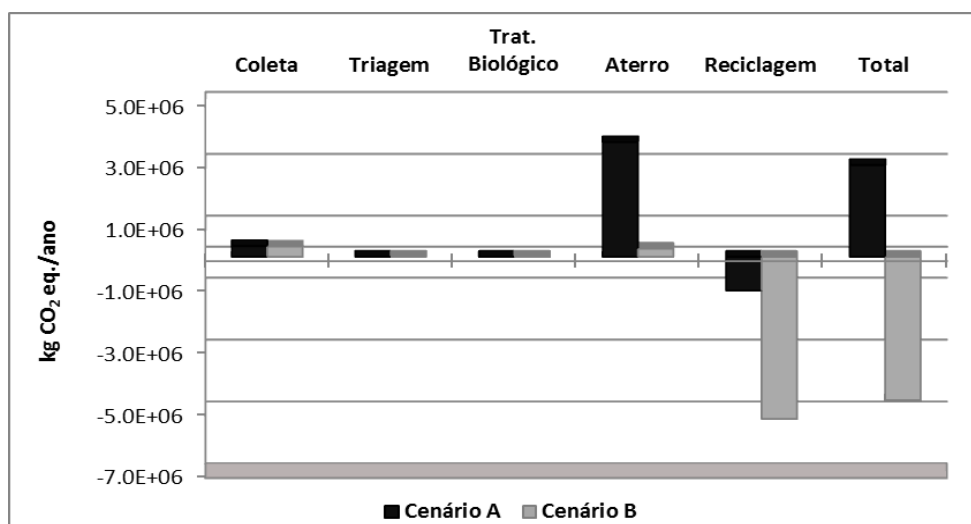
O município de Garibaldi apresenta uma população total estimada de 32.578 habitantes e 10.147 domicílios (IBGE, 2013). No ano de 2013, a quantidade total de resíduos coletada pelo sistema de coleta foi de 7.262 toneladas, apontando uma geração média de 223 kg/hab./ano. Há a participação da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis que recebe todo o material proveniente da coleta seletiva.

Na composição dos resíduos sólidos urbanos encontram-se basicamente: resíduos recicláveis (papel, papelão, plástico, metais, vidros), que representa 41,6% do total de resíduos coletados no município; 23% de matéria orgânica (restos de alimentos, podas); e, 35,4% de rejeitos (papel higiênico, fraldas, outros resíduos não especificados ou contaminados).

Os resultados para cada categoria de impacto encontram-se descritos a seguir.

### RESULTADO DA CATEGORIA MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Na Figura 19 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto mudanças climáticas, expresso em kg CO<sub>2</sub> eq./ano, por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.



**Figura 19: Resultados da categoria mudanças climáticas por etapa**

Conforme se observa na Figura 2, no Cenário B ocorreu uma redução em mais de 50% no balanço total de emissões atmosféricas que podem causar o aumento da temperatura média global, conseqüentemente, influência nas mudanças climáticas. Neste cenário as etapas que mais contribuíram para minimizar os impactos ambientais por emissões gasosas foram a reciclagem, que apresentou o maior valor negativo, e o aterro sanitário, cuja quantidade de material

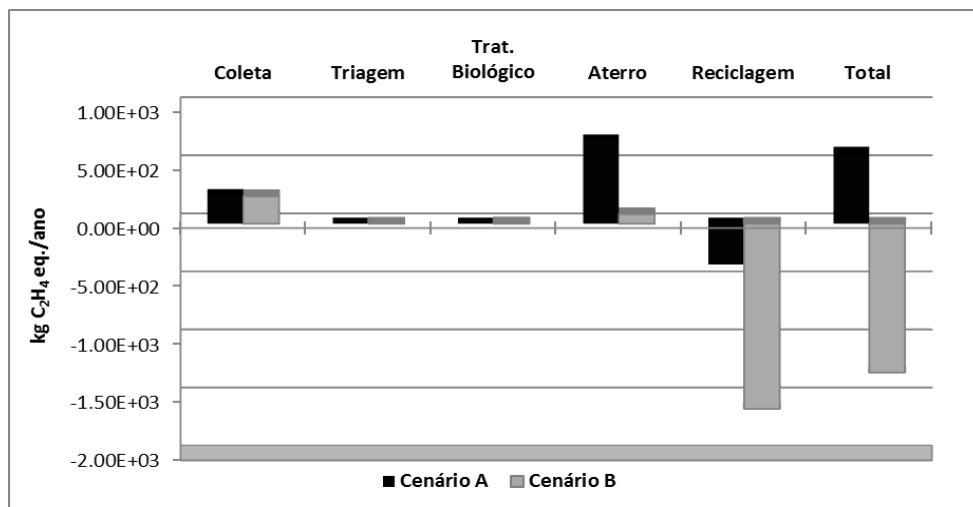


disposto diminuiu devido ao tratamento biológico e a reciclagem.

Verifica-se que no Cenário A, modelo de gerenciamento adotado no município, a etapa que mais contribuiu com as emissões atmosféricas foi o aterro sanitário. Neste cenário, há uma maior quantidade de resíduos disposta em aterro, conseqüentemente maior é a geração de gases em relação ao Cenário B.

## RESULTADO DA CATEGORIA FORMAÇÃO DE FOTO-OXIDANTES

Na Figura 20 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto formação de foto-oxidantes, expresso em etileno equivalente ( $\text{Kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq./ano}$ ), por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.



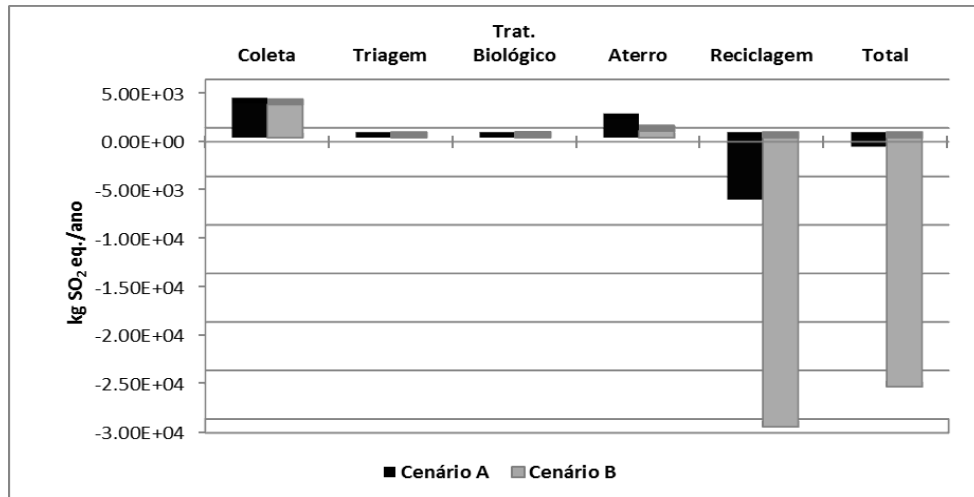
**Figura 20: Resultados da categoria formação de foto-oxidantes por etapa**

Considerando o balanço total de formação de foto-oxidantes, verifica-se na Figura 20 que o Cenário B apresentou uma redução na emissão de poluentes gasosos devido a menor quantidade de resíduos disposta em aterro.

Ainda, observando os cenários, as etapas de coleta, aterro sanitário e reciclagem foram as que mais contribuíram na emissão de gases nesta categoria de impacto. Na etapa de coleta, os veículos coletores são os responsáveis pela emissão de gases como CO, NOx e SO<sub>2</sub>, formados a partir da queima de combustíveis e lançados para a atmosfera. No aterro sanitário ocorre a formação de gases devido a decomposição do material, sendo que o Cenário A apresentou a maior emissão. A reciclagem apresentou valores negativos em ambos cenários, indicando a redução na emissão de gases.

## RESULTADO DA CATEGORIA ACIDIFICAÇÃO

Na Figura 21 são apresentados os resultados referentes à categoria de impacto acidificação, expresso em dióxido de enxofre equivalente ( $\text{kg SO}_2 \text{ eq./ano}$ ), por etapa do sistema de gerenciamento de resíduos.



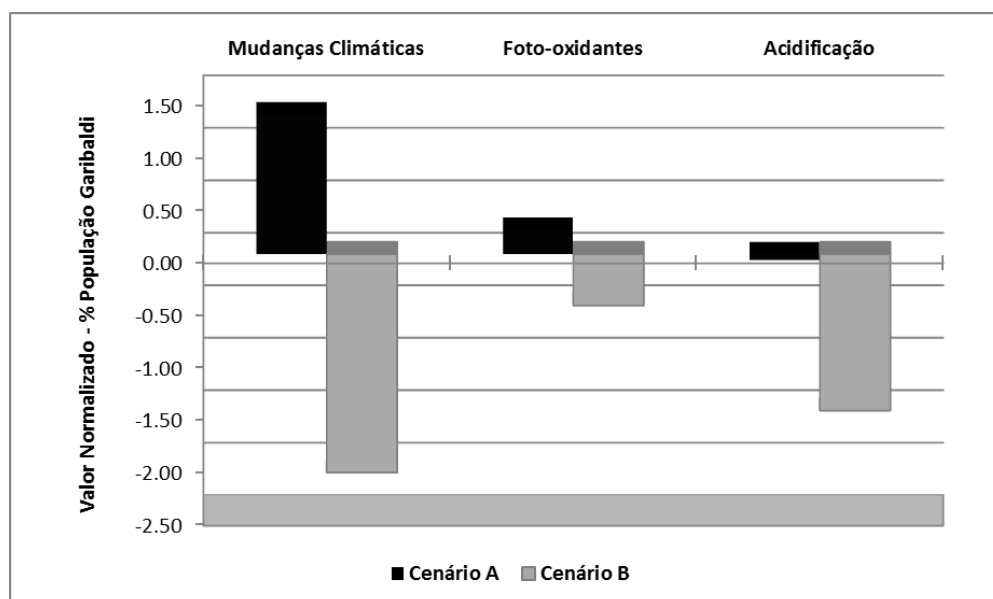
**Figura 21: Resultados da categoria acidificação por etapa**

Em relação a esta categoria de impacto, verifica-se na Figura 21 que o Cenário B foi o que apresentou o melhor desempenho, ou seja, menos contribuiu com emissões de substâncias gasosas com potencial de acidificação devido, principalmente, a etapa de reciclagem (maior quantidade de resíduos foi encaminhada para reciclagem).

As substâncias emitidas para o ar, principalmente na etapa de coleta dos cenários, quando dissolvidas na água da chuva podem acidificar o meio prejudicando animais e plantas. No balanço total, a etapa de reciclagem contribuiu para minimizar os possíveis impactos causados pelo modelo de gerenciamento de resíduos em ambos os cenários.

## RESULTADO COMPARATIVO DOS CENÁRIOS POR CATEGORIA DE IMPACTO

Para melhor evidenciar o desempenho ambiental dos cenários avaliados, os resultados dos indicadores foram submetidos à normalização e expressos em número de habitantes para cada categoria de impacto, conforme apresentado na Figura 22.



**Figura 22: Resultado das categorias de impacto normalizado por cenário**

De acordo com a Figura 22, verifica-se que o Cenário B, que contempla o tratamento biológico,

co e a reciclagem, apresenta o melhor desempenho em todas as categorias de impacto avaliadas para o sistema de gerenciamento de resíduos sólidos.

Os valores normalizados evidenciam o Cenário B como o modelo de menor impacto ambiental (valores negativos), com reduzida emissão de substâncias para a atmosfera no balanço total do sistema de gerenciamento de resíduos. O Cenário A, como o modelo que apresenta o maior potencial de impacto ambiental.

Conforme técnica adotada, os resultados revelam os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados ao gerenciamento dos resíduos, compreendendo todas as etapas a partir de um cenário atual. O uso da ACV, para a comparação dos cenários, auxilia na tomada de decisão quanto ao modelo a ser adotado em um sistema municipal de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos.

## **CONCLUSÕES**

Com base nos resultados da pesquisa, comparando modelos para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos, pode-se concluir que a introdução da compostagem e o aumento no índice de reciclagem dos resíduos coletados, conforme proposto no Cenário B, contribuíram positivamente para a redução de emissões gasosas com potencial de causar impactos ambientais.

As diferentes opções de tratamento utilizadas no gerenciamento dos resíduos contribuíram para minimizar os impactos ambientais.

A técnica de ACV possibilitou identificar o potencial de impacto ambiental nas diferentes etapas do ciclo de vida dos resíduos. Auxiliou na avaliação de possíveis modelos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos para a gestão pública, com enfoque no desempenho ambiental.

A reciclagem mostrou-se como a etapa que mais contribuiu para diminuir os impactos ambientais associados ao gerenciamento de resíduos sólidos. Este resultado também foi apontado por Reichert e Mendes (2014).

Neste trabalho foram avaliados somente dois cenários com o uso de três indicadores. Porém, estudos utilizando a técnica de ACV podem avaliar mais cenários (5, 6 ou mais) e com um número maior de indicadores, formando assim uma base de dados com informações amplas para um processo de tomada de decisão com maior rigor técnico.

Também, para a tomada de decisão do melhor modelo a ser adotado, importante considerar outros aspectos ambientais como emissões para a água, o consumo de energia, os aspectos econômicos e sociais.

Destaca-se que, a presente pesquisa trouxe dados reais do sistema de gerenciamento de resíduos de um município de pequeno porte, cuja realidade se assemelha a uma grande maioria de municípios brasileiros.

O estudo evidenciou a importância da separação dos resíduos na origem e a necessidade de uma coleta seletiva efetiva, permitindo deste modo o encaminhamento para o tratamento sem perdas por mistura de material potencialmente reciclável com os demais resíduos ou rejeitos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi pelo apoio à pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.
2. BRASIL. Comitê Interministerial sobre mudança do clima. Plano Nacional sobre Mudança do Clima. Brasília, DF: 2008.
3. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. Legislação Republicana Brasileira. Brasília, 2010.
4. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: 2012.
5. DEN BOER, E. et al. Waste management planning and optimization. Handbook of municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems. Stuttgart: Ibidem-Verlart, 2005, 306p.
6. GUINÉE, J.B. et al. Handbook on life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades: Rio Grande do Sul - Garibaldi. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
8. MCDOUGALL, F.R. Integrated Waste Management: LCA and its Practical Use Corporate Sustainable Development. In: Seminar “Lixo Municipal – Gerenciamento Integrado”, Anais ... São Paulo: Procter & Gamble Technical Centres/UK, 2000.
9. MCDOUGALL, F. R. et al. Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory, 2 ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001.
10. MCDOUGALL, F.R. et al. Gestión Integral de Residuos Sólidos: inventario de ciclo de vida. Primera edición traducida. Caracas: Procter & Gamble, 2004.
11. MCDOUGALL, F.R. Integrated Waste Management Model IWM-2, Version 2.50-1. London (UK): Procter & Gamber, 2013.
12. MOURAD, A. L.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.
13. PESSIN, N. et al. Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos. In: JUNIOR, Armando Borges de Castilhos et al. (Org.). Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 13-17.

14. REICHERT, G.A. Potencial de utilização da ferramenta de inventário de ciclo de vida (ICV) na definição de modelos de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: ABES, 2007.
15. REICHERT, G.A. Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre. 2013. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87557>>. Acesso em: 26 fev. 2014.
16. REICHERT, G.A.; MENDES, C.A.B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 301-313, jul./set. 2014.
17. STERN, N. Stern review: the economics of climate change. Londres: HM Treasury, 2006. Disponível em: <[http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview\\_report\\_complete.pdf](http://mudancasclimaticas.cptec.inpe.br/~rmclima/pdfs/destaques/sternreview_report_complete.pdf)>. Acesso em: 21 mar. 2015.

## 6.2 Artigo 2

### ANÁLISE DA COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS COLETADOS NO MUNICÍPIO DE GARIBALDI – RS<sup>2</sup>

**Cristina Mersoni<sup>(1)</sup>**

Bióloga. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Ambientais da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

**Geraldo Antônio Reichert**

Engenheiro Civil. Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Engenheiro do DMLU de Porto Alegre e Professor Adjunto da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Ernesto Alves, 335 – Bairro Vale dos Pinheiros - Garibaldi – RS – CEP: 95720-000 – Brasil – Tel: (54) 9995 3173 – e-mail: crismersoni@yahoo.com.br.

#### RESUMO

O estudo sobre a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Município de Garibaldi foi desenvolvido visando diagnosticar o potencial de reciclagem do material encaminhado para aterro sanitário e contribuir para melhorias no sistema público de gerenciamento de resíduos. Para determinar a composição gravimétrica foram selecionados dois veículos que realizam a coleta convencional (não seletiva) e um contêiner de recolhimento de rejeitos provenientes da central de triagem dos resíduos da coleta seletiva. Para ambos, o destino final adotado no Município é o aterro sanitário. O método adotado foi o quarteamento, onde os componentes presentes na amostragem foram identificados e diferenciados nas seguintes categorias: matéria orgânica putrescível (cascas, restos de alimentos, resíduo verde de poda), plásticos, papel/papelão, vidros, metais, material têxtil e rejeitos (papel higiênico, contaminantes biológicos, outros). Os resultados apontaram que, na composição dos resíduos da coleta convencional a maior fração percentual encontrada foi de rejeito, seguido de matéria orgânica putrescível, plástico, papel/papelão, têxtil, vidro e metal. Na composição dos rejeitos, o plástico apresentou a maior porcentagem, seguido do rejeito, material têxtil, papel/papelão, matéria orgânica, metal, sendo o vidro a menor porção. Os dados obtidos demonstraram que, apesar do município dispor de coleta seletiva e de unidade de triagem de resíduos recicláveis secos, uma considerável quantidade de material potencialmente reciclável ainda é encaminhada para aterro sanitário. Os resultados contribuem para avaliar o sistema de coleta em vigor e para subsidiar o planejamento de medidas que possam melhorar a eficiência do sistema público de gerenciamento de resíduos sólidos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos urbanos, composição gravimétrica, coleta convencional, rejeito.

#### INTRODUÇÃO

A geração de resíduos nos núcleos populacionais é um fato inevitável que ocorre diariamente. Quando mal gerenciados, podem se tornar um agente prejudicial ao meio ambiente e a saúde pública. Para um gerenciamento adequado, faz-se necessário o conhecimento de todos os elementos presentes no universo analisado a fim de dar suporte ao planejamento de ações fu-

<sup>2</sup> Artigo aprovado para o 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2015.

turas na busca por soluções que considere a recuperação e a reciclagem dos resíduos, minimizando possíveis impactos ambientais.

A Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010) define como Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) os resíduos domiciliares, originários de atividades domésticas em residências urbanas, de varrição, de limpeza de logradouros e vias públicas, e demais serviços de limpeza urbana. Segundo Monteiro et al. (2001), dentre as atividades consideradas de limpeza urbana, a coleta de resíduos sólidos domiciliares realizada pelos municípios muitas vezes incluem os provenientes de estabelecimentos como escritórios, lojas, supermercados e comércio em geral.

Um fator a ser observado é a diversidade de material nos resíduos. Os resíduos sólidos urbanos apresentam uma heterogeneidade marcante que varia de acordo com a cidade, com as mudanças climáticas e sazonais, com os hábitos e padrão de vida da comunidade, em função de mudanças na política econômica e do nível de renda da população (REICHERT, 2013).

A identificação da composição gravimétrica dos resíduos, a qual traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra analisada, revela a possibilidade de aproveitamento do material reciclável para comercialização e da matéria orgânica para a produção de composto (MONTEIRO et al., 2001). Logo, evidencia-se a necessidade do conhecimento dos resíduos gerados pela população de um município para que seu gerenciamento seja adequado à realidade em que se insere.

O presente trabalho tem como objetivo identificar a composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no município de Garibaldi, Estado do Rio Grande do Sul, analisando o potencial de reciclagem especificamente do material encaminhado para aterro sanitário, servindo de apoio para melhorias no sistema público de gerenciamento de resíduos da cidade.

## **METODOLOGIA**

O estudo apresenta caráter qualiquantitativo (exploratório e descritivo): “as pesquisas descritivas são, juntamente com as exploratórias, as que habitualmente realizam os pesquisadores sociais preocupados com a atuação prática” (GIL, 2009). Em geral, assumem a forma de levantamento, utilizando a amostragem para que, a partir de uma pequena parte dos elementos que compõem o universo pesquisado, seja possível obter resultados próximos da realidade (GIL, 2009).

## **ÁREA DE ESTUDO**

O Município de Garibaldi está localizado na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Com uma população estimada em 32.578 habitantes (IBGE, 2013), a maior parcela residente na zona urbana, apresenta uma economia baseada nas atividades de indústria, comércio e serviços.

O sistema de coleta seletiva no município foi instituído pela Lei Municipal nº 2095/1991, iniciando, efetivamente no ano de 2002, o recolhimento diário dos resíduos na zona central e em dias programados nos bairros e na zona rural (GARIBALDI, 2011). O sistema de coleta é do tipo porta-a-porta, atendendo 100% da área territorial da cidade, sendo recolhidos os resíduos recicláveis secos (papel, papelão, plásticos, vidros, outros) e orgânicos/rejeitos (restos de alimentos, podas, papel higiênico, outros).

Os resíduos da coleta seletiva são destinados para a central de triagem de uma cooperativa de

catadores, sendo o material selecionado encaminhado para reciclagem. Os resíduos da coleta convencional (não seletiva), juntamente com a sobra da unidade de triagem, são encaminhados para aterro sanitário licenciado.

No município, que possui Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, foi coletada no ano de 2013 a quantidade total de 7.262 toneladas de resíduos, uma média de 223 kg/hab./ano, sendo que 6.430 toneladas foram dispostas em aterro sanitário (GARIBALDI, 2013).

### COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para a determinação da composição gravimétrica dos RSU, foi realizado o estudo dos resíduos sólidos provenientes da coleta convencional (denominados no município como ‘orgânicos’), do rejeito proveniente da etapa de triagem e a identificação dos resíduos recolhidos na coleta seletiva.

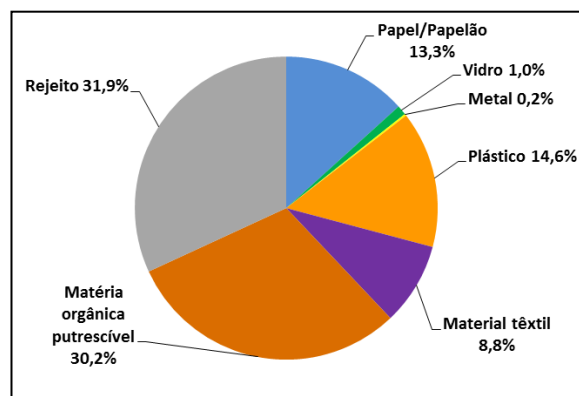
Para a composição gravimétrica dos resíduos da coleta convencional, foram selecionados dois veículos: um com roteiro de coleta na área central da cidade e outro nos bairros, ambos com capacidade de 12 m<sup>3</sup>. Para o rejeito, foi selecionada uma amostra, correspondente a um contêiner com capacidade de 12 m<sup>3</sup>, proveniente da unidade de triagem da cooperativa de catadores, em um dia normal de recolhimento do material para a unidade de transbordo.

Em ambas as amostragens, a determinação da composição gravimétrica seguiu o método de quarteamento conforme descrito por Pessin et al. (2002). Após o quarteamento, os componentes presentes nas amostras foram identificados e diferenciados nas seguintes categorias: matéria orgânica putrescível (cascas, restos de alimentos, resíduo verde de poda), plásticos, papel/papelão, vidros, metais, material têxtil e rejeitos (papel higiênico, contaminantes biológicos, outros).

Para a identificação dos resíduos recolhidos na coleta seletiva, foi realizado o levantamento quantitativo com a especificação do material comercializado pela central de triagem, por meio de registros junto à cooperativa de catadores.

### RESULTADOS

Os resultados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da coleta convencional (não seletivos) são apresentados na Figura 23.



**Figura 23: Composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta convencional**



A partir dos dados da composição gravimétrica verificou-se que, especificamente na coleta convencional de resíduos sólidos (coleta não seletiva) a maior fração percentual encontrada foi de rejeito, com um valor de 31,9%, seguida de matéria orgânica putrescível, com 30,2%. Materiais como plástico (14,6%), papel/papelão (13,3%), têxtil (8,8%), vidro (1,0%) e metal (0,2%), também foram encontrados.

Observou-se a presença de componentes possíveis de serem reciclados (Figura 24) que, embora o município disponha de coleta seletiva de recicláveis em 100% de sua área, devido à deficiente separação na origem, acabam sendo misturados aos demais resíduos e ao rejeito. Isso compromete a recuperação do material no sistema de coleta e, conseqüentemente, resíduos ainda com potencial de reciclagem seguem para a disposição em aterro sanitário.

Ainda, em relação à matéria orgânica putrescível, foram observados restos de podas, galhos e outros restos vegetais, conforme ilustrado na Figura 25.

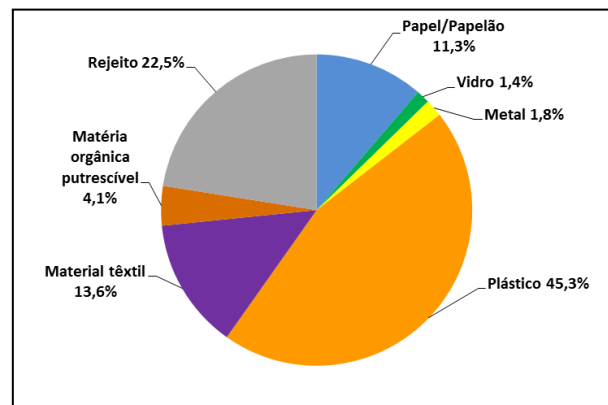


**Figura 24: Registro dos componentes encontrados nos resíduos da coleta convencional**



**Figura 25: Resíduos de poda encontrados na coleta convencional**

Os resultados da composição gravimétrica do rejeito resultante da etapa de triagem dos resíduos provenientes da coleta seletiva são apresentados na Figura 26.



**Figura 26: Composição gravimétrica do rejeito da etapa de triagem dos resíduos seletivos**

Na composição gravimétrica dos rejeitos, cujo material consiste na sobra da etapa da triagem, verificou-se que o plástico apresentou a maior porcentagem, com 45,3%, seguido do rejeito (22,5%), material têxtil (13,6%), papel/papelão (11,3%), matéria orgânica (4,1%), metal (1,8%) e vidro (1,4%), conforme visto na Figura 26.

A triagem é a etapa em que ocorre a separação dos resíduos coletados de forma seletiva, permitindo separar os diferentes materiais para a comercialização e possibilitando a reintroduzidos aos ciclos produtivos.

Da Figura 26, observou-se que dos rejeitos da triagem, cerca de 60% ainda tem potencial de reciclagem. Dos resíduos dispostos em aterro, somente cerca de 40% de fato deveriam ir para aterro (os rejeitos, os contaminantes de matéria orgânica e os têxteis que tem baixo mercado para reciclagem). Entre os resíduos presentes no rejeito da triagem de seletivos, os plásticos constituem a maior parcela, 45,3 %. Os dados demonstraram que há baixa eficiência na triagem, que pode ser ocorrendo por questões de organização do trabalho na unidade de triagem, excesso de material a triar frente ao número de pessoas envolvidas ou, até mesmo, problemas de mercado para a comercialização do material.

Em relação ao material selecionado na triagem, na Tabela 14 são apresentados os resultados da identificação dos materiais seletivos comercializados pela cooperativa.

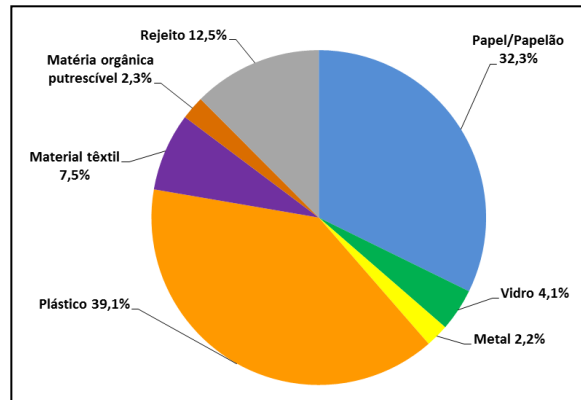
Tabela 14 - Identificação dos resíduos seletivos comercializados pela cooperativa

Componente	Porcentagem comercializada (%)
Matéria orgânica putrescível	0,0
Vidro	7,5
Metal	2,8
Papel/papelão	58,4
Material têxtil	0,0
Plástico	31,4
Rejeito	0,0
Total	100

Conforme observado, o papel representa a maior fração do material comercializado, represen-

tando 58,4%, seguido de plástico (31,3%), vidro (7,5%) e metal (2,8%). O material têxtil, matéria orgânica putrescível e outros não especificados, são descartados como rejeito.

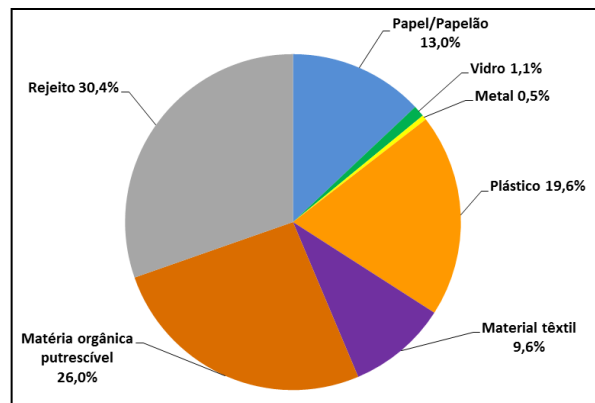
Na Figura 27 é apresentado o resultado total da composição dos resíduos da coleta seletiva. Esses resultados foram sistematizados a partir dos dados da composição gravimétrica do rejeito (Figura 26), realizada em campo conforme descrito anteriormente, e do levantamento do material comercializado pela cooperativa (Tabela 14).



**Figura 27: Composição dos resíduos da coleta seletiva do município de Garibaldi**

De acordo com os dados, verificou-se que a quantidade de resíduos recicláveis (plástico, papel/papelão, vidro e metal) representa 77,7% da coleta seletiva. O restante é composto de rejeito (12,5%), material têxtil (7,5%) e matéria orgânica (2,3%), resultando em um índice de 23,3 % de materiais não reaproveitáveis na coleta seletiva. Embora não sendo muito elevado, percebe-se que a população ainda coloca para a coleta seletiva materiais não apropriados, mostrando a necessidade constante de orientação e educação ambiental para a correta segregação na origem.

Na Figura 28 encontra-se o resultado da composição do material enviado para aterro sanitário, elaborado a partir dos dados da composição gravimétrica dos resíduos sólidos da coleta convencional (Figura 23) e do rejeito da etapa de triagem (Figura 26).

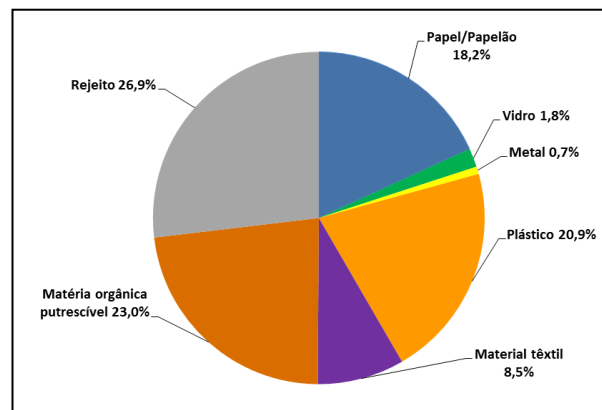


**Figura 28: Dados da composição gravimétrica dos resíduos enviados para aterro sanitário**

Com base nos resultados, observou-se que somente 40% da quantidade total de material enviado para aterro sanitário é classificada como rejeito real (rejeito e material têxtil), ou seja, que atualmente não apresentam outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente

adequada. O restante é composto por matéria orgânica (26,0%) passível de reciclagem por tratamento biológico (por exemplo, compostagem), e 34,1% de componentes possíveis de reciclagem por processos de transformação em novos insumos ou produtos.

Considerando os dados da composição dos resíduos da coleta convencional (Figura 23), dos rejeitos (Figura 26) e do levantamento do material comercializado pela cooperativa (Tabela 14), obteve-se o panorama geral da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no município de Garibaldi, conforme apresentado na Figura 29. Nessa Figura buscou-se representar a composição real dos resíduos sólidos urbanos da forma como gerados e disponibilizados à coleta no município.



**Figura 29: Composição gravimétrica dos RSU coletados no município de Garibaldi**

Observou-se que, na média geral da composição dos resíduos que a população disponibiliza para o sistema de coleta público do município (incluindo a coleta convencional e seletiva), a maior porcentagem foi de rejeitos (26,9%), seguido de matéria orgânica (23,0%), plástico (20,9%), papel (18,2%), material têxtil (8,5%), vidro (1,8%) e metal (0,7%).

Nesta composição geral, os resíduos recicláveis representam 41,6% da quantidade total de resíduos coletados no sistema público, a matéria orgânica 23,0% e o rejeito somado ao material têxtil, 35,4%.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos, foi possível observar que a matéria orgânica é o principal componente presente na coleta convencional, aparecendo em segundo lugar na composição geral, evidenciando a presença de material que pode ser reciclado por meio de tratamento biológico.

O material classificado como rejeito nas amostragens, constituído principalmente por papel higiênico, contaminantes, material não comercializado ou não reciclável, e similar, aponta a necessidade de processos tecnológicos que permitam atender a totalidade dos resíduos gerados pela população.

Também, considerando o potencial de recuperação do material diagnosticado na coleta convencional e no rejeito, como matéria orgânica, vidro, metal, papel/papelão e plásticos, seria possível diminuir cerca 61% da quantidade total enviada para aterro anualmente.

O panorama geral da composição média de RSU do município apontou a presença de material com potencial para reciclagem e compostagem. Esse tipo de estudo é de fundamental impor-

tância para o planejamento futuro de metas de tratamento e definição de tecnologias a serem adotadas para alcançar o estabelecido na Política Nacional de Resíduos Sólidos, que é a disposição final em aterro sanitário apenas daqueles resíduos sem possibilidade de reaproveitamento, os rejeitos. Neste contexto, Lima et al. (2014), em estudo para propor alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil, sugerem a rota tecnológica da reciclagem, compostagem e aterro sanitário sem geração de energia para os municípios de porte intermediário (com menos de 250 mil habitantes), como no presente caso.

Assim, visto a potencialidade de reciclagem e compostagem dos resíduos coletados, sugere-se a cooperação entre municípios, como, por exemplo, a formação de consórcios públicos, com a redução de custos envolvidos, a fim de efetivar medidas para o aproveitamento de resíduos.

Com o estudo, que revelou a composição gravimétrica dos resíduos sólidos recolhidos no município de Garibaldi, espera-se contribuir para o planejamento de ações de melhorias no sistema de gerenciamento público de resíduos, aumentando os índices de reciclagem dos RSU.

Evidencia ainda a necessidade de um trabalho de orientação junto à população para a correta separação e disponibilização dos resíduos à coleta seletiva, evitando deste modo a mistura e consequentemente o desperdício de material reciclável.

## **AGRADECIMENTOS**

O desenvolvimento desta pesquisa contou com o apoio da Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi (RS) e da Cooperativa de Catadores de Materiais Recicláveis de Garibaldi.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. Legislação Republicana Brasileira. Brasília, 2010.
2. GARIBALDI. Prefeitura Municipal. Plano Ambiental Municipal. Garibaldi: 2011.
3. GARIBALDI. Prefeitura Municipal. Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMMA. Garibaldi: 2013.
4. GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.
5. LIMA, J.D. de; JUCÁ, J.F.T.; REICHERT, G.A.; FIRMO, A.L.B. Uso de modelo de apoio à decisão para análise de alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos na região Sul do Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 33-42, jan./mar. 2014.
6. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Cidades: Rio Grande do Sul - Garibaldi. Rio de Janeiro: IBGE, 2013.
7. MONTEIRO, J. H. P. et al. Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM/SEDU, 2001.

8. PESSIN, N. et al. Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos. In: JUNIOR, Armando Borges de Castilhos et al. (Org.). Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 13-17.
9. REICHERT, G.A. Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre. 2013. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87557>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

### 6.3 Artigo 3

#### **Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida como técnica de apoio à decisão no gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no município de Garibaldi/RS<sup>3</sup>**

*Application of Life Cycle Assessment as a decision support technique in the management of municipal solid waste in the city of Garibaldi/RS*

#### **Resumo**

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem se apresentado como uma técnica eficiente para avaliar os sistemas de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), servindo como apoio à tomada de decisão do melhor modelo a ser adotado. O objetivo desta pesquisa foi analisar cenários com diferentes alternativas de tratamento e disposição final de RSU, utilizando a técnica da ACV e tendo como base de estudo o município de Garibaldi (RS). Foram simulados cinco cenários integrando processos como a reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia e incineração, para os quais foi elaborado o Inventário do Ciclo de Vida utilizando o programa computacional IWM-2. Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foram aplicados cálculos atribuídos às categorias de impacto ambiental, a citar, Mudanças Climáticas, Formação de Foto-oxidantes, Acidificação, Eutrofização, Toxicidade Humana, e aos indicadores Uso de Energia e Disposição de resíduos sólidos secos e orgânicos em aterro. Os cenários com tecnologias associadas apresentaram o melhor desempenho ambiental. A reciclagem apresentou-se como a prática predominante para reduzir os impactos ambientais. As etapas de separação e coleta seletiva são fundamentais para a eficiência dos processos. Conclui-se que, a ACV facilita a comparação de diferentes rotas tecnológicas, possibilitando aos gestores e usuários decidir as tecnologias com as menores cargas ambientais para o serviço público de gerenciamento de RSU.

**Palavras-chave:** Avaliação do Ciclo de Vida. Resíduos Sólidos Urbanos. Indicadores ambientais.

#### **Abstract**

The Life Cycle Assessment (LCA) has emerged as an effective technique to evaluate the municipal solid waste management systems (MSW), serving as support for decision making of the best model to be adopted. The objective of this research was to analyze scenarios with different alternatives of treatment and final disposal of MSW, using the LCA technique and with the study based on the city of Garibaldi (RS). Five scenarios were simulated integrating processes such as recycling, composting, anaerobic digestion and incineration, for which the Life Cycle Inventory was prepared by means of the IWM-2 software. For the Life Cycle Impact Assessment (LCIA) were applied calculations assigned to the categories of environmental impact, namely Climate Change, Photo-oxidants Formation, Acidification, Eutrophication and Human Toxicity, and indicators Energy Use and Recycables Waste and Organic Waste Disposal into landfills. The scenarios with associated of different treatment technologies presented the best environmental performance. Recycling has shown itself as the predominant practice to reduce environmental impacts. Steps of separation and selective collection are fundamental to the efficiency of processes. In conclusion, LCA facilitates comparison of different technological routes or scenarios, enabling managers and users to decide which are the technologies with lower environmental burdens for the public service of MSW management.

<sup>3</sup> Artigo submetido à Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.

**Keywords:** Life Cycle Assessment. Municipal Solid Waste. Environmental indicators.

## INTRODUÇÃO

A partir da Política Nacional de Resíduos Sólidos, sancionada em 2010, os municípios brasileiros foram obrigados a repensar a limpeza urbana e o manejo de resíduos. Esta responsabilização e a complexidade das ações impostas pela lei levaram à busca por alternativas para o correto tratamento e disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

O diagnóstico do manejo de RSU realizado por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) apontou no ano de 2013, que a coleta de resíduos domiciliares e públicos nos municípios brasileiros alcançou o montante de 61,1 milhões de toneladas, o que equivale a 167,5 mil toneladas por dia (BRASIL, 2015).

Ainda, de acordo com o diagnóstico, os aterros sanitários permanecem como a tecnologia predominante para a disposição de RSU, seguido por unidades de triagem e compostagem. Da massa total coletada em 2013, 50% foi disposta em aterro sanitário, 17% em aterros controlados, 11% em lixões e somente 2% seguiram para unidades de triagem e de compostagem, restando uma parcela de 20% sem informação (BRASIL, 2015).

Os municípios, ao se depararem com a quantidade de resíduos gerada em seu território, frente à necessidade de soluções práticas e imediatas, acabam adotando medidas desprovidas de análises técnicas, tomando por base principal a questão financeira para implementar novos mecanismos para o gerenciamento dos resíduos.

Teoricamente, a maior parte dos resíduos dispostos em aterro sanitário pode ser reciclada, porém, os fatores técnico e econômico inviabilizam vários processos, restando como alternativa o descarte. No entanto, deve-se atentar para a realidade econômica, uma vez que, nem sempre os municípios dispõem de recursos financeiros suficientes para a implantação e operação de técnicas para o tratamento de seus resíduos (DMITRIJEVAS, 2010).

Uma das principais dificuldades dos gestores e usuários é decidir entre as diferentes opções tecnológicas existentes. Segundo Mourad *et al.* (2002), nenhum sistema de gerenciamento consegue tratar todo o material presente nos resíduos sólidos urbanos com a adoção de um único tratamento. Faz-se necessário a aplicação de uma série de tratamentos incluindo, por exemplo, reciclagem, tratamento biológico, incineração e aterro.

Frente a este panorama, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) apresenta-se como uma técnica eficiente para o apoio à tomada de decisão do modelo a ser adotado para o gerencia-



mento de resíduos. Por considerar todo o ciclo de vida do sistema de gerenciamento, desde a geração até a disposição final, pode auxiliar as organizações governamentais no planejamento estratégico e na definição de processos de tratamento.

A ACV é definida como uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto ou serviço, a partir de um inventário de entradas e saídas (de recursos e energia, de emissões no ar, na água e no solo), desde a extração da matéria-prima até a disposição final (ABNT, 2001).

Xará (2001), exemplificando a aplicação da ACV na gestão de resíduos, aponta seu uso para avaliar diferentes cenários de tratamento, para o desenvolvimento de estratégias de gestão a longo prazo e para identificar as cargas ambientais associadas aos sistemas. Segundo o autor, a ACV ajusta-se à realidade local, usando dados da infraestrutura existente, de modo a viabilizar o planejamento da gestão dos resíduos de forma objetiva.

Para Massukado (2004), é recomendada a construção de cenários em situações onde a qualidade do gerenciamento está insatisfatória, o ambiente passou ou passa por mudanças e o agente responsável por tomada de decisões tem dificuldades para prever ou adaptar-se ao futuro.

Nesta perspectiva, o presente estudo teve como objetivo analisar diferentes cenários como proposições para o gerenciamento de RSU por meio da técnica de Avaliação do Ciclo de Vida, considerando os aspectos econômico e ambiental, de modo a obter resultados de apoio à tomada de decisão quanto ao modelo a ser adotado no sistema de gerenciamento de resíduos do município de Garibaldi (RS).

## **REFERENCIAL TEÓRICO**

Ao tratar sobre o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos (RSU), é relevante esclarecer inicialmente os conceitos de resíduos e de gerenciamento.

Para Tchobanoglos *et al.* (1993), resíduos sólidos são todos os resíduos resultantes de atividades humanas e animais, geralmente sólidos, e que são descartados como inúteis e indesejáveis. Segundo McDougall *et al.* (2004), um resíduo somente se torna resíduo no momento em que é descartado, quando não tem mais valor para seu dono. Na língua portuguesa a palavra ‘resíduo’ é traduzida como “o que resta de qualquer substância, resto” (FERREIRA, 2008), ou seja, aquilo que sobra.

A Lei Federal 12.305 (BRASIL, 2010) estabelece como RSU os resíduos de origem domiciliares, de atividades domésticas em residências urbanas, de limpeza urbana originários

de varrição, limpeza de logradouros e vias públicas, e demais serviços de limpeza urbana. Ainda, a mesma lei diferencia o termo rejeito como aquele resíduo para o qual não há possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, sendo a única alternativa a disposição final ambientalmente adequada.

A partir do momento em que são gerados, os resíduos necessitam receber o correto tratamento para evitar que se tornem causadores de impactos ambientais. Para isso, é importante adotar um sistema de gerenciamento eficaz que contemple todas as fases nas quais o resíduo passará, desde a sua origem até a disposição final.

O gerenciamento de resíduos sólidos engloba as etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento, destinação final dos resíduos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos (BRASIL, 2010). De acordo com Lima (2000), o gerenciamento de resíduos sólidos é pautado nos aspectos tecnológicos e operacionais, envolvendo fatores administrativos, gerenciais, econômicos, ambientais, de desempenho (produtividade e qualidade), incluindo a prevenção, redução, segregação, reutilização, acondicionamento, coleta, transporte, tratamento, recuperação de energia e destinação final.

Para definir um sistema de gerenciamento é fundamental conhecer a situação atual da geração de resíduos, bem como avaliar as possíveis rotas para o material, as tecnologias disponíveis, os aspectos ambientais e econômicos associados. Neste contexto, a ACV tem-se apresentado como uma técnica de gestão ambiental para auxiliar na tomada de decisões no gerenciamento de RSU.

Vários estudos já utilizaram a metodologia de ACV para o gerenciamento de resíduos. Xará (2001) exemplifica a aplicação desta técnica para avaliar os diferentes cenários de tratamento, desenvolver estratégias de gestão e avaliar as cargas ambientais associadas aos sistemas. Conforme suas características, a ACV ajusta-se a realidade local permitindo deste modo planejar de forma objetiva. Segundo Massukado (2004), apoiar-se na técnica de cenários é recomendado para tomar decisões quando o gerenciamento encontra-se insatisfatório, o ambiente passou ou passa por muitas mudanças e para buscar a diminuição de conflitos e diversidades internas. É considerada uma importante ferramenta de planejamento.

Reichert (2013), ao aplicar a Avaliação do Ciclo de Vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos do município de Porto Alegre (RS), abordou além da questão ambiental e econômica, a participação social na definição de modelos de gerenciamento. Os resultados mostraram que o uso de técnicas estruturadas, como a ACV, auxilia na construção de possíveis cenários futuros permitindo a escolha por alternativas que atendam a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), especialmente quanto à otimização da recicla-

gem com o envio apenas de rejeitos para aterro sanitário.

A estrutura metodológica da ACV inclui o Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV). O ICV tem a capacidade de anteceder as cargas ambientais envolvidas em um sistema de gerenciamento de resíduos. Esta etapa envolve a construção de um balanço de massa e energia a partir de entradas (resíduos, energia, outros materiais), e identificando as saídas com resultados expressos em: consumo de energia, emissões atmosféricas e líquidas, rejeito, material recuperado, composto e energia recuperada (MCDOUGALL, 2004).

Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) são utilizados os resultados do Inventário do Ciclo de Vida. Nesta etapa é realizada a classificação, caracterização e ponderação dos dados (ABNT, 2001). Na AICV os resultados do Inventário são associados a uma categoria de impacto como, por exemplo, mudanças climáticas. Na caracterização, colocam-se em uma mesma base diferentes parâmetros que contribuem para a mesma categoria, por exemplo, todas as substâncias que contribuem para as mudanças climáticas são somadas, expressas como equivalente de CO<sub>2</sub>, cuja grandeza é calculada a partir do potencial de aquecimento global de cada substância (MOURAD *et al.*, 2002).

A PNRS coloca como objetivo a universalização da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos com a adoção de mecanismos que assegurem além da sustentabilidade operacional, a sustentabilidade financeira, cabendo ao poder público local a limpeza urbana e o manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2010).

O sistema de cobrança de taxa de limpeza pública é o instrumento legal que permite o suporte financeiro para a execução dos serviços. Todavia, em grande parte dos municípios brasileiros os recursos provenientes desta taxa não cobrem as despesas da prestação do serviço (TENORIO *et al.*, 2004; JUCÁ, *et al.* 2014). Tal situação pode levar à disposição incorreta dos resíduos e reflete a limitação dos municípios para investimentos em novas tecnologias.

É nessa perspectiva teórica que este trabalho de insere, com o intuito de contribuir com às tomadas de decisões na definição de modelos a serem adotados no gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos.

## **METODOLOGIA**

A metodologia adotada para alcançar o objetivo proposto encontra-se dividido em cinco etapas principais, conforme descrito a seguir.

Destacando que, será adotado o termo resíduo sólido urbano (RSU) para englobar os

resíduos de origem domiciliar, de limpeza urbana, comercial, de prestadores de serviços e institucionais, devido a estes serem geralmente recolhidos pelo sistema de coleta pública e que integram os dados analisados na presente pesquisa, pois são normalmente gerenciados pelos municípios, em especial no município de Garibaldi.

O termo ‘coleta de resíduos sólidos mistos’ será adotado para designar os resíduos coletados sem prévia separação na fonte geradora (misturados). E, ‘coleta seletiva de resíduos sólidos’ para os resíduos previamente segregados no local gerador e coletados pela coleta seletiva do município.

### **Etapa 1: Levantamento de dados**

A primeira etapa iniciou com o levantamento de dados. Foram realizadas consultas em obras de referência e em publicações técnicas e científicas, verificando os estudos já desenvolvidos na área de RSU. Buscou-se junto a Secretaria Municipal de Meio Ambiente do município de Garibaldi, informações e registros documentados do sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos. Visitou-se a cooperativa de catadores que procede com a triagem dos resíduos provenientes da coleta seletiva, onde se identificou o material separado, comercializado, registros quantitativos e destinação adotada.

Ainda, para constituir os dados, realizou-se a determinação da composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta não seletiva, e a composição do rejeito proveniente da etapa de triagem dos resíduos da coleta seletiva, seguindo o método de quarteamento, conforme descrito por Pessin *et al.* (2002).

Após o quarteamento, em ambas as amostragens, os componentes presentes na amostra foram identificados e diferenciados nas seguintes categorias: matéria orgânica (cascas, restos de alimentos, resíduo verde de poda), plásticos, papel/papelão, vidros, metais, material têxtil, rejeitos (papel higiênico, contaminantes biológicos, outros).

A partir dos dados da composição dos resíduos mistos (coleta não seletiva), da composição do rejeito e do levantamento do material comercializado pela cooperativa, obteve-se o panorama geral da composição gravimétrica do RSU coletados no município, para posterior uso no ICV. Nesta etapa foram definidos os limites do sistema, abrangendo todo o ciclo de vida dos resíduos desde a sua geração, a coleta, o transporte, o transbordo, o tratamento, a destinação e disposição final.

## Etapa 2: Sistematização de cenários

Na segunda etapa, procedeu-se com a sistematização dos cenários, identificando as etapas do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município, a fim de elaborar o cenário base.

O cenário CEN 1BASE representa o modelo de gerenciamento adotado no município de Garibaldi, referente ao ano de 2013, abrangendo a coleta de resíduos seletivos e mistos, transporte, triagem dos resíduos seletivos, reciclagem e disposição final em aterro sanitário. Neste cenário, o serviço de coleta de resíduos sólidos domiciliares atende 100% da área municipal.

Considerando as metas da PNRS, diminuindo gradativamente a quantidade de material disposta em aterro, foram propostos cinco cenários com diferentes rotas tecnológicas para o gerenciamento dos resíduos. A unidade funcional adotada para o fluxo de massa em todos os cenários, em cada etapa, foi tonelada por ano (t/ano). As etapas dos cenários, bem como a massa de resíduos contabilizada em cada fase, encontram-se apresentadas na Tabela 15.

Tabela 15 - Massa de resíduos (t/ano) nos cenários propostos

Cenários	Coleta (t/ano)		Tratamento (t/ano)					Destinação Final (t/ano)		
	Seletiva	Resíduos Mistos	Triagem - Seletiva	Triagem - Mistos	Digestão Anaeróbia	Compostagem	Incineração	Aterro Sanitário	Reciclagem de Material	Combustão
<b>CEN 1BASE</b>	1.869	5.393	1.869	0	0	0	0	6.430	832	0
<b>CEN 2TOT</b>	1.869	5.393	1.869	0	0	0	0	5.673	1.589	0
<b>CEN 3CTRAS</b>	2.904	4.358	2.904	0	0	0	0	4.706	2.556	0
<b>CEN 4TRCAS</b>	2.904	4.358	2.904	4.358	0	1.883	0	2.330	3.991	941
<b>CEN 5TRDAS</b>	2.904	4.358	2.904	4.358	1.883	1.318	0	2.321	3.717	1.224
<b>CEN 6TRIAS</b>	2.904	4.358	2.904	4.358	0	1.883	2330	469	3.994	2.799

No cenário CEN 2TOT, é simulada uma otimização da reciclagem de material proveniente da coleta seletiva de resíduos. Neste cenário, considera-se que da coleta seletiva somente o rejeito e a matéria orgânica presente sejam encaminhados para aterro sanitário, que somado aos resíduos da coleta mista, representa 78% do total de resíduos coletados. Sendo 22% do efetivamente reciclado.

No cenário CEN 3CTRAS, sugere-se que ocorra uma melhora na separação na fonte

geradora, conseqüentemente, um aumento do índice de resíduos seletivos encaminhados para a triagem e reciclagem. Assim, a coleta de resíduos seletivos apresentaria 2.904 t/ano, com 12% (348 t/ano) de rejeito e 35% (2.556 t/ano) de material efetivamente reciclado. E, a coleta de resíduos mistos apresentaria 4.358 t/ano. Do total de resíduos gerenciados, 65% (4.706 t/ano) ainda teriam como destino o aterro sanitário.

Para o cenário CEN 4TRCAS, com base nos dados da composição gravimétrica, tem-se que, do total de 4.358 t/ano de resíduos mistos coletados, 43,2% (1.883 t/ano) consiste em matéria orgânica. Assim, é proposto neste cenário o tratamento por compostagem.

No cenário CEN 5TRDAS, simula-se o tratamento da matéria orgânica por digestão anaeróbia, com geração de energia a partir do biogás gerado, seguida por compostagem. Assim, do total de 4.358 t/ano de resíduos mistos coletados, 43,2% (1.883 t/ano) consiste em matéria orgânica que pode ser destinada ao tratamento biológico.

Para o cenário CEN 6TRIAS, além do tratamento biológico (compostagem), sugere-se o envio do rejeito proveniente das etapas de triagem (de resíduos seletivos e mistos) e da compostagem, para o tratamento térmico (incineração), com recuperação de energia. Nesta simulação, considerou-se o encaminhamento do rejeito para uma central de incineração regional, sendo contabilizado, portanto, o transporte do material da unidade de triagem e compostagem até a unidade de tratamento.

### **Etapa 3: Inventário do Ciclo de Vida**

Nesta etapa foram quantificadas todas as entradas (resíduos, energia, materiais) e saídas (emissões para o ar, para a água e resíduo sólido final) do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. No ICV, considerou-se como início do ciclo de vida do resíduo o momento de sua geração (quando disposto em cesto), até o momento em que retorna ao ambiente na forma de rejeito, composto ou energia.

Para a construção e análise do Inventário do Ciclo de Vida foi utilizado o programa computacional *Integrated Solid Waste Management* (IWM-2). O programa, modelado por McDougall *et al.* (2001), permite simular cenários a partir de dados como geração, coleta, tratamento e disposição final de resíduos, determinando as cargas ambientais e os impactos potenciais relacionados ao sistema. Como resultados, o programa totaliza o consumo total de energia no cenário proposto, as emissões atmosféricas, emissões líquidas e material residual.

#### Etapa 4: Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

Para a Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) foram utilizados indicadores ambientais classificados por categoria de impacto. As categorias selecionadas foram com base em Den Boer *et al.* (2005a, 2005b), e encontram-se, com os respectivos indicadores, apresentadas na Tabela 16.

Tabela 16 - Categorias de impacto e indicadores ambientais para a AICV

Categoria de Impacto Ambiental	Resultado do ICV relacionado à categoria de impacto		Resultado do Indicador - expresso em equivalente
	Substância emitida para a atmosfera	Substância emitida para a água	
<b>Mudanças climáticas (MdCl)</b>	CO <sub>2</sub> ; N <sub>2</sub> O; CH <sub>4</sub>	-	kg CO <sub>2</sub> eq.
<b>Formação de foto-oxidantes (FoFO)</b>	CO; CH <sub>4</sub> ; NO <sub>x</sub> ; SO <sub>2</sub>	-	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.
<b>Acidificação (Acid)</b>	Amônia, NO <sub>x</sub> ; SO <sub>2</sub>	-	kg SO <sub>2</sub> eq.
<b>Eutrofização (Eutr)</b>	Amônia, NO <sub>x</sub>	Amônio, DQO, Nitrato, Fosfato	kg PO <sub>4</sub> eq.
<b>Toxicidade Humana (ToHu)</b>	Amônia, Arsênico, Cadmio, Cromo, Cobre, Dioxinas, HCl, HF, Chumbo, Mercúrio, Níquel, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , Zinco	Arsênico, Bário, Cadmio, Cromo, Cobre, Dioxinas, Flúoreto, Chumbo, Mercúrio, Níquel, Fenóis, Zinco	kg C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> eq.

Fonte: Adaptado de DEN BOER *et al.* (2005a, 2005b)

A partir dos resultados gerados no Inventário do Ciclo de Vida de emissões gasosas e líquidas, por meio do programa IWM-2, foram realizados os cálculos dos indicadores ambientais conforme metodologia descrito por Den Boer *et al.* (2005b). O resultado em cada categoria de impacto foi normalizado, sendo o valor final dividido pelo fator de normalização sugerido por Guinée *et al.* (2001), resultando em termos de equivalentes populacionais (EP – habitantes).

Para possibilitar a comparação entre as categorias de impacto nos cenários avaliados, os valores normalizados foram divididos pelo número de habitantes do município, resultando o valor em porcentagem.

Além destas categorias, com base em Reichert (2013), foram aplicados mais três indicadores para avaliação dos cenários, a citar: Uso de Energia (equivalente energético líquido total do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos); disposição de resíduos sólidos “secos” potencialmente recicláveis dispostos em aterro sanitário; e, disposição de resíduos sólidos “orgânicos” potencialmente recicláveis dispostos em aterro sanitário.

Nesta etapa buscou-se identificar os cenários que melhor atenderiam a uma situação real de tomada de decisão no planejamento futuro do modelo de gerenciamento de resíduos

sólidos urbanos para o município de Garibaldi, como apoio à tomada de decisão.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A AICV foi realizada para os seis cenários, cujos resultados para cada categoria de impacto e para os indicadores ambientais encontram-se descritos a seguir. Destaca-se que, os resultados nos gráficos que apresentam valores negativos indicam que há ganho ambiental (redução de emissões). E, os valores positivos apontam os impactos ambientais (emissões líquidas e gasosas).

Na Figura 30 são apresentados os resultados normalizados referentes às categorias de impacto Mudanças Climáticas (MdCl), Formação de Foto-oxidantes (FoFO), Acidificação (Acid), Eutrofização (Eutr) e Toxicidade Humana (ToHu), expresso em Equivalente Populacional (%).

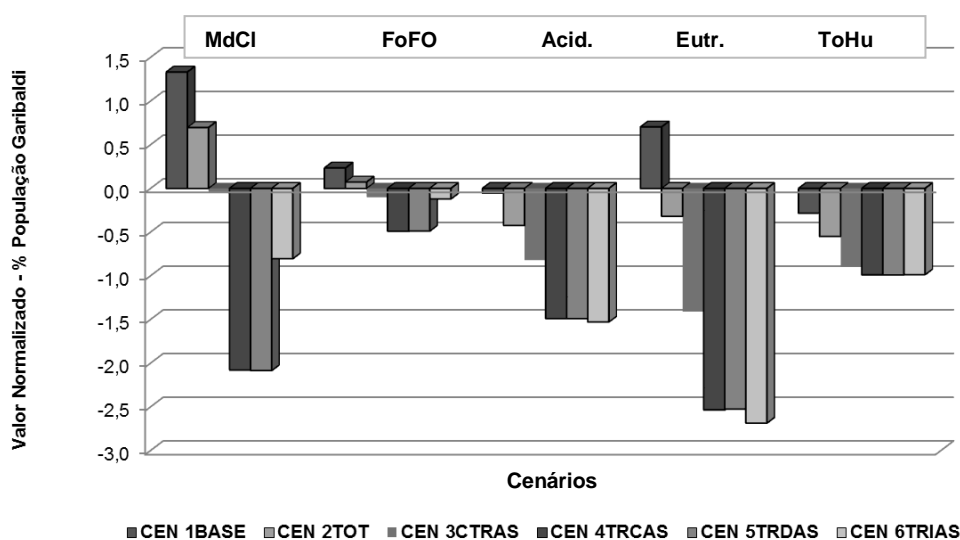


Figura 30 - Resultado normalizado das categorias de impacto ambiental dos cenários

### Categoria Mudanças Climáticas (MdCl)

Analisando a Figura 30, é possível verificar que o cenário CEN 1 BASE (cenário atual) apresentou a maior contribuição para a categoria Mudanças Climáticas, ou seja, o cenário que concentrou a maior emissão de gases causadores do efeito estufa para a atmosfera, sendo, portanto o mais desfavorável.

Observa-se também, que do cenário CEN 1BASE para o cenário CEN 2TOT, onde a



única alteração foi o aumento da quantidade de resíduos seletivos reciclados, há uma redução em torno de 48% da emissão de gases, chegando a uma redução de 96% no cenário CEN 3CTRAS, com a melhoria da separação dos resíduos na fonte geradora.

Os demais cenários, CEN 4TRCAS, CEN 5TRDAS e CEN 6TRIAS, apresentaram o melhor desempenho, com a menor emissão de gases, a destacar, a menor emissão de CO<sub>2</sub> eq./ano que provém principalmente da decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Lembrando que, nestes cenários, houve redução de material disposto em aterro sanitário.

Para melhor evidenciar os resultados nesta categoria, na Tabela 3 são apresentadas as emissões por etapa dos cenários avaliados.

Tabela 17 - Emissões na categoria Mudanças Climáticas por etapa

Cenários	Etapas (kg CO <sub>2</sub> eq./ano)						Total
	Coleta	Triagem	Trat. Biológico	Trat. Térmico	Aterro	Reciclagem	
CEN 1BASE	346.709,59	546,52	0,00	0,00	3.703.356,73	-1.086.478,00	2.964.134,84
CEN 2TOT	313.470,85	546,52	0,00	0,00	3.311.568,60	-2.075.295,62	1.550.290,35
CEN 3CTRAS	332.998,07	846,02	0,00	0,00	2.706.017,86	-3.149.386,40	-109.524,46
CEN 4TRCAS	332.998,07	846,02	6.405,81	0,00	263.798,90	-5.230.151,73	-4.626.102,93
CEN 5TRDAS	332.998,07	846,02	-6.701,22	0,00	257.688,98	-5.222.858,79	-4.638.026,95
CEN 6TRIAS	332.998,07	846,02	15.271,52	3.084.690,11	11.095,27	-5.235.003,01	-1.790.102,02

Os resultados, conforme Tabela 17, apontam que a etapa que mais contribuiu com emissões de substâncias para a atmosfera, em todos os cenários, foi o aterro sanitário. A reciclagem foi a etapa que mais contribuiu para evitar tais emissões, uma vez que, evita a retirada de novas matérias-primas do ambiente, gerando produtos a partir dos resíduos.

### **Categoria Formação de Foto-oxidantes (FoFO)**

Considerando o balanço total de Formação de Foto-oxidantes, verifica-se na Figura 1 que os Cenários CEN 4TRCAS e CEN 5TRDAS apresentaram a maior redução na emissão dos poluentes, ou seja, o menor impacto ambiental. Tal fato deve-se a menor quantidade de resíduos disposta em aterro, uma vez que, no cenário 4 adota-se a compostagem como forma de tratamento da matéria orgânica e no cenário 5 a digestão anaeróbia, além da reciclagem de resíduos seletivos em ambos os cenários.

Observa-se que os cenários CEN 3CTRAS, onde há a maior quantidade de resíduos seletivos reciclados, e CEN 6TRIAS, onde se adota a incineração, o benefício ambiental ficou próximo, apresentando um melhor desempenho em relação aos cenários CEN 1BASE e CEN

2TOT, que apresentam a maior quantidade de material disposto em aterro. Na Tabela 18 são apresentados os resultados por etapa dos cenários avaliados nesta categoria de impacto.

Tabela 18 - Emissões na categoria Formação de Foto-oxidantes por etapa

Cenários	Etapas (kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq./ano)						
	Coleta	Triagem	Trat. Biológico	Trat. Térmico	Aterro	Reciclagem	Total
CEN 1BASE	246,76	0,11	0,00	0,00	717,38	-352,58	611,67
CEN 2TOT	223,10	0,11	0,00	0,00	640,24	-673,47	189,99
CEN 3CTRAS	237,00	0,18	0,00	0,00	524,34	-1026,35	-264,84
CEN 4TRCAS	237,00	0,18	1,32	0,00	80,28	-1594,51	-1.281,60
CEN 5TRDAS	237,00	0,18	-1,13	0,00	79,05	-1593,52	-1.278,43
CEN 6TRIAS	213,57	0,07	6,22	-0,14	7,10	-544,36	-317,55

De acordo com os resultados, verifica-se a formação de Foto-oxidantes principalmente na etapa de coleta, onde pode ocorrer a formação de compostos voláteis devido à queima incompleta e à evaporação de combustíveis.

Assim, a etapa de coleta apresentou a maior emissão de gases poluentes (valores positivos) e a etapa de reciclagem o melhor desempenho (valores negativos). No balanço geral, os cenários CEN 4TRCAS e CEN 5TRDAS apresentaram o melhor desempenho ambiental.

### **Categoria Acidificação (Acid)**

De acordo com os gases avaliados nesta categoria, observou-se que valores revelaram-se negativos em todos os cenários. Verificou-se o menor impacto ambiental nos cenários CEN 4TRCAS, CEN 5TRDAS e CEN 6TRIAS, onde além da reciclagem de resíduos seletivos, adotaram-se os processos de compostagem, digestão anaeróbia e incineração, respectivamente.

Destaca-se a alteração dos valores do CEN 1BASE para o CEN 3CTRAS, onde a proposta para o cenário foi a melhoria nas etapas de coleta e triagem, sem inserir novos tratamentos no sistema de gerenciamento, fomentando assim a reciclagem. O resultado refletiu diretamente no desempenho ambiental, com a redução na emissão de gases com potencial de acidificação.

Na Tabela 19, estão expressos os valores das emissões em todos os cenários e em cada etapa do sistema de gerenciamento de resíduos para a categoria de impacto.

Tabela 19 - Emissões na categoria Acidificação por etapa

Cenários	Etapas (kg SO <sub>2</sub> eq./ano)						
	Coleta	Triagem	Trat. Biológico	Trat. Térmico	Aterro	Reciclagem	Total
CEN 1BASE	3.542,69	2,01	0,00	0,00	1.921,49	-6.398,20	-932,01
CEN 2TOT	3.203,05	2,01	0,00	0,00	1.694,85	-12.221,28	-7321,37
CEN 3CTRAS	3.402,58	3,12	0,00	0,00	1.406,85	-18.972,43	-14.159,87
CEN 4TRCAS	3.402,58	3,12	23,38	0,00	683,66	-29.791,09	-25.678,34
CEN 5TRDAS	3.402,58	3,12	-19,35	0,00	679,74	-29.763,78	-25.697,68
CEN 6TRIAS	3.402,58	3,12	113,97	-174,36	113,15	-29.802,18	-26.343,72

Observou-se que, embora em menor escala, a etapa de triagem também aparece com valores positivos ao indicador, apontando, principalmente, o consumo de energia. De um modo geral, nesta categoria de impacto, a reciclagem foi a etapa que mais contribuiu para a redução da emissão de substâncias para a atmosfera (valores negativos), e a etapa de coleta foi a etapa que apresentou o maior potencial de emissões (valores positivos).

### Categoria Eutrofização (Eutr)

De acordo com os resultados, o cenário CEN 1BASE foi o que apresentou o maior potencial de eutrofização, sendo que os demais cenários apresentaram contribuição negativa, ou seja, ocorreu benefício ambiental.

O cenário que apresentou o menor potencial de eutrofização foi o CEN 6TRIAS, onde os resíduos são encaminhados para a reciclagem (seletivos), compostagem (matéria orgânica) e o rejeito para incineração, conseqüentemente menor a quantidade de material disposto em aterro sanitário. Lembrando que, a decomposição da massa de resíduos no aterro sanitário gera líquidos (lixiviado) e gases, influenciando diretamente na categoria de impacto Eutrofização. Na Tabela 20, encontram-se os valores das emissões nesta categoria.

Tabela 20 - Emissões na categoria Eutrofização por etapa

Cenários	Etapas (kg PO <sub>4</sub> eq./ano)						
	Coleta	Triagem	Trat. Biológico	Trat. Térmico	Aterro	Reciclagem	Total
CEN 1BASE	789,40	0,18	0,00	0,00	428,57	-695,45	522,69
CEN 2TOT	713,72	0,18	0,00	0,00	378,02	-1.328,40	-236,47
CEN 3CTRAS	758,18	0,27	0,00	0,00	313,79	-2.119,89	-1.047,64
CEN 4TRCAS	758,18	0,27	16,42	0,00	152,41	-2.809,87	-1.882,59
CEN 5TRDAS	758,18	0,27	19,08	0,00	151,54	-2.805,79	-1.876,71
CEN 6TRIAS	758,18	0,27	36,61	-4,20	25,20	-2.810,87	-1.994,80

Os valores sustentam que a etapa de reciclagem, novamente, contribuiu para minimizar os impactos ambientais nos cenários avaliados, neste caso, da categoria Eutrofização.

### **Categoria Toxicidade Humana (ToHu)**

De acordo com os resultados observados na Figura 1, os cenários CEN 4TRCAS, CEN 5TRDAS e CEN 6TRIAS foram os que apresentaram os valores mais negativos, representando um maior benefício ambiental em relação aos demais.

Destaca-se que, o indicador toxicidade compreende o impacto negativo sobre o meio ambiente. Nos cenários avaliados, observou-se que a reciclagem dos resíduos influencia diretamente no resultado global de avaliação desta categoria em cada cenário, uma vez que, quanto maior a quantidade de resíduos efetivamente reciclados, menor é o impacto ambiental.

Na Tabela 21, encontram-se os resultados das emissões na categoria de impacto Toxicidade Humana para todos os cenários avaliados por etapa.

Tabela 21 - Emissões na categoria Toxicidade Humana por etapa

Cenários	Etapas (kg C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> eq./ano)						Total
	Coleta	Triagem	Trat. Biológico	Trat. Térmico	Aterro	Reciclagem	
CEN 1BASE	7.345,89	57,38	0,00	0,00	14.330,79	-835.476,43	-813.742,36
CEN 2TOT	6.641,65	57,38	0,00	0,00	12.679,44	-1.595.852,32	-1.576.473,85
CEN 3CTRAS	7.055,38	94,28	0,00	0,00	10.386,44	-2.588.370,75	-2.570.834,58
CEN 4TRCAS	7.055,38	88,84	666,34	0,00	1.989,68	-2.844.915,76	-2.835.115,53
CEN 5TRDAS	7.055,38	88,84	-697,09	0,00	1.966,32	-2.844.896,16	-2.836.482,71
CEN 6TRIAS	7.055,38	88,84	854,18	5698,33	262,32	-2.845.274,86	-2.831.315,82

Com base na Tabela 21, evidencia-se novamente que, a reciclagem aparece como a etapa que mais contribuiu para a proteção ambiental.

### **Indicadores ambientais Uso de Energia e Disposição de resíduos em aterro**

Na Figura 31, é apresentado o resultado comparativo do indicador Uso de Energia nos cenários avaliados, expresso em GJ Energia equivalente ano (GJ eq./ano).

Conforme resultados, os valores apresentaram-se negativos para este indicador em todos os cenários avaliados. Isso se deve fundamentalmente em função da economia de energia na etapa de reciclagem, indicando no balanço geral que esta economia é superior a energia consumida. Destacam-se nos resultados, os cenários CEN 5TRDAS e CEN 6TRIAS, onde

além da reciclagem, ocorre geração de energia a partir dos processos de digestão anaeróbia e incineração.

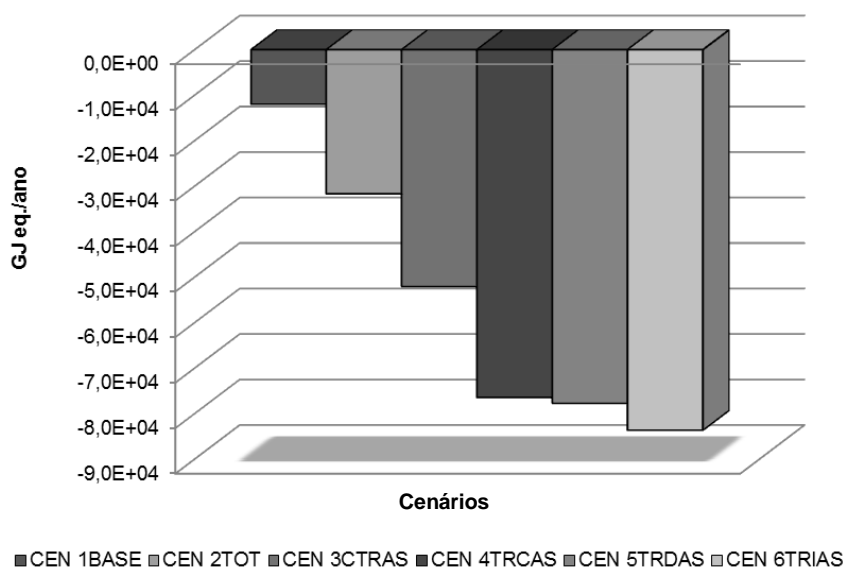


Figura 31 - Resultados do indicador Uso de Energia

Na Figura 32 são apresentados os resultados dos indicadores de disposição de resíduos sólidos “secos” (DRecAS) e disposição de resíduos sólidos “orgânicos” (DOrgAS).

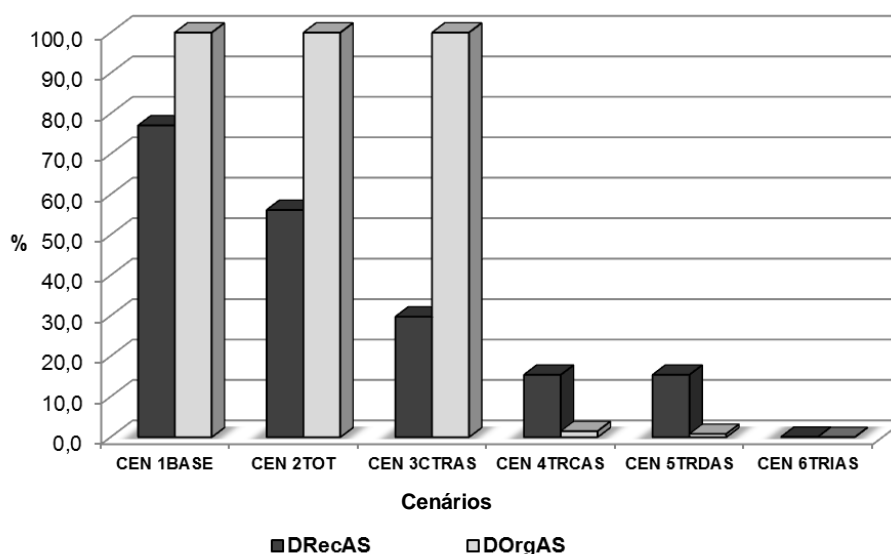


Figura 32 - Resultados dos indicadores DRecAS e DOrgAS

Comparando os resultados dos indicadores, observou-se que o Cenário CEN 1BASE apresentou a maior quantidade de resíduos seletivos potencialmente recicláveis dispostos em aterro sanitário, diminuindo gradativamente nos demais cenários avaliados, chegando a uma porcentagem mínima (0,1%) no CEN 6 TRIAS, onde foi disposto em aterro somente o rejeito

da etapa de incineração.

Nos resultados para o indicador DOrgAS, verificou-se que nos cenários CEN 1BASE, CEN 2TOT, CEN 3CTRAS, ocorreu a disposição de 100% da matéria orgânica potencialmente reciclável em aterro sanitário. Nos cenários CEN 4TRCAS (com compostagem), CEN 5TRDAS (com digestão anaeróbia) e CEN 6TRIAS (com compostagem e incineração de rejeitos) ocorreu uma diminuição gradativa de resíduos dispostos em aterro sanitário, chegando a 0,0% no cenário 6.

Elaborando um panorama comparativo quanto à destinação final dos resíduos, em % de massa recuperada ou reciclada por cenário avaliado, obteve-se como resultado Figura 33. Nesta, a massa recuperada na forma de combustão ou biodegradação expressa as saídas do sistema na forma de gases, como o dióxido de carbono, água (vapor d'água) e composto, como no caso da compostagem e da digestão anaeróbia. Na incineração, as saídas constituem-se de gases e cinzas. O material recuperado indica o resíduo efetivamente reciclado (seletivos, composto ou ferrosos removidos das cinzas do processo de incineração).

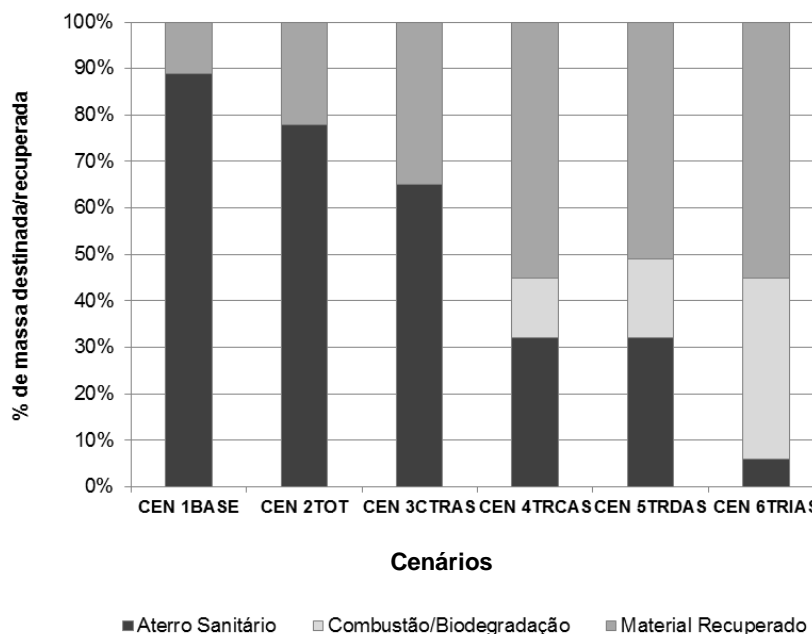


Figura 33 - Resultado comparativo da destinação final de massa de resíduos nos cenários

Comparando a destinação final dos resíduos, em cada cenário, observou-se que o CEN 1BASE foi o que apresentou o menor índice de recuperação. Nos cenários CEN 2TOT e CEN 3CTRAS o índice de recuperação aumentou, devido às melhorias na separação e na triagem dos resíduos. No CEN 4TRCAS, a massa foi recuperada por meio da reciclagem e da compostagem. No CEN 5TRDAS, a reciclagem associada à digestão anaeróbia seguida de composta-

gem, chegou a recuperar um total de 68%. O cenário CEN 6TRIAS, foi o que apresentou o melhor desempenho em recuperação de massa de resíduos, com a reciclagem, a compostagem e a incineração, dispondo somente 6% do total coletado em aterro sanitário.

De modo geral, os cenários propostos apresentaram uma redução gradativa de massa de resíduos disposta em aterro sanitário, à medida que, aumentou a quantidade de material recuperado. Considerando a heterogeneidade na composição dos resíduos, a utilização de processos de tratamento integrados possibilita a reintrodução de uma maior quantidade de material aos ciclos produtivos.

O retorno da matéria ao ambiente, na forma recuperada (produtos), ou por combustão ou biodegradação (gases, água), reduziu o potencial de impacto ambiental nos cenários avaliados, conforme revelado nas categorias e indicadores, e de acordo com o sistema de gerenciamento adotado, voltando assim ao ciclo de vida.

## CONCLUSÕES

O sistema atual de gerenciamento de resíduos do município (cenário base) apresentou o maior potencial de impacto ambiental. Os cenários com diferentes técnicas de tratamento associadas apresentam o menor impacto ambiental.

A separação dos resíduos na origem e a coleta seletiva apresentaram-se como mecanismos fundamentais para a implementação dos processos de tratamento, evitando a contaminação do material por outros componentes presentes nos resíduos e auxiliando na eficiência do tratamento.

A reciclagem predomina, em todos os modelos avaliados, como a prática que mais contribuiu para minimizar, ou não gerar, impactos ambientais. Este resultado também foi apontado por Reichert e Mendes (2014).

As formas de tratamento como a compostagem, digestão anaeróbia e incineração, além do aumento da reciclagem de resíduos sólidos “secos”, são os únicos meios para alcançar a disposição final somente de rejeitos em aterro sanitário, conforme estabelece a PNRS.

Tais conclusões, a partir dos resultados da ACV, podem servir de apoio aos gestores para a tomada de decisão frente às diferentes opções tecnológicas de tratamento de RSU. Sob o aspecto ambiental, recomenda-se escolher o sistema que apresenta a menor carga ou dano ambiental. Sugere-se ainda, para a tomada de decisão, envolver outros critérios como o econômico e o social, comparando os benefícios dos diferentes sistemas de gerenciamento de resíduos quanto às cargas ambientais, os custos econômicos e a aceitabilidade social, sob a

premissa do desenvolvimento sustentável.

Assim, pode-se concluir que a aplicação da técnica de ACV por meio da simulação de cenários futuros permite orientar quanto às medidas a serem adotadas para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. Os resultados não indicam a melhor tecnologia para o gerenciamento dos RSU, mas apontam os processos que possam, de forma integrada, causar menos dano ao meio ambiente. Por fim, o estudo incentiva a realização de novas pesquisas no intuito de encontrar soluções para realidades semelhantes em outros municípios.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2001.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. *Legislação Republicana Brasileira*. Brasília, 2010.

BRASIL. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2013*. Brasília, DF: 2015.

DEN BOER, E.; DEN BOER, J.; JAGER, J.; RODRIGO, J.; MENESES, M.; CASTELLS, J.; SCHANNE, L. *Deliverable Report on D3.1 and D3.2: Environmental Sustainability Criteria and Indicators for waste management (Work package 3)*. Darmstadt: Technische Universität Darmstadt, 2005a, 198p.

DEN BOER, E.; DEN BOER, J.; BERGER, J.; JAGER, J. *Waste management planning and optimization. Handbook of municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems*. Stuttgart: Ibidem-Verlart, 2005b, 306p.

DMITRIJEVAS, C. Análise de Ecoeficiência de Técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia Associada a Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Nuclear, São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-02082011-091654/pt-br.php>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

FERREIRA, A. B. H. *Miniaurélio: o minidicionário da língua portuguesa*. 7. ed. Curitiba: Positivo, 2008.

GUINÉE, J.B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A. *Handbook on life cycle assessment: an operational guide to the ISO standards*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, 692 p.

JUCÁ, José Fernando Thomé (Coord.) et al. *Análise das diversas tecnologias de tratamento e*



*disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão*. Jabotão dos Guarapes: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014.

LIMA, J. D. *Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil*. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção Paraíba, 2000, 267 p.

MASSUKADO, L. M. Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares urbanos. 2004. 272 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, São Carlos, 2004. Disponível em:

<[www.bdtd.ufscar.br/htdocs/.../tde\\_busca/processaArquivo.php](http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/.../tde_busca/processaArquivo.php)> . Acesso em: 25 nov. 2012.

MCDUGALL, F. R.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. *Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory*, 2 ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001, 513 p.

MCDUGALL, F.R.; WHAITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. *Gestión Integral de Residuos Sólidos: inventario de ciclo de vida*. Primera edición traducida. Caracas: Procter & Gamble, 2004, 620 p.

MOURAD, A.L.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. *Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações*. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002, 92 p.

PESSIN, N., SILVA, A.R., DE CONTO, S.M., PANATOTTO, T.P., BEAL, L.L. *Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos*. In: JUNIOR, Armando Borges de Castilhos *et al.* (Org.). Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 13-17.

REICHERT, G. A. Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre. 2013. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87557>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

REICHERT, G.A.; MENDES, C.A.B. Avaliação do ciclo de vida e apoio à decisão em gerenciamento integrado e sustentável de resíduos sólidos urbanos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 3, p. 301-313, jul./set. 2014.

TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. *Integrated solid waste management: engineering principles and management issues*. Boston: McGraw-Hill, 1993, 978 p.

TENORIO, J. A. S., *et al.* Controle Ambiental de Resíduos. In: PHILIPPI JR., A. *et al.* Curso de Gestão Ambiental. Barueri: Manole, 2004. p. 155-211.

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*. Repositório Institucional. Universidade Católica Portuguesa: Porto, 2001. Disponível em: <[repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/6966](http://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/6966)>. Acesso em: 19 nov. 2012.

## 6.4 Resultados complementares e análise de custos

A Avaliação do Ciclo de Vida compreende os resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) e da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV).

O ICV, conforme descrito anteriormente, permite prever o desempenho ambiental dos sistemas de gerenciamento de RSU em termos de consumo e geração de energia, emissões líquidas e gasosas, material recuperado e resíduo final. Assim, no Apêndice A encontram-se os parâmetros de emissões líquidas e gasosas, bem como uso e geração de energia, resultantes do ICV de cada cenário simulado, os quais foram utilizados para a AICV, cujos resultados foram discutidos nos artigos.

No Apêndice C, encontram-se apresentados em forma de gráficos os resultados comparativos dos cenários, ilustrando as tabelas de emissões por categoria demonstradas no Artigo anterior.

Ainda, foi realizada a análise dos cenários propostos sob o aspecto econômico, considerando os custos em cada etapa dos sistemas de gerenciamento de resíduos.

Para melhor evidenciar os resultados da análise de custos, na Tabela 22, encontra-se a quantidade de resíduos, em t/ano, gerenciada em cada etapa dos cenários avaliados, de acordo com os Fluxos de massas apresentados na seção 5.2.

Tabela 22 – Quantidade de resíduos gerenciados por etapa (t/ano)

Etapa do Sistema	Especificação	Cenários					
		CEN 1BASE	CEN 2TOT	CEN 3CTRAS	CEN 4TRCAS	CEN 5TRDAS	CEN 6TRIAS
		t/ano	t/ano	t/ano	t/ano	t/ano	t/ano
Coleta (porta-a-porta)	<b>Total coletado</b>	7.262	7.262	7.262	7.262	7.262	7.262
	<b>Resíduos seletivos</b>	1.869	1.869	2.904	2.904	2.904	2.904
	<b>Resíduos mistos</b>	5.393	5.393	4.358	4.358	4.358	4.358
Unidade de Triagem	<b>Resíduos seletivos</b>	1.869	1.869	2.904	2.904	2.904	2.904
	<b>Resíduos mistos</b>	0	0	0	4.358	4.358	4.358
Unidade de transbordo	-	6.430	5.673	4.706	2.330	2.321	2.330
Transporte	Transporte <sup>1</sup>	1.037	280	348	348	348	2.330
	Transporte <sup>2</sup>	6.430	5.673	4.706	2.330	2.321	2.330
Tratamento	Compostagem	0	0	0	1.883	1.318	1.883
	Digestão anaeróbia	0	0	0	0	1.883	0
	Incineração	0	0	0	0	0	2.359
Disposição final	Aterro sanitário	6.430	5.673	4.706	2.330	2.321	469

<sup>1</sup> Transporte de material da unidade de triagem para a unidade de transbordo.

<sup>2</sup> Transporte de material da unidade de transbordo para a disposição final.

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com a metodologia descrita na seção 4.2.5 e com os dados obtidos (seção 5.5), na Tabela 23, são apresentados os resultados dos custos para o gerenciamento dos resí-

duos sólidos urbanos dos cenários avaliados.

Tabela 23 - Custos dos Cenários avaliados por etapa (R\$/ano)

Etapa do Sistema	Especificação	Cenários					
		CEN 1BASE	CEN 2TOT	CEN 3CTRAS	CEN 4TRCAS	CEN 5TRDAS	CEN 6TRIAS
		R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano	R\$/ano
Coleta (porta-a-porta)	Resíduos seletivos	603.902,52	603.902,52	661.759,68	661.759,68	661.759,68	661.759,68
	Resíduos mistos	585.362,64	585.362,64	533.395,54	533.395,54	533.395,54	533.395,54
Unidade de Triagem	Resíduos seletivos	224.843,16	419.088,15	552.146,40	552.146,40	537.411,83	537.411,83
	Resíduos mistos	-	-	-	712.363,89	691.976,11	691.976,11
Unidade de transbordo	-	169.149,96	149.236,04	123.797,78	61.293,84	61.057,09	61.293,84
Transporte	Transporte <sup>1</sup>	120.132,00	32.436,80	40.314,31	40.314,31	40.314,31	269.920,50
	Transporte <sup>2</sup>	546.738,00	482.371,18	400.147,86	198.118,25	197.352,17	198.118,25
Tratamento	Compostagem	-	-	-	119.464,23	114.379,17	142.354,36
	Digestão anaeróbia	-	-	-	-	492.558,50	-
	Incineração	-	-	-	-	-	325.086,10
Disposição final	Aterro sanitário	295.320,00	260.958,00	216.476,00	107.180,00	106.766,00	21.574,00
<b>Total</b>		<b>1.941.546,12</b>	<b>2.533.355,33</b>	<b>2.528.037,56</b>	<b>2.986.036,14</b>	<b>3.436.971,22</b>	<b>3.444.890,22</b>

<sup>1</sup> Transporte de material da unidade de triagem para a unidade de transbordo.

<sup>2</sup> Transporte de material da unidade de transbordo para a disposição final.

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 24, são apresentados os resultados de custos para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos dos cenários avaliados, em reais por tonelada (R\$/t), em cada etapa.

Tabela 24 - Custos dos Cenários avaliados por etapa em reais por tonelada (R\$/t)

Etapa do Sistema	Especificação	Cenários					
		CEN 1BASE	CEN 2TOT	CEN 3CTRAS	CEN 4TRCAS	CEN 5TRDAS	CEN 6TRIAS
		R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t	R\$/t
Coleta (porta-a-porta)	Resíduos seletivos	323,12	323,12	227,88	227,88	227,88	227,88
	Resíduos mistos	108,54	108,54	122,39	122,39	122,39	122,39
Unidade de Triagem	Resíduos seletivos	120,30	224,23	190,13	190,13	185,06	185,06
	Resíduos mistos	-	-	-	163,46	158,78	158,78
Unidade de transbordo	-	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31	26,31
Transporte	Transporte <sup>1</sup>	115,85	115,85	115,85	115,85	115,85	115,85
	Transporte <sup>2</sup>	85,03	85,03	85,03	85,03	85,03	85,03
Tratamento	Compostagem	-	-	-	63,44	86,78	75,60
	Digestão anaeróbia	-	-	-	-	261,58	-
	Incineração	-	-	-	-	-	139,52
Disposição final	Aterro sanitário	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00	46,00

<sup>1</sup> Transporte de material da unidade de triagem para a unidade de transbordo.

<sup>2</sup> Transporte de material da unidade de transbordo para a disposição final.

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os dados apresentados nas tabelas, têm-se os seguintes resultados:

- a) Na coleta de resíduos seletivos, a quantidade (t/ano) de resíduos recolhidos nos cenários 1 e 2 é equivalente (Tabela 22), o que corresponde a um mesmo custo, em

reais. Nos cenários 3, 4, 5 e 6, a quantidade de seletivos recolhida aumentou, resultando em um valor total maior, devido principalmente às despesas com combustível. Porém, em relação ao custo unitário (R\$/t), o valor diminuiu (Tabela 24), indicando uma otimização do serviço: maior quantidade de material recolhido em um mesmo percurso;

- b) Na coleta de resíduos mistos, a quantidade (t/ano) de resíduos recolhidos nos cenários 1 e 2 é equivalente (Tabela 22), o que corresponde a um mesmo custo. Nos cenários 3, 4, 5 e 6, a quantidade de resíduos mistos recolhida diminuiu, resultando em um valor total menor. Porém, em relação ao custo unitário (R\$/t), o valor aumentou, uma vez que, o montante recolhido foi menor;
- c) Para a triagem de resíduos seletivos, considerou-se um sistema semi-mecanizado. Do cenário 1 para o cenário 2, ambos com 1.869 t/ano triados, foi proposta uma otimização para a melhoria da separação do material, resultando em um custo maior, porém, mais vantajoso, possibilitando o aumento da reciclagem. Para os cenários 3, 4, 5 e 6, a quantidade de resíduo seletivo reciclada manteve-se a mesma, resultando em custos idênticos nestes cenários;
- d) Para a triagem de resíduos mistos, também considerou-se um sistema semi-mecanizado. Esta triagem foi proposta para os cenários 4, 5 e 6, vistos os tratamentos adotados (compostagem, digestão anaeróbia, incineração). A quantidade de material triado foi a mesma nos três cenários, portanto, com custos semelhantes, ocorrendo uma variação somente no cenário onde o único tratamento foi a compostagem;
- e) Os custos com a unidade de transbordo variaram nos cenários de acordo com os sistemas propostas, sendo os menores valores (R\$/ano) nos cenários 3, 4, 5 e 6, onde uma menor quantidade de resíduos foi encaminhada para tratamento e reciclagem, diminuído a necessidade de local para transferência;
- f) Os custos de transporte de material das unidades de triagem para a estação de transbordo variaram conforme os sistemas propostos: quanto menor a quantidade de material descartado no processo de triagem, menor o custo total (R\$/ano). Deste modo, o cenário 1 apresentou um custo mais elevado, seguido dos cenários 3, 4, 5 e 6, sendo que o cenário 2 apresentou o menor custo;
- g) Os custos de transporte de material da unidade de transbordo para a unidade de tratamento ou disposição final, variaram de acordo com a quantidade de rejeito gerado em cada cenário, conforme o sistema de tratamento proposto. Assim, o cenário

CEN 1BASE mostrou-se com o custo mais elevado; e, o cenário 6 com o menor valor, visto que neste, somente o rejeito do processo de incineração foi encaminhado para a disposição final;

- h) O tratamento biológico da matéria orgânica foi proposta em três cenários: CEN 4TRCAS (compostagem), CEN 5TRDAS (digestão anaeróbia seguida por compostagem) e CEN 6TRIAS (compostagem seguida por incineração). O cenário que apresentou o maior custo total (R\$/ano) para o tratamento biológico foi o cenário 5, visto que, neste ocorrem dois processos: a digestão anaeróbia e a compostagem. Porém, o cenário 5 foi o que gerou menos rejeito no tratamento biológico em relação aos cenários 4 e 6;
- i) O tratamento térmico foi proposto para o cenário CEN 6TRIAS, sendo encaminhado para a incineração somente os rejeitos provenientes da unidade de triagem e do processo de compostagem. Neste cenário, o custo de implantação contabilizado considera uma planta regional, sendo que o valor total (R\$/ano) pondera o custo diluído entre mais de um município;
- j) Os custos com a disposição final de rejeitos em aterro sanitário variaram nos cenários em relação à quantidade de material disposta: quanto maior a quantidade de rejeito disposto, maior o custo, considerando o mesmo valor unitário (R\$/t).

Na Tabela 25, são apresentados os resultados comparativos dos custos totais dos cenários avaliados, por ano e por tonelada.

Tabela 25 – Resultado comparativo dos custos totais dos cenários avaliados

<b>Cenário</b>	<b>Custo total anual (R\$/ano)</b>	<b>Custo por tonelada (R\$/t)</b>
<b>CEN 1Base</b>	1.941.546,12	267,36
<b>CEN 2TOT</b>	2.533.355,33	348,85
<b>CEN 3CTRAS</b>	2.528.037,56	348,12
<b>CEN 4TRCAS</b>	2.986.036,14	411,19
<b>CEN 5TRDAS</b>	3.436.971,22	473,28
<b>CEN 6TRIAS</b>	3.442.890,22	474,10

Fonte: Elaborado pela autora.

De acordo com os resultados dos cálculos de custos na Tabela 25, verifica-se que o Cenário 1BASE, que representa o sistema atual de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos adotado no município de Garibaldi, apresentou o menor custo. Porém, este é o cenário com o menor índice de reciclagem, a maior quantidade de material disposto em aterro sanitário, e

que apontou o maior potencial de impacto ambiental na Avaliação do Ciclo de Vida.

O Cenário 2TOT resultou em um aumento no custo por tonelada em torno de 30,5% em relação ao CEN 1BASE. Lembrando que, no cenário 2 a única alteração proposta em relação ao cenário base foi a otimização da reciclagem dos resíduos seletivos, considerando uma triagem semi-mecanizada.

Segundo JUCÁ et al., a mão de obra é o elemento mais significativo na composição dos custos de operação nos processos de segregação e triagem dos resíduos sólidos urbanos. Tal fato aponta a necessidade de estudos de custos específicos que considerem a triagem mecanizada ou semi-mecanizada, visto otimizar a separação dos componentes dos RSU e melhorar os processos de tratamento.

Ainda, observando a Tabela 25, os cenários com tecnologias de tratamento, CEN 4TRCAS (compostagem), CEN 5TRDAS (digestão anaeróbia seguida por compostagem), CEN 6TRIAS (incineração), apresentaram os custos mais elevados. Por outro lado, foram os cenários que apresentaram ganho ambiental na ACV.

No cenário 3, os custos se devem às etapas de coleta e de triagem de resíduos seletivos, onde foram propostas melhorias na separação e na triagem dos resíduos. No cenário 4, o tratamento biológico por meio de compostagem resultou no valor total anual de custos maior, em um aumento percentual em torno de 18% em relação ao cenário 3.

No cenário 5, com o tratamento biológico por meio da digestão anaeróbia seguido por compostagem, os custos deveram-se principalmente pelo processo de tratamento e quantidade resíduos dispostos em aterro sanitário. Neste cenário, considerou-se a implementação de uma unidade de tratamento no próprio município, com prazo de amortização do investimento inicial em 15 meses.

No cenário 6, com tratamento térmico (incineração) considerou-se uma planta para recebimento de resíduos regional, sem exclusividade para o município em estudo. Assim, os custos por tonelada neste cenário ficaram próximos do cenário 5 (digestão anaeróbia).

De modo geral, os custos dos cenários simulados aumentaram à medida que foram propostas melhorias nos sistemas de gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos com enfoque no desempenho ambiental.

Os resultados evidenciaram a necessidade de investimentos financeiros, além da disponibilidade de tecnologias para o gerenciamento dos resíduos em todo o seu ciclo de vida.

#### 6.4.1 Apoio à tomada de decisão

Conforme enunciado no início do trabalho, a metodologia aplicada neste estudo serve como apoio à tomada de decisão na definição de modelos de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. Assim, o estudo não define o melhor cenário ou a melhor tecnologia para o gerenciamento dos resíduos, mas aponta os sistemas que apresentaram o melhor desempenho ambiental, fazendo uma relação com os custos.

Com base nos resultados obtidos na ACV dos sistemas avaliados, têm-se as seguintes considerações:

- a) O sistema de gerenciamento de resíduos adotado no município (cenário base) apresentou o pior desempenho ambiental em todas as categorias e indicadores utilizados, ou seja, com o maior potencial de causar dano ambiental. Porém, em relação aos custos, apresentou os menores valores;
- b) A reciclagem predomina, em todos os cenários avaliados, como a prática que mais contribuiu para minimizar, ou não gerar, impactos ambientais. Além de reduzir as emissões líquidas e gasosas, evita a retirada de novas matérias-primas do ambiente, gerando produtos a partir dos resíduos. Porém, requer investimentos financeiros para potencializar o processo de triagem e demanda a participação dos agentes sociais (comunidade) na separação dos resíduos na fonte geradora. Cabe destacar que, a reciclagem tem importância como um dos mecanismos geradores de emprego e renda, e de valorização dos resíduos sólidos, atendendo ao disposto na PNRS;
- c) A separação dos resíduos na fonte geradora e a coleta seletiva são fundamentais nos modelos de gerenciamento que possuem processos de tratamento, pois, reflete diretamente na eficiência destes processos. Por outro lado, de acordo com a análise de custos, a coleta é uma das etapas que mais pondera sobre as despesas totais dos cenários. Porém, os custos poderão ser superados pela recuperação energética e de material, necessitando para tanto pesquisa mais detalhada quanto a viabilidade econômica do modelo como um todo;
- d) Diferentes tecnologias de tratamento associadas (reciclagem, compostagem, digestão anaeróbia, incineração) contribuem para minimizar os impactos ambientais no gerenciamento de RSU. Visto a heterogeneidade na composição dos resíduos, quando adotado mais de um processo de tratamento é possível reintroduzir aos ciclos produtivos uma maior quantidade de material, resultando em ganho ambien-

tal;

- e) A disposição final ambientalmente adequada somente de rejeitos, foi alcançada nos modelos avaliados com a introdução de processos de tratamento integrados em cada etapa do ciclo de vida do sistema. Evidenciando, a reciclagem como a etapa que mais recuperou, em porcentagem, massa de resíduos, reintroduzindo o material nos ciclos produtivos. Alcançando, portanto, uma das metas da PNRS e do Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Garibaldi, de reduzir a quantidade de resíduos disposta em aterro sanitário.

Tais considerações, a partir dos resultados da ACV, permitem identificar as oportunidades de melhorias de sistemas em operação e disponibilizar informações técnicas aos gestores como apoio a definição de modelos de gerenciamento de RSU. Com ênfase no desempenho ambiental, a reciclagem deve ser contemplada nestes modelos como a prática que mais contribui para a qualidade ambiental.



## 7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente estudo foi desenvolvido a partir do modelo de gerenciamento de RSU adotado no Município de Garibaldi. A cidade, que apresenta uma população média em torno de 32.578 habitantes, possui na administração pública os meios de controles do sistema de gerenciamento de resíduos, o que permite um autoconhecimento maior e pode favorecer os avanços no setor.

No cenário atual, o município já apresenta algumas das etapas do ciclo de vida do sistema de gerenciamento dos RSU. Possui implementada a coleta seletiva, de modo habitual junto à população, o que permite planejar o sistema de modo a inserir novos processos de tratamento, visando fomentar o retorno do material aos ciclos produtivos e diminuindo a quantidade disposta em aterro. Tem como prática rotineira a pesagem de todo o resíduo coletado, do rejeito proveniente da etapa de triagem e da quantidade enviada para aterro, o que viabiliza acompanhar a tendência da geração dos resíduos.

O levantamento de dados realizado neste estudo revelou a composição gravimétrica média dos RSU coletados no município e a composição dos resíduos dispostos em aterro sanitário. Conhecimento este que até então o município não dispunha e que pode contribuir para a implementação de processos de tratamento que considere a potencialidade do material disponível. Além de contribuir com informações atualizadas para o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos.

O uso da técnica da ACV possibilitou identificar o potencial de impacto ambiental em cada modelo de gerenciamento, bem como em suas etapas. Cabe ressaltar que, o controle rigoroso do município permitiu o uso de dados com mais confiabilidade dos números do Inventário do Ciclo de Vida.

A ACV auxiliou na avaliação de possíveis rotas tecnológicas para os resíduos, com tecnologias distintas para tratamento, revelando os ganhos e os impactos ambientais decorrentes destas tecnologias. Evidenciou a reciclagem como a prática com o maior benefício ambiental, sendo indicada para integrar o sistema público de gerenciamento de RSU.

A análise de custos revelou a necessidade de investimentos para a implementação de qualquer modelo que inclua processos de tratamento. Por outro lado, estes investimentos refletem em ganho ambiental, cooperando para diminuir possíveis impactos ambientais no gerenciamento dos resíduos.

Em relação ao aspecto econômico, recomenda-se a elaboração de metodologias para análise de custos baseadas na realidade brasileira. Ainda, recomenda-se considerar os valores

de mercado para reintrodução do material recuperado e recuperação energética, a fim de verificar a viabilidade econômica dos modelos de gerenciamento de RSU.

Sob o aspecto ambiental, recomenda-se escolher o sistema que apresenta a menor carga ou dano ambiental. Complementarmente, para a tomada de decisão do melhor modelo a ser adotado em um sistema público, sugere-se envolver outros critérios como o econômico e o social, comparando os benefícios dos diferentes sistemas de gerenciamento quanto às cargas ambientais, os custos econômicos e a aceitabilidade social, sob a premissa do desenvolvimento sustentável.

Assim, conforme resultados apresentados, pode-se concluir que a aplicação da técnica de ACV por meio da simulação de cenários futuros permite orientar quanto às medidas a serem adotadas para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos. O estudo alcançou o objetivo proposto, visto que, foi possível analisar diferentes cenários sob o aspecto ambiental e com relação aos custos, cujos resultados poderão servir de apoio à tomada de decisão frente aos modelos de gerenciamento.

Por fim, o estudo incentiva a realização de novas pesquisas no intuito de encontrar soluções para realidades semelhantes em outros municípios. Como sugestões de pesquisas para complementar ou reafirmar os resultados alcançados neste estudo, citam-se: a elaboração de um banco de dados sistematizado que permita um maior controle dos sistemas de gerenciamento de RSU, facilitando a aplicação da técnica de ACV de forma mais acessível aos gestores públicos; a elaboração de uma metodologia de análise de custos baseada na realidade brasileira; e, a aplicação de metodologia que considere o controle social.

## REFERÊNCIAS

ALBERTIN, R.M. et al. Diagnóstico da gestão dos resíduos sólidos urbanos do município de Flórida Paraná. **Revista Agroambiente On-line**, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 118-125, jul./dez. 2010. Disponível em: <<http://revista.ufr.br/index.php/agroambiente/article/view/378>>. Acesso em: 05 ago. 2012.

ARCILA, Rafaella Iliana Alves. **Panorama dos resíduos sólidos urbanos nos municípios de pequeno porte do Brasil**. 2008. 67 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa Regional de Pós-Graduação em desenvolvimento e Meio Ambiente, Natal, 2008. Disponível em: <[http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=1766](http://bdtd.bczm.ufrn.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=1766)>. Acesso em: 10 abr. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 11175**: Incineração de resíduos sólidos perigosos – padrões de desempenho. Rio de Janeiro, 1990.

\_\_\_\_\_. **NBR 8419**: Apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro, 1996.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_\_. **NBR 10004**: Resíduos sólidos - Classificação. Rio de Janeiro, 2004.

BARROS, Regina Mambeli. **Tratado sobre resíduos sólidos: gestão, uso e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 374 p.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade (Coord.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Porto Alegre: PROSAB, 2001.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 2007. Disponível em: <<http://legis.senado.leg.br/sicon/#>>. Acesso em: 04 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. In: SENADO FEDERAL. **Legislação Republicana Brasileira**. Brasília, 2010a. Disponível em: <<http://legis.senado.leg.br/sicon/#>>. Acesso: 04 ago. 2012.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília, DF: 2010b. 75p. Disponível em: <[http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/manual\\_de\\_compostagem\\_mma.pdf](http://www.cidadessustentaveis.org.br/sites/default/files/arquivos/manual_de_compostagem_mma.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, DF: 2012a. 106p. Disponível em: <[http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS\\_Revisao\\_Decreto\\_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657](http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657)>. Acesso em: 22 abr. 2015.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. **Planos de gestão de resíduos sólidos: manual de orientação**. Brasília, DF: 2012b. 156 p.

\_\_\_\_\_. Ministério das Cidades - Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos 2013**. Brasília, DF: 2015. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/PaginaCarrega.php?EWRErterterTERTer=106>> . Acesso em: 22 abr. 2015.

BRUSADIN, Maurício Benediti. **Análise de instrumentos econômicos relativos aos serviços de resíduos sólidos urbanos**. 2003. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil – Área de concentração em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, São Carlos, 2003. Disponível em: <[http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=93](http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/tedeSimplificado//tde_busca/arquivo.php?codArquivo=93)>. Acesso em: 13 abri. 2014.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos – ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

COSTA, João Pedro Fidalgo da. **Tratamento mecânico e biológico de resíduos sólidos urbanos: avaliação dos seu potencial para a recuperação de materiais recicláveis**. 2010. 92f. Relatório de Estágio de Mestrado em Ecologia Humana e Problemas Sociais Contemporâneos. Universidade de Nova Lisboa, Lisboa, 2010. Disponível em: <<http://run.unl.pt/bitstream/10362/5816/1/Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio%20de%20Mestrado%20cd.pdf>>. Acesso em: 21 jul. 2012.

DEMAJOROVIC, Jacques. A evolução dos modelos de gestão de resíduos sólidos e seus instrumentos. **Cadernos FUNDAP**, n. 20, p.47-58, 1996.

\_\_\_\_\_. Os desafios da gestão compartilhada de resíduos sólidos face a lógica do mercado. In: ENCONTRO ANUAL ANPPAS, II, 2004. São Paulo. **Anais eletrônicos**. São Paulo: ANPPAS, 2004. Disponível em: <[http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro2/GT/GT11/jacques\\_demajorovic.pdf](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT11/jacques_demajorovic.pdf)>. Acesso em: 13 abr. 2014.

DMITRIJEVAS, Cibele. **Análise de Ecoeficiência de Técnicas para tratamento e disposição de resíduos sólidos urbanos**. 2010. 131 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Autarquia Associada a Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologia Nuclear, São Paulo, 2010. Disponível em:< <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde-02082011-091654/pt-br.php>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

DEN BOER, E.; DEN BOER. J.; JAGER, J.; RODRIGO, J.; MENESES, M.; CASTELLS, J.; SCHANNE, L. **Deliverable Report on D3.1 and D3.2: Environmental Sustainability Criteria and Indicators for waste management (Work package 3)**. Darmstadt: Technische Universitaet Darmstadt, 2005a, 198p.

DEN BOER, E.; DEN BOER, J.; BERGER, J.; JAGER, J. **Waste management planning and optimization. Handbook of municipal waste prognosis and sustainability assessment of waste management systems.** Stuttgart: Ibidem-Verlart, 2005b, 306p.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para a compostagem de biossólidos.** Londrina: UEL, 1996. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/livros/Livro%20Compostagem.pdf>>. Acesso em: 09 mai. 2015.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. **Miniaurélio: o minidicionário da língua portuguesa.** 7. ed. Curitiba: Positivo, 2008.

FERREIRA, José Vicente Rodrigues. **Análise do ciclo de vida dos produtos.** Viseu: Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em: <[http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vi-da.pdf](http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf)>. Acesso em: 02 mai. 2014.

FIGUEIREDO, Paulo Jorge Moraes. **Os resíduos sólidos e sua significação frente ao impasse ambiental e energético da atualidade.** 1992. 330 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Campinas, 1992. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000062809&fd=y>>. Acesso em: 17 ago. 2014.

GARIBALDI. Prefeitura Municipal. **Plano Municipal de Saneamento Básico Participativo.** Garibaldi, RS: 2012. Disponível em: <<http://www.garibaldi.rs.gov.br>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

\_\_\_\_\_. Prefeitura Municipal. **Secretaria Municipal de Meio Ambiente - SMMA.** Garibaldi, RS: 2013.

GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. (Org.). **Métodos de Pesquisa.** Porto Alegre: UFRGS, 2009. Disponível em: <<ftp://ftp.sead.ufrgs.br/Publicacoes/derad005.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2014.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

GORGATI, Cláudia Queiroz. **Resíduos sólidos urbanos em área de proteção aos mananciais – Município de São Lourenço da Serra – SP: compostagem e impacto ambiental.** 2001. 82f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista Julio Mesquita Filho, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura, Botucatu, 2001. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/unesp/101902>>. Acesso em: 21 ago. 2014.

GRISI, C. C. H; BRITTO, R. P. Técnicas de Cenários e o Método *Delphi*: uma aplicação para o ambiente brasileiro. In: VI Seminário de Administração da USP, 2003, São Paulo. **Anais eletrônicos.** Disponível em: <[www.ead.fea.usp.br%2Fsemed%2F6semead%2FMKT%2F045Mkt%2520T%25E9cnica%2520de%2520Cen%25E1rios%2520M%25E9todo%2520Delphi.doc&ei=70tkU5KJMqywsASc5oHwCg&usg=AFQjCNFyyuv8JdukdHwdin8UTm](http://www.ead.fea.usp.br%2Fsemed%2F6semead%2FMKT%2F045Mkt%2520T%25E9cnica%2520de%2520Cen%25E1rios%2520M%25E9todo%2520Delphi.doc&ei=70tkU5KJMqywsASc5oHwCg&usg=AFQjCNFyyuv8JdukdHwdin8UTm)>

nTAmUa8A&bvm=bv.65788261,d.cWc>. Acesso em: 11 abr. 2014.

GUINÉE, J.B. et al. **Handbook on life cycle assessment: An operational guide to the ISO standards**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **PNSB 2008: abastecimento de água chega a 99,4% dos municípios, coleta de lixo a 100% e rede de esgoto a 55,2%**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Disponível em: <<http://saladeimprensa.ibge.gov.br/noticias?view=noticia&id=1&busca=1&idnoticia=1691>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

\_\_\_\_\_. **Censo demográfico 2010: sinopse do censo e resultados preliminares do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: 26 nov. 2012.

\_\_\_\_\_. **Cidades: Rio Grande do Sul - Garibaldi**. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=430860>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA - IPEA. **Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos: Relatório de Pesquisa**, Brasília: IPEA, 2012. Disponível em: <[http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009\\_relatorio\\_residuos\\_solidos\\_urbanos.pdf](http://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2013.

JUCÁ, José Fernando Thomé (Coord.) et al. **Análise das diversas tecnologias de tratamento e disposição final de resíduos sólidos urbanos no Brasil, Europa, Estados Unidos e Japão**. Jaboatão dos Guarapes: Grupo de Resíduos Sólidos – UFPE, 2014. Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/produos/download/chamada\\_publica\\_residuos\\_solidos\\_Relat\\_Final.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produos/download/chamada_publica_residuos_solidos_Relat_Final.pdf)>. Acesso em: 21 nov. 2014.

KÖCHE, José Carlos. **Fundamentos de Metodologia Científica**: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 30. ed. Petrópolis: Vozes, 2012.

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 em Gestão de Ciclo de Vida em Produtos e Serviços, 2., 2010, Florianópolis. **Artigos Científicos**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2010, p. 342, ref. 145-149. Disponível em: <<http://www.ciclodevida.ufsc.br/congresso/images/acv-2010.pdf>>. Acesso em: 09 dez. 2012.

LIMA, José Dantas de. **Gestão de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. João Pessoa: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção Paraíba, 2000, 267 p.

LIMA, José Dantas de. **Modelos de apoio à decisão para alternativas tecnológicas de tratamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil**. 2012. 435 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife, 2012. Disponível em: <[http://www.ietsp.com.br/uploads/text/3/final\\_tese\\_final\\_12\\_04\\_2013.pdf](http://www.ietsp.com.br/uploads/text/3/final_tese_final_12_04_2013.pdf)> . Acesso em: 22 out. 2014.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Sistema de apoio à decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos domiciliares urbanos**. 2004. 272 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal de São Carlos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, São Carlos, 2004. Disponível em: <[www.bdtd.ufscar.br/htdocs/.../tde\\_busca/processaArquivo.php](http://www.bdtd.ufscar.br/htdocs/.../tde_busca/processaArquivo.php)> . Acesso em: 25 nov. 2012.

MASSUKADO, Luciana Muyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal de resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Dissertação (Doutorado em Ciências e Engenharia Ambiental) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Ciências e Engenharia Ambiental, São Carlos, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18139/tde-18112008-084858/pt-br.php>>. Acesso em: 28 dez. 2013.

MCDOUGALL, F. R. Integrated Waste Management: LCA and its Practical Use Corporate Sustainable Development. In: Seminar “Lixo Municipal – Gerenciamento Integrado”, **Anais eletrônicos**. São Paulo: Procter & Gamble Technical Centres/UK, 2000.

MCDOUGALL, F. R.; WHITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Integrated Solid Waste Management: a Life Cycle Inventory**, 2 ed. Oxford: Blackell Science Ltda, 2001.

MCDOUGALL, F.R.; WHAITE, P.; FRANKE, M.; HINDLE, P. **Gestión Integral de Resíduos Sólidos: inventario de ciclo de vida**. Primera edición traducida. Caracas: Procter & Gamble, 2004.

MCDOUGALL, F. R. **Integrated Waste Management Model IWM-2, Version 2.50-1**. London (UK): Procter & Gamber, 2013.

MENDES, M. R; ARAMAKI T.; HANAKI, K. Assesment of the environmental impact of management measures for the biodegradable fraction of municipal solid waste in São Paulo City. **Waste Management**, Boston, 23 (2003) 403-409. 2003. Disponível em: <<http://data2.xjlas.ac.cn:81/UploadFiles/sdz/cnki/%E5%A4%96%E6%96%87/ELSEVIER/evirontmental%20risk%20assessment/84.pdf>>. Acesso em: 11 fev. 2013.

MESQUITA JUNIOR, José Maria de. **Gestão integrada de resíduos sólidos**. Mecanismo de desenvolvimento limpo aplicado a resíduos sólidos. Rio de Janeiro: IBAM, 2007.

MONTEIRO, J. H. P. et al. **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM/SEDU, 2001. Disponível em:<<http://www.resol.com.br/cartilha4/manual.pdf>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

MOURA, Luiz Antônio Abdalla de. **Qualidade e gestão ambiental: sustentabilidade e ISO 14.001**. 6.ed. rev. e atual. Belo Horizonte: Del Rey, 2011.

MOURAD, A.L.; GARCIA, E.E.C.; VILHENA, A. **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações**. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

MUCELIN, Carlos Albert; BELLINI, Marta. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 20, n. 1, 111-124, jun.2008. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1982-](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1982-)

45132008000100008&lng=pt&nrm=isso > . Acesso em: 25 nov. 2012.

NAIME, Roberto. **Gestão de resíduos sólidos: uma abordagem prática**. Novo Hamburgo: Feevale, 2004.

NUNESMAIA, Maria de Fátima. A gestão de resíduos urbanos e suas limitações. **Revista Baiana de Tecnologia**, Bahia, v. 17, n. 1, p. 120-129, jan./abr. 2002. Disponível em: < [http://www.unit.br/mestrado/saudeambiente/leitura2008/Gestao%20de%20Res%EDduos%20Urbanos%20\(Nunesmaia%202002\).pdf](http://www.unit.br/mestrado/saudeambiente/leitura2008/Gestao%20de%20Res%EDduos%20Urbanos%20(Nunesmaia%202002).pdf)>. Acesso em: 04 Ago. 2012.

PAVAN, Margareth de Cássia Oliveira Pavan. **Geração de energia a partir de resíduos sólidos urbanos: avaliação e diretrizes para tecnologias potencialmente aplicáveis no Brasil**. 2010. 187 f. Tese (Doutorado em Energia) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Energia, São Paulo, 2010. Disponível em: < [www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde.../TeseDefMargPavan.pdf](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/86/86131/tde.../TeseDefMargPavan.pdf) >. Acesso em: 25 nov. 2014.

PESSIN, N. et al. Concepção e implantação de células piloto de aterramento de resíduos sólidos. In: JUNIOR, Armando Borges de Castilhos et al. (Org.). **Alternativas de Disposição de Resíduos sólidos Urbanos para Pequenas Comunidades** (coletânea de trabalhos técnicos). Rio de Janeiro: ABES, 2002. p. 13-17.

REICHERT, Geraldo Antonio. **Apoio à tomada de decisão por meio da avaliação do ciclo de vida em sistemas de gerenciamento integrado de resíduos sólidos urbanos: o caso de Porto Alegre**. 2013. 301 f. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Porto Alegre, 2013. Disponível em: < <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/87557>>. Acesso em: 26 fev. 2014.

ROCHA, Candida Leonor Pinto. **Desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de resíduos de natureza orgânica**. 2007. 149 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) – Universidade de Aveiro, Programa de Pós-Graduação em Gestão e Políticas Ambientais, Aveiro, 2007. Disponível em:< <http://ria.ua.pt/handle/10773/4678>>. Acesso em: 29 mar. 2013.

ROSA NETO, Emitério. **Uso do inventário do ciclo de vida como ferramenta auxiliar na tomada de decisões no sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em São Luiz Gonzaga – Rio Grande do Sul**. 2007. 72 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Santa Cruz do Sul, 2007. Disponível em: < [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=121290](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=121290) >. Acesso em: 25 nov. 2012.

SANTOS, Maria Fernanda Nóbrega dos; BATTISTELLE, Rosane A.G.; HORI, Clara Y.; JULIOTI, Plínio Silvio. Importância da avaliação do ciclo de vida na análise de produtos: possíveis aplicações na construção civil. **Revista GEPROS - Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 6, n. 2, p. 57-73, abr./jun. 2011. Disponível em: < [revis-ta.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/882/369](http://revis-ta.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/882/369)>. Acesso em: 11 Fev. 2013.

SANTOS, Maria Cecília Loschiavo dos Santos; GONÇALVES-DIAS, Sykmara Lopes Fran-



celino (Org.). **Resíduos sólidos urbanos e seus impactos socioambientais**. São Paulo: IEE-USP, 2012. Disponível em: <[http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/Residuos\\_Solidos\\_0.pdf](http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/Residuos_Solidos_0.pdf)>. Acesso em: 24 nov. 2014.

SCHNEIDER, Vania Elisabete. **Estudo do processo de geração de resíduos sólidos domésticos na cidade de Bento Gonçalves – RS**. 1994. 135f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Universidade Estadual de Campinas, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Campinas, 1994.

SCHULLER, Sandra Cristina. **Inventário de ciclo de vida do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos do município de Santa Cruz do Sul**. 2008. 79f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental, Santa Cruz do Sul, 2008. Disponível em:<[http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co\\_obra=114151](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=114151)>. Acesso em: 19 nov. 2012.

TCHOBANOGLIOUS, George.; THEISEN, Hilary.; VIGIL, Samuel. **Integrated solid waste management: engineering principles and management issues**. Boston: McGraw-Hill, 1993.

TEIXEIRA, Silvia Claudia Mesquita. **Estratégias de gestão de resíduos sólidos urbanos**. 2004. 319f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Programa de Pós-Graduação em Engenharia do Ambiente, Porto, 2004. Disponível em: <<http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/11341>>. Acesso em: 10 abr. 2014.

TENORIO, Jorge Alberto Soares, et al. Controle Ambiental de Resíduos. In: PHILIPPI JR., A. et al. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri: Manole, 2004. p. 155-211.

TSILEMOU, K.; PANAGIOTAKOPOULOS, D. **Deliverable Report on D4.1 and D4.2: Economic Sustainability Criteria and Indicators for waste management (Work package 4)**. Xanthi: Democritus University of Thrace, 2005, 77p.

VILHENA, André (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 3. ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

XARÁ, S. et al. A aplicação da análise do ciclo de vida no planejamento da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos. **Repositório Institucional**. Universidade Católica Portuguesa: Porto, 2001. Disponível em: <[repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/6966](http://repositorio.ucp.pt/handle/10400.14/6966)>. Acesso em: 19 nov. 2012.

WALDMAN, Maurício. Lixo domiciliar brasileiro: modelos de gestão e impactos ambientais. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 33, n. 2, p. 169-184, maio/ago. 2013. Disponível em: <<http://www.revistas.ufg.br/index.php/bgg/article/view/25553>>. Acesso em: 11 abr. 2014.

WILLERS, Camila D.; RODRIGUES, Luciano B. Um panorama sobre a avaliação de ciclo de vida com base nos anais do simpósio de engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 08, n. 01, p. 199-218, 2012. Disponível em:<<http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/article/view/885>>. Acesso em: 10 fev. 2013.

## APÊNDICE A – RELATÓRIOS DE EMISSÕES GASOSAS E LÍQUIDAS DO ICV

Neste Apêndice, são apresentados os resultados gerados no Inventário do Ciclo de Vida, por meio do programa computacional IWM-2.

O programa, a partir do botão “*Results*”, disponibiliza relatórios distintos para as emissões gasosas e emissões líquidas, em cada cenário simulado.

Os resultados das emissões, por cenário, são apresentados em grama (g) para cada etapa do modelo: coleta, triagem, tratamento biológico, tratamento térmico, aterro sanitário, reciclagem, e o total do cenário.

Os valores positivos identificam as substâncias que efetivamente foram emitidas no cenário. Os valores negativos apontam as substâncias que deixaram de ser emitidas ao ambiente.

Por tratar-se de um programa computacional cujo modelo é inglês, os números nos relatórios gerados apresentam como separador de milhar a ‘vírgula’, e como sinal separador da parte inteira da decimal do número o ‘ponto’.

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 1BASE

<b>Scenario: GARIBALDI - CEN 1 - BASE</b>	
<b>Results: Air Emissions</b>	
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>	

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Particulates	g	139,039.4880	598.9565	Zero	Zero	76,714.6553	-1,170,488.4784	-954,135.3786
CO	g	1,850,728.3200	48.2281	Zero	Zero	1,436,557.5432	-787,374.8895	2,499,959.2018
CO2	g	337,264,704.0000	503,333.3363	Zero	Zero	1,505,814,516.0344	-1,061,597,052.0552	781,985,501.3155
CH4	g	410,542.2720	1,835.0108	Zero	n/a	95,545,214.5486	-1,245,688.2370	94,711,903.5944
NOx	g	6,038,885.7600	1,186.5653	Zero	Zero	3,273,198.7622	-3,791,450.3185	5,551,820.7690
GWP	g	345,838,616.6930	542,892.4931	Zero	Zero	3,512,266,411.4690	-1,083,808,315.6442	2,774,889,605.0109
N2O	g	8.1451	3.3030	Zero	n/a	7.7094	12,736.0948	12,755.2523
SOx	g	508,245.6960	1,417.3488	Zero	Zero	284,884.8889	-4,535,120.4427	-3,740,572.5090
HCl	g	669.5607	101.4590	Zero	Zero	23,035.6494	-88,117.7681	-64,291.0990
HF	g	0.0721	10.7855	Zero	n/a	3,177.4057	-8,506.2542	-5,317.9909
H2S	g	Zero	Zero	Zero	n/a	48,715.9922	625.1826	49,341.1748
TotalHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	519,261.9585	-0.3446	519,261.6139
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	14,154.3369	Zero	14,154.3369
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.0005	Zero	0.0005
Ammonia	g	0.0092	2.0160	Zero	n/a	2.0765	20,405.1129	20,409.2146
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	-2,199.4285	-2,199.4285
Cadmium	g	Zero	0.0016	Zero	Zero	1.3658	-13.2397	-11.8723
Chromium	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.1608	0.6252	0.7860
Copper	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	3.3760	3.3760
Lead	g	0.0180	0.0626	Zero	Zero	1.3162	1,634.4069	1,635.8037
Manganese	g	0.0003	0.0382	Zero	n/a	0.0394	-43.9735	-43.8956
Mercury	g	Zero	0.0163	Zero	Zero	0.0267	-13.3507	-13.3077
Nickel	g	0.1625	0.1578	Zero	Zero	0.2483	-694.0098	-693.4412
Zinc	g	0.1080	0.1195	Zero	Zero	18.4521	-154.0200	-135.3404

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 1BASE

<b>Scenario: GARIBALDI - CEN 1 - BASE</b>	
<b>Results: Water Emissions</b>	
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>	

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
BOD	g	0.4622	0.0513	Zero	n/a	106,047.6630	748,553.4101	854,601.5866
COD	g	15.1252	1.5252	Zero	n/a	106,056.9461	-9,954,763.3139	-9,848,689.7174
SuspendedSolids	g	293,110.2720	61.7937	Zero	n/a	155,423.0455	283,112.9947	731,708.1059
TOC	g	47.2546	55.4804	Zero	n/a	215.0781	654,672.9731	654,990.7862
AOX	g	Zero	0.0005	Zero	n/a	133.0330	-106,934.7971	-106,801.7636
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0009	Zero	n/a	68.5127	4.3587	72.8723
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0007	0.0310	Zero	n/a	25.3084	-657.9490	-632.6089
Aluminium	g	11.2735	349.3275	Zero	n/a	364.9290	-230,136.3753	-229,410.8453
Ammonium	g	1,352.8166	0.6291	Zero	n/a	2,114.2240	-2,110.5228	1,357.1469
Arsenic	g	0.0067	0.7054	Zero	n/a	1.6596	-494.5104	-492.1387
Barium	g	12.9645	28.3335	Zero	n/a	35.9832	-22,682.0521	-22,604.7709
Cadmium	g	Zero	0.0181	Zero	n/a	0.9499	-7.0629	-6.0949
Chloride	g	2,743,211.5200	2,269.7846	Zero	n/a	1,459,640.3119	1,048,035.9713	5,253,157.5878
Chromium	g	0.0567	3.5048	Zero	n/a	7.6224	-2,528.9299	-2,517.7460
Copper	g	0.0159	1.7517	Zero	n/a	5.4003	-602.4772	-595.3093
Cyanide	g	Zero	0.0175	Zero	n/a	0.0180	-316,611.0319	-316,610.9964
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	25.9413	-22.1605	3.7808
Iron	g	2,854.1299	108.6822	Zero	n/a	7,958.7617	-270,531.5569	-259,579.9831
Lead	g	0.0139	1.7558	Zero	n/a	6.0020	-1,496.4842	-1,488.7125
Mercury	g	Zero	0.0006	Zero	n/a	0.0406	0.9223	0.9635
Nickel	g	0.0210	1.7659	Zero	n/a	13.1335	-1,244.8963	-1,229.9759
Nitrate	g	3.3820	7.9486	Zero	n/a	9.9595	188,166.1195	188,187.4096
Phosphate	g	0.1334	20.9574	Zero	n/a	21.6057	-8,823.4910	-8,780.7945
Sulphate	g	96,763.9680	1,573.1559	Zero	n/a	52,883.1275	-568,545.7263	-417,325.4749
Sulphide	g	0.0002	0.0193	Zero	n/a	0.0199	-28.7016	-28.6622

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 2TOT

**Scenario: CEN 2 TOT - Triagem Otimizada**  
**Results: Air Emissions**  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Particulates	g	125,709.8976	598.9565	Zero	Zero	67,675.7413	-2,235,765.2633	-2,041,780.6679
CO	g	1,673,300.6640	48.2281	Zero	Zero	1,272,670.9395	-1,503,976.8995	1,442,042.9321
CO2	g	304,931,440.8000	503,333.3363	Zero	Zero	1,345,144,194.3544	-2,027,770,179.9754	-377,191,211.4847
CH4	g	371,183.9544	1,835.0108	Zero	n/a	85,496,625.7848	-2,379,406.0633	83,490,238.6867
NOx	g	5,437,067.1520	1,186.5653	Zero	Zero	2,886,914.6266	-7,242,097.1891	1,133,071.1548
GWP	g	312,728,586.7444	542,892.4931	Zero	Zero	3,140,575,443.1532	-2,070,196,222.7907	1,383,650,699.6000
N2O	g	7.3642	3.3030	Zero	n/a	6.7978	24,327.3694	24,344.8344
SOx	g	459,520.6392	1,417.3488	Zero	Zero	251,385.2768	-8,662,582.7175	-7,950,269.4527
HCl	g	623.4531	101.4590	Zero	Zero	20,607.5077	-168,314.8939	-146,982.4741
HF	g	0.0651	10.7855	Zero	n/a	2,843.1846	-16,247.9084	-13,393.8732
H2S	g	Zero	Zero	Zero	n/a	43,593.9465	1,194.1686	44,788.1151
TotalHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	464,666.2625	-0.6583	464,665.6042
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	12,666.1364	Zero	12,666.1364
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.0004	Zero	0.0004
Ammonia	g	0.0083	2.0160	Zero	n/a	1.8309	38,976.0660	38,979.9212
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	-4,201.1510	-4,201.1510
Cadmium	g	Zero	0.0016	Zero	Zero	1.2222	-25.2893	-24.0655
Chromium	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.1439	1.1942	1.3381
Copper	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	6.4486	6.4486
Lead	g	0.0163	0.0626	Zero	Zero	1.1769	3,121.8977	3,123.1535
Manganese	g	0.0002	0.0382	Zero	n/a	0.0347	-83.9943	-83.9212
Mercury	g	Zero	0.0163	Zero	Zero	0.0237	-25.5014	-25.4614
Nickel	g	0.1469	0.1578	Zero	Zero	0.2189	-1,325.6373	-1,325.1137
Zinc	g	0.0977	0.1195	Zero	Zero	16.5097	-294.1957	-277.4688

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 2TOT

**Scenario: CEN 2 TOT - Triagem Otimizada**  
**Results: Water Emissions**  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
BOD	g	0.4179	0.0513	Zero	n/a	94,897.7070	1,429,821.1576	1,524,719.3338
COD	g	13.6752	1.5252	Zero	n/a	94,905.8925	-19,014,720.5564	-18,919,799.4635
SuspendedSolids	g	295,010.0544	61.7937	Zero	n/a	137,045.6918	540,778.1813	942,895.7212
TOC	g	42.7244	55.4804	Zero	n/a	189.6470	1,250,499.1545	1,250,787.0063
AOX	g	Zero	0.0005	Zero	n/a	117.3031	-204,257.5193	-204,140.2157
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0009	Zero	n/a	60.4117	8.3256	68.7382
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0006	0.0310	Zero	n/a	22.3159	-1,256.7569	-1,234.4094
Aluminium	g	10.1927	349.3275	Zero	n/a	321.7795	-439,586.6105	-438,905.3108
Ammonium	g	1,223.1233	0.6291	Zero	n/a	1,864.2363	-4,031.3365	-943.3478
Arsenic	g	0.0061	0.7054	Zero	n/a	1.4634	-944.5710	-942.3961
Barium	g	11.7216	28.3335	Zero	n/a	31.7285	-43,325.2960	-43,253.5124
Cadmium	g	Zero	0.0181	Zero	n/a	0.8376	-13.4910	-12.6353
Chloride	g	2,430,222.3040	2,269.7846	Zero	n/a	1,287,051.1947	2,001,867.1281	5,771,410.4114
Chromium	g	0.0513	3.5048	Zero	n/a	6.7211	-4,830.5431	-4,820.2659
Copper	g	0.0144	1.7517	Zero	n/a	4.7617	-1,150.8005	-1,144.2727
Cyanide	g	Zero	0.0175	Zero	n/a	0.0159	-604,762.7613	-604,762.7279
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	22.8740	-42.3292	-19.4552
Iron	g	2,607.6310	108.6822	Zero	n/a	7,017.7109	-516,745.8542	-507,011.8301
Lead	g	0.0126	1.7558	Zero	n/a	5.2924	-2,858.4544	-2,851.3936
Mercury	g	Zero	0.0006	Zero	n/a	0.0358	1.7618	1.7982
Nickel	g	0.0190	1.7659	Zero	n/a	11.5806	-2,377.8933	-2,364.5278
Nitrate	g	3.0578	7.9486	Zero	n/a	8.7819	359,418.4974	359,438.2857
Phosphate	g	0.1206	20.9574	Zero	n/a	19.0511	-16,853.8738	-16,813.7447
Sulphate	g	37,467.2936	1,573.1559	Zero	n/a	46,630.1814	-1,085,987.5853	-950,296.9544
Sulphide	g	0.0001	0.0193	Zero	n/a	0.0176	-54.8233	-54.7863

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 3CTRAS

Scenario: CEN 3 CTRAS - Coleta Triagem Otimizadas  
Results: Air Emissions  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Particulates	g	133,540.8144	927.1964	Zero	Zero	56,166.9260	-3,293,438.2284	-3,102,803.2916
CO	g	1,777,536.5160	74.6581	Zero	Zero	1,051,128.5107	-1,660,385.4549	1,168,354.2299
CO2	g	323,926,705.2000	779,169.8393	Zero	Zero	1,100,454,364.0941	-3,077,597,078.9990	-1,652,436,839.8656
CH4	g	394,306.3236	2,840.6326	Zero	n/a	69,807,035.8911	-3,599,651.5032	66,604,531.3441
NOx	g	5,828,876.0880	1,836.8262	Zero	Zero	2,396,560.0405	-10,973,007.5628	-2,745,734.6081
GWP	g	332,209,563.1256	840,408.1849	Zero	Zero	2,566,403,867.7262	-3,141,666,700.5942	-242,212,861.5575
N2O	g	7.8230	5.1131	Zero	n/a	5.6449	37,171.1612	37,189.7422
SOx	g	488,145.8148	2,194.0837	Zero	Zero	208,571.4217	-13,597,507.0601	-12,898,595.7399
HCl	g	662.2903	157.0605	Zero	Zero	16,830.9184	-269,830.3107	-252,180.0415
HF	g	0.0692	16.6962	Zero	n/a	2,321.4753	-26,023.9748	-23,685.7341
H2S	g	Zero	Zero	Zero	n/a	35,592.5939	2,301.7457	37,894.3396
TotalHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	379,380.1416	-1.0818	379,379.0598
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	10,341.3590	Zero	10,341.3590
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.0003	Zero	0.0003
Ammonia	g	0.0088	3.1209	Zero	n/a	1.5204	69,740.7960	69,745.4461
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	-6,819.4743	-6,819.4743
Cadmium	g	Zero	0.0025	Zero	Zero	0.9979	-37.4938	-36.4934
Chromium	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.1175	1.1951	1.3126
Copper	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	6.4537	6.4537
Lead	g	0.0173	0.0969	Zero	Zero	0.9618	5,001.3511	5,002.4271
Manganese	g	0.0003	0.0591	Zero	n/a	0.0288	-138.0298	-137.9416
Mercury	g	Zero	0.0252	Zero	Zero	0.0196	-40.8275	-40.7827
Nickel	g	0.1561	0.2443	Zero	Zero	0.1818	-2,069.0715	-2,068.4893
Zinc	g	0.1038	0.1850	Zero	Zero	13.4816	-457.8988	-444.1284

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 3CTRAS

Scenario: CEN 3 CTRAS - Coleta Triagem Otimizadas  
Results: Water Emissions  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
BOD	g	0.4439	0.0795	Zero	n/a	77,479.9251	2,195,623.1525	2,273,103.6010
COD	g	14,5271	2.3810	Zero	n/a	77,488.7223	-34,402,901.0098	-34,325,397.3994
Suspended Solids	g	281,518.4736	96.6579	Zero	n/a	113,801.4185	1,120,969.8162	1,516,385.3632
TOC	g	46,3858	85.8847	Zero	n/a	157,4811	2,235,102.7586	2,235,391.5102
AOX	g	Zero	0.0008	Zero	n/a	97.4073	-366,045.0660	-365,947.6479
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0014	Zero	n/a	50.1663	6.8558	57.0225
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0007	0.0481	Zero	n/a	18.5309	-1,847.8307	-1,829.2510
Aluminium	g	10,8278	540.7858	Zero	n/a	267,2026	-671,637.1247	-670,818.3287
Ammonium	g	1,299.3160	0.9738	Zero	n/a	1,548.0438	-4,916.0910	-2,067.7574
Arsenic	g	0.0065	1.0920	Zero	n/a	1.2152	-1,441.8927	-1,439.5790
Barium	g	12.4518	43.8808	Zero	n/a	26,3470	-65,193.2731	-65,110.6135
Cadmium	g	Zero	0.0281	Zero	n/a	0.6955	-21.2272	-20.5036
Chloride	g	2,634,724.1760	3,513.6708	Zero	n/a	1,068,754.8499	4,312,569.0204	8,019,561.7171
Chromium	g	0.0545	5.4254	Zero	n/a	5.5812	-7,367.4175	-7,356.3564
Copper	g	0.0152	2.7117	Zero	n/a	3.9541	-1,780.8489	-1,773.9679
Cyanide	g	Zero	0.0272	Zero	n/a	0.0132	-1,073,038.3331	-1,073,038.2827
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	18,9943	-43.8231	-24.8288
Iron	g	2,770.0696	168.2421	Zero	n/a	5,827.4392	-835,344.0084	-826,578.2575
Lead	g	0.0134	2.7179	Zero	n/a	4.3947	-4,388.0673	-4,378.9413
Mercury	g	Zero	0.0010	Zero	n/a	0.0297	2.6122	2.6429
Nickel	g	0.0202	2.7336	Zero	n/a	9.6164	-3,632.3100	-3,619.9398
Nitrate	g	3,2483	12.3045	Zero	n/a	7.2924	641,585.2225	641,608.0677
Phosphate	g	0.1281	32.4425	Zero	n/a	15.8198	-23,476.5334	-23,428.1430
Sulphate	g	92,937.1884	2,435.2761	Zero	n/a	38,721.2511	-1,050,466.1696	-916,372.4540
Sulphide	g	0.0002	0.0299	Zero	n/a	0.0146	-73.8600	-73.8153

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 4TRCAS

<b>Scenario: CEN 4 TRCAS - Compostagem</b>							
<b>Results: Air Emissions</b>							
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>							

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Particulates	g	133,540.8144	927.1964	6,954.4607	Zero	27,068.3874	-5,388,617.2469	-5,220,126.3880
CO	g	1,777,536.5160	74.6581	559.9750	Zero	381,060.3458	-1,942,270.4764	216,961.0185
CO2	g	323,926,705.2000	779,169.8393	5,904,410.8348	Zero	139,236,279.3234	-5,039,968,316.8077	-4,570,121,751.6102
CH4	g	394,306.3236	2,840.6326	21,306.2380	n/a	5,415,730.2703	-7,730,455.1799	-1,896,271.7154
NOx	g	5,828,876.0880	1,836.8262	13,777.1625	Zero	1,169,421.1312	-15,798,198.6261	-8,784,287.4182
GWP	g	332,209,563.1256	840,408.1849	6,363,730.7048	Zero	252,967,481.5117	-5,215,276,495.5346	-4,622,895,312.0076
N2O	g	7.8230	5.1131	38.3512	n/a	2.7952	-41,834.2579	-41,780.1754
SOx	g	488,145.8148	2,194.0837	16,456.7814	Zero	98,952.4478	-21,944,556.8171	-21,338,807.6894
HCl	g	662.2903	157.0605	1,178.0363	Zero	1,433.4733	-579,819.4161	-576,388.5557
HF	g	0.0692	16.6962	125.2305	n/a	181.2756	-57,822.2240	-57,498.9525
H2S	g	Zero	Zero	Zero	n/a	2,727.0413	2,289.1612	5,016.2025
TotalHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	29,067.4328	-2.3369	29,065.0959
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	792.3366	Zero	792.3366
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
Ammonia	g	0.0088	3.1209	23.4081	n/a	0.7529	32,854.5828	32,881.8735
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	-6,904.3141	-6,904.3141
Cadmium	g	Zero	0.0025	0.0189	Zero	0.0770	-74.0070	-73.9086
Chromium	g	Zero	Zero	Zero	Zero	0.0090	1.2587	1.2677
Copper	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	6.7969	6.7969
Lead	g	0.0173	0.0969	0.7271	Zero	0.0963	4,700.0482	4,700.9858
Manganese	g	0.0003	0.0591	0.4430	n/a	0.0143	-298.1696	-297.6529
Mercury	g	Zero	0.0252	0.1891	Zero	0.0066	-89.7648	-89.5439
Nickel	g	0.1561	0.2443	1.8323	Zero	0.0900	-4,392.4264	-4,390.1037
Zinc	g	0.1038	0.1850	1.3877	Zero	1.0881	-993.7546	-990.9900

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 4TRCAS

<b>Scenario: CEN 4 TRCAS - Compostagem</b>							
<b>Results: Water Emissions</b>							
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>							

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
BOD	g	0.4439	0.0795	152,451.1812	n/a	5,571.8633	2,211,877.8194	2,369,901.3873
COD	g	14.5271	2.3610	257,866.2296	n/a	5,575.2291	-34,378,548.1748	-34,115,089.8280
SuspendedSolids	g	281,518.4736	95.6579	717.4843	n/a	56,352.5000	548,369.0936	887,063.2094
TOC	g	45.3858	85.8847	644.1804	n/a	77.5115	2,107,538.0992	2,108,391.0616
AOX	g	Zero	0.0008	0.0063	n/a	47.9013	-365,890.2005	-365,842.2921
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0014	0.0108	n/a	24.5926	0.7324	25.3372
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0007	0.0481	0.3605	n/a	9.0944	-2,790.4873	-2,780.9836
Aluminium	g	10.8276	540.7658	4,056.0280	n/a	132.3141	-1,410,108.1951	-1,405,368.2596
Ammonium	g	1,259.3160	0.9738	26,356.7881	n/a	760.7207	-19,187.3800	9,230.4186
Arsenic	g	0.0065	1.0920	8.1905	n/a	0.5997	-2,918.4726	-2,908.5839
Barium	g	12.4518	43.8608	328.9788	n/a	13.0466	-139,153.2822	-138,754.9442
Cadmium	g	Zero	0.0281	0.2106	n/a	0.3406	-69.1305	-68.5512
Chloride	g	2,634,724.1760	3,513.6708	26,354.3786	n/a	529,239.5046	-3,752,641.4272	-568,809.6972
Chromium	g	0.0545	5.4254	40.6936	n/a	2.7608	-14,719.2097	-14,670.2754
Copper	g	0.0152	2.7117	20.3390	n/a	1.9551	-5,398.7576	-5,373.7366
Cyanide	g	Zero	0.0272	0.2037	n/a	0.0065	-1,073,086.8714	-1,073,086.6340
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	9.3326	-45.3233	-35.9907
Iron	g	2,770.0696	168.2421	1,261.9044	n/a	2,858.1811	-1,820,317.5943	-1,813,259.1971
Lead	g	0.0134	2.7179	20.3860	n/a	2.1613	-8,850.0994	-8,824.8208
Mercury	g	Zero	0.0010	0.0075	n/a	0.0145	1.3326	1.3556
Nickel	g	0.0202	2.7336	20.5037	n/a	4.7473	-7,327.1731	-7,299.1683
Nitrate	g	3.2483	12.3045	92.2905	n/a	3.6111	619,919.2625	620,030.7169
Phosphate	g	0.1281	32.4425	243.3355	n/a	7.8337	-66,938.8783	-66,655.1385
Sulphate	g	92,937.1884	2,435.2761	18,265.8509	n/a	19,174.0963	-9,360,592.8844	-9,227,780.4727
Sulphide	g	0.0002	0.0299	0.2243	n/a	0.0072	-291.4701	-291.2085



## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 5TRDAS

Scenario: CEN 5 TRDAS - Digestão A  
 Results: Air Emissions  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Particulates	g	133,540.8144	927.1964	-7,434.9900	Zero	26,912.1476	-5,388,561.3580	-5,234,616.1896
CO	g	1,777,536.5160	74.6581	-598.6673	Zero	378,307.4217	-1,939,108.1036	216,211.8249
CO2	g	323,926,705.2000	779,169.8393	-6,165,183.7648	Zero	136,708,021.1285	-5,036,240,508.1465	-4,580,991,795.7435
CH4	g	394,306.3236	2,840.6326	-22,778.4258	n/a	5,260,006.1306	-7,729,863.8038	-2,095,489.1428
NOx	g	5,828,876.0880	1,836.8262	-12,847.0111	Zero	1,162,734.9173	-15,783,253.7145	-8,802,652.8941
GWP	g	332,209,563.1256	840,408.1849	-6,656,241.0786	Zero	247,169,011.4851	-5,207,816,768.3153	-4,634,254,026.5983
N2O	g	7.8230	5.1131	-41.0012	n/a	2.7794	-29,835.8719	-29,861.1576
SOx	g	488,145.8148	2,194.0837	-12,888.6234	Zero	98,374.3945	-21,934,523.7968	-21,358,698.1272
HCl	g	662.2903	157.0605	810.8821	Zero	1,395.7532	-579,625.8615	-576,599.8754
HF	g	0.0692	16.6962	-129.9311	n/a	176.0953	-57,822.2240	-57,759.2944
H2S	g	Zero	Zero	62.1095	n/a	2,647.6888	2,289.1612	4,998.9595
TotalHC	g	Zero	Zero	4.3288	n/a	28,221.6170	-2.3369	28,223.6089
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	1.3739	n/a	769.2808	Zero	770.6547
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero
Ammonia	g	0.0088	3.1209	-25.0255	n/a	0.7486	38,983.5508	38,962.4036
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	-6,904.3141	-6,904.3141
Cadmium	g	Zero	0.0025	-0.0184	Zero	0.0747	-74.0070	-73.9482
Chromium	g	Zero	Zero	0.0002	Zero	0.0087	1.2587	1.2676
Copper	g	Zero	Zero	Zero	Zero	Zero	6.7969	6.7969
Lead	g	0.0173	0.0969	-0.7757	Zero	0.0942	4,700.0482	4,699.4809
Manganese	g	0.0003	0.0591	-0.4736	n/a	0.0142	-298.1696	-298.5696
Mercury	g	Zero	0.0252	-0.2022	Zero	0.0066	-89.7648	-89.9352
Nickel	g	0.1561	0.2443	-1.9589	Zero	0.0895	-4,392.4264	-4,393.8954
Zinc	g	0.1038	0.1850	-1.4591	Zero	1.0580	-993.7546	-993.8669

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 5TRDAS

Scenario: CEN 5 TRDAS - Digestão A  
 Results: Water Emissions  
*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
BOD	g	0.4439	0.0795	35,759.3766	n/a	5,569.2719	2,211,877.8194	2,253,206.9913
COD	g	14.5271	2.3610	137,374.8046	n/a	5,572.6187	-34,378,548.1748	-34,235,583.8634
SuspendedSolids	g	281,518.4736	95.6579	-767.0600	n/a	66,033.8828	548,369.0936	885,250.0479
TOC	g	45.3858	85.8847	-688.6910	n/a	77.2901	2,107,538.0992	2,107,057.9688
AOX	g	Zero	0.0008	-0.0067	n/a	47.7841	-365,890.2005	-365,842.4223
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0014	-0.0115	n/a	24.5681	0.7324	25.2904
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0007	0.0481	-0.3854	n/a	9.0807	-2,790.4873	-2,781.7432
Aluminium	g	10.8278	540.7858	-4,336.2856	n/a	131.5660	-1,410,108.1951	-1,413,781.3213
Ammonium	g	1,289.3160	0.9738	54,573.2647	n/a	759.1137	-19,187.3800	37,445.2882
Arsenic	g	0.0065	1.0920	-8.7564	n/a	0.5973	-2,918.4726	-2,925.5332
Barium	g	12.4518	43.8608	-351.7101	n/a	12.9728	-139,153.2822	-139,435.7069
Cadmium	g	Zero	0.0281	-0.2251	n/a	0.3404	-69.1305	-68.9871
Chloride	g	2,634,724.1760	3,513.6708	-28,175.3755	n/a	526,242.3335	-3,752,641.4272	-616,336.6224
Chromium	g	0.0545	5.4254	-43.5054	n/a	2.7465	-14,719.2097	-14,754.4887
Copper	g	0.0152	2.7117	-21.7443	n/a	1.9454	-5,388.7576	-5,415.8296
Cyanide	g	Zero	0.0272	-0.2178	n/a	0.0065	-1,073,086.8714	-1,073,087.0555
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	9.3135	-45.3233	-36.0098
Iron	g	2,770.0898	168.2421	-1,349.0977	n/a	2,854.6833	-1,820,317.5943	-1,815,873.6970
Lead	g	0.0134	2.7179	-21.7946	n/a	2.1559	-8,850.0994	-8,867.0068
Mercury	g	Zero	0.0010	-0.0080	n/a	0.0145	1.3326	1.3401
Nickel	g	0.0202	2.7336	-21.9204	n/a	4.7272	-7,327.1731	-7,341.6125
Nitrate	g	3.2483	12.3045	-98.6675	n/a	3.5906	619,919.2625	619,839.7384
Phosphate	g	0.1281	32.4425	-260.1492	n/a	7.7894	-66,938.8783	-67,158.6675
Sulphate	g	92,937.1884	2,435.2761	-19,527.9584	n/a	19,065.6859	-9,360,592.8844	-9,265,682.6924
Sulphide	g	0.0002	0.0299	-0.2398	n/a	0.0072	-291.4701	-291.6726

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões gasosas para o cenário CEN 6 TRIAS

Scenario: CEN 6 TRIAS - Incineracao								
Results: Air Emissions								
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>								
Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total	
Particulates	g	133,540.8144	927.1964	10,509.8410	-68,560.3420	4,472.9910	-5,389,256.8839	-5,308,366.3831
CO	g	1,777,536.5160	74.6581	47,884.9697	28,472.2522	59,048.7950	-1,975,292.4239	-62,275.2329
CO2	g	323,926,705.2000	779,169.8393	14,528,610.3805	3,084,690,109.5273	10,791,270.0076	-5,044,337,964.9678	-1,609,622,100.0131
CH4	g	394,306.3236	2,840.6326	31,804.2191	n/a	13,211.5256	-7,751,243.4143	-7,309,080.7134
NOx	g	5,828,876.0880	1,836.8262	168,964.7086	-32,296.8807	193,695.7252	-15,804,077.3928	-9,643,000.9255
GWP	g	332,209,563.1256	840,408.1849	15,208,452.4266	3,084,690,109.5273	11,068,855.9472	-5,220,086,370.2411	-1,776,068,981.0295
N2O	g	7.8230	5.1131	38.5595	n/a	0.4642	-41,846.1083	-41,794.1485
SOx	g	488,145.8148	2,194.0837	29,453.1378	-158,215.3702	16,302.8209	-21,952,706.8372	-21,574,826.3502
HCl	g	662.2903	157.0605	1,195.6690	-11,535.9796	28.2779	-579,717.0078	-589,209.6897
HF	g	0.0692	16.6962	125.2323	n/a	0.6697	-57,813.3061	-57,670.6387
H2S	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	2,265.9276	2,265.9276
TotalHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	-2.3369	-2.3369
ChlorinatedHC	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	0.0002	Zero	Zero	0.0002
Ammonia	g	0.0088	3.1209	23.4083	n/a	0.1250	32,854.2073	32,880.8703
Arsenic	g	Zero	Zero	Zero	2.5939	Zero	-6,904.3141	-6,901.7202
Cadmium	g	Zero	0.0025	0.0189	18.7676	0.0001	-74.2440	-55.4549
Chromium	g	Zero	Zero	Zero	18.4064	Zero	1.3760	19.7824
Copper	g	Zero	Zero	Zero	95.6190	Zero	7.4305	103.0495
Lead	g	0.0173	0.0969	0.7275	70.2846	0.0045	4,711.5007	4,782.6315
Manganese	g	0.0003	0.0591	0.4430	n/a	0.0024	-298.1696	-297.6648
Mercury	g	Zero	0.0252	0.1891	113.1048	0.0010	-89.7554	23.5647
Nickel	g	0.1561	0.2443	1.8364	16.8942	0.0149	-4,396.0640	-4,376.9181
Zinc	g	0.1038	0.1850	1.3905	203.0494	0.0108	-993.9892	-789.2497

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 das emissões líquidas para o cenário CEN 6 TRIAS

Scenario: CEN 6 TRIAS - Incineracao								
Results: Water Emissions								
<i>Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Thursday, 21 May 2015</i>								
Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total	
BOD	g	0.4439	0.0795	152,451.1930	n/a	364.5831	2,211,877.8194	2,364,694.1189
COD	g	14.5271	2.3610	257,866.6163	n/a	365.1421	-34,378,559.9070	-34,120,311.2605
SuspendedSolids	g	291,518.4736	95.6579	8,212.6104	n/a	9,370.4316	547,889.6305	847,086.8040
TOC	g	45.3858	85.8847	645.3887	n/a	5.2596	2,107,484.1281	2,108,266.0469
AOX	g	Zero	0.0008	0.0063	n/a	0.1671	-365,891.4178	-365,891.2436
ChlorinatedHC	g	Zero	0.0014	0.0108	n/a	0.1520	1.8800	2.0442
Dioxins/Furans	g	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero	Zero	Zero
Phenols	g	0.0007	0.0481	0.3605	n/a	0.0779	-2,791.8250	-2,791.3378
Aluminium	g	10.8276	540.7658	4,056.3163	n/a	21.9753	-1,413,945.2574	-1,409,315.3724
Ammonium	g	1,259.3160	0.9738	26,391.3810	n/a	44.1108	-19,199.7890	8,535.9926
Arsenic	g	0.0065	1.0920	8.1907	n/a	0.0591	-2,926.1702	-2,916.8219
Barium	g	12.4518	43.8608	329.3103	n/a	2.1668	-139,485.5914	-139,097.8017
Cadmium	g	Zero	0.0281	0.2106	n/a	0.0042	-69.3257	-69.0828
Chloride	g	2,634,724.1760	3,513.6708	96,501.0713	n/a	88,799.3940	-3,752,524.2941	-928,985.9820
Chromium	g	0.0545	5.4254	40.6951	n/a	0.3858	-14,757.8385	-14,711.2777
Copper	g	0.0152	2.7117	20.3394	n/a	1.0203	-5,417.2975	-5,393.2109
Cyanide	g	Zero	0.0272	0.2037	n/a	0.0011	-1,073,086.9268	-1,073,086.6948
Fluoride	g	Zero	Zero	Zero	n/a	6.6837	-45.3233	-38.6396
Iron	g	2,770.0696	168.2421	1,335.6545	n/a	100.2597	-1,820,840.5744	-1,816,466.3485
Lead	g	0.0134	2.7179	20.3864	n/a	0.1243	-8,869.0852	-8,845.8432
Mercury	g	Zero	0.0010	0.0075	n/a	0.0152	1.3326	1.3563
Nickel	g	0.0202	2.7336	20.5042	n/a	0.2239	-7,345.8539	-7,322.3720
Nitrate	g	3.2483	12.3045	92.3770	n/a	0.5997	619,921.4924	620,030.0219
Phosphate	g	0.1281	32.4425	243.3389	n/a	1.3011	-67,169.1021	-66,891.8915
Sulphate	g	32,937.1884	2,435.2761	20,740.2034	n/a	3,184.5100	-9,374,614.7542	-9,255,317.5763
Sulphide	g	0.0002	0.0299	0.2243	n/a	0.0012	-291.7752	-291.5196



## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 1BASE

### Scenario: GARIBALDI - CEN 1 - BASE

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	11,257.7351	Zero	Zero	11,568.0372	n/a	22,825.7723
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-4,302,951.0092	-4,302,951.0092
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	111,840.0000	Zero	Zero	Zero	59,254.0569	4,060.5299	175,154.5868
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	Zero	n/a	n/a	Zero
Total	GJ	5,619.4074	54.6094	Zero	Zero	3,033.3383	-20,872.9130	-11,961.5363

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 2TOT

### Scenario: CEN 2 TOT - Triagem Otimizada

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	11,257.7351	Zero	Zero	10,200.2226	n/a	21,457.9577
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-8,219,122.0664	-8,219,122.0664
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	101,118.0000	Zero	Zero	Zero	52,247.8066	7,756.0692	161,121.8758
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	Zero	n/a	n/a	Zero
Total	GJ	5,080.6799	54.6094	Zero	Zero	2,674.6738	-39,869.6195	-31,669.9523

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 3CTRAS

### Scenario: CEN 3 CTRAS - Coleta Triagem Otimizadas

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	17,427.1939	Zero	Zero	8,470.1661	n/a	25,897.3600
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-12,435,660.0133	-12,435,660.0133
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	107,417.0000	Zero	Zero	Zero	43,386.0727	11,516.2686	162,319.3413
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	Zero	n/a	n/a	Zero
Total	GJ	5,397.1735	84.5365	Zero	Zero	2,221.0232	-60,323.3568	-52,041.9881

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 4TRCAS

### Scenario: CEN 4 TRCAS - Compostagem

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	17,427.1939	130,713.1166	Zero	4,194.2802	n/a	152,334.5907
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	Zero	Zero	Zero	n/a	Zero
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-17,381,193.5533	-17,381,193.5533
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	107,417.0000	Zero	Zero	Zero	21,484.0356	13,599.5382	142,500.5738
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	Zero	n/a	n/a	Zero
Total	GJ	5,397.1735	84.5365	634.0680	Zero	1,099.8124	-84,313.3328	-76,414.4328

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 5TRDAS

### Scenario: CEN 5 TRDAS - Digestão A

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	17,427.1939	217,855.1944	Zero	4,170.5658	n/a	239,452.9541
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	-357,600.1380	Zero	Zero	n/a	-357,600.1380
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-17,381,193.5533	-17,381,193.5533
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	107,417.0000	Zero	Zero	Zero	21,362.5648	13,599.5382	142,379.1030
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	Zero	n/a	n/a	Zero
Total	GJ	5,397.1735	84.5365	-677.8799	Zero	1,093.5941	-84,313.3328	-77,732.5990

## Relatório dos resultados do ICV no programa IWM-2 de Energia para o CEN 6TRIAS

### Scenario: CEN 6 TRIAS - Incineracao

#### Results: Fuels

*Produced by Integrated Waste Management Model IWM-2 Version 2.50.1 on Sunday, 31 May 2015*

	Units	Collection	Sorting	Biological	Thermal	Landfill	Recycling	Total
Elec-consumed	kWh	Zero	17,427.1939	130,713.1166	163,110.8924	696.6027	n/a	311,947.8056
Elec-generated	kWh	n/a	n/a	Zero	-1,504,073.8162	Zero	n/a	-1,504,073.8162
Elec-recycling	kWh	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	-17,393,312.4093	-17,393,312.4093
Petrol	litres	Zero	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	Zero
Diesel	litres	107,417.0000	Zero	2,859.8619	1,938.2873	3,568.1539	13,613.5946	129,396.8977
Nat-gas	m3	n/a	Zero	n/a	535.9358	n/a	n/a	535.9358
Total	GJ	5,397.1735	84.5365	777.7619	-6,380.5393	182.6612	-84,372.1194	-83,626.5097

## APÊNDICE B - METODOLOGIA DE CÁLCULOS

A metodologia de cálculo utilizada para as categorias e indicadores ambientais segue conforme descrito por Reichert (2013) com base em Den Boer et al. (2005b), e encontram-se na sequência.

### a) **Indicador: Mudanças climáticas (*MdCl*)**

Mudanças climáticas são causadas pela emissão de gases na atmosfera que afetam o chamado “efeito estufa”. Emissões típicas em sistemas de gerenciamento de RSU que contribuem para o aquecimento global incluem o CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub>. O indicador geral é calculado de acordo com a fórmula:

$$MdCl = \sum_{i=1}^n PAG_i \times m_i$$

*MdCl* = resultado do indicador, expresso em kg CO<sub>2</sub> equivalente;

PAG<sub>*i*</sub> = Potencial de Aquecimento Global da substância *i*;

*m<sub>i</sub>* = massa da substância *i* emitida em kg.

### b) **Indicador: Formação de Foto-oxidantes (*FoFO*)**

Consiste na formação de compostos químicos reativos com o ozônio pela ação da luz solar sobre certos poluentes primários. Esses compostos reativos podem afetar negativamente a saúde humana e os ecossistemas bem como causar danos às plantações. Segue abaixo o cálculo do indicador.

$$FoFO = \sum_{i=1}^n PCFO_i \times m_i$$

*FoFO* = resultado do indicador, expresso em kg etileno equivalente (kg C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> eq.);

PCFO<sub>*i*</sub> = Potencial de Criação Fotoquímica de Ozônio da substância *i*;

*m<sub>i</sub>* = massa da substância *i* emitida em kg.

**c) Indicador: Acidificação (*Acid.*)**

Poluentes que causam acidificação do meio podem apresentar uma variedade de impactos sobre o solo, as águas subterrâneas e superficiais, os organismos vivos e o ambiente construído. Abaixo segue a fórmula de cálculo do indicador.

$$Acid = \sum_{i=1}^n PA_i \times m_i$$

*Acid.* = resultado do indicador, expresso em kg SO<sub>2</sub> equivalente;

PA<sub>i</sub> = Potencial de Acidificação da substância *i*;

*m<sub>i</sub>* = massa da substância *i* emitida em kg.

**d) Indicador: Eutrofização (*Eutr.*)**

A eutrofização está relacionada com impactos potenciais decorrente da concentração excessiva de macronutrientes, em especial do nitrogênio e do fósforo. A equação de cálculo do indicador segue abaixo.

$$Eutr = \sum_{i=1}^n PE_i \times m_i$$

*Eutr.* = resultado do indicador, expresso em kg PO<sub>4</sub> equivalente;

PE<sub>i</sub> = Potencial de Eutrofização da substância *i*;

*m<sub>i</sub>* = massa da substância *i* emitida em kg.

**e) Indicador: Toxicidade Humana (*ToHu*)**

Este indicador refere-se aos efeitos negativos de substâncias tóxicas à saúde humana emitidas ao ambiente. Considera-se tanto emissões ao meio ar quanto ao meio água doce. A equação de cálculo do indicador segue abaixo.

$$ToHu = \sum_{i=1}^n \sum_{emeio=1}^k PTH_{i,emeio} \times m_{i,emeio}$$

$ToHu$  = resultado do indicador, expresso em kg 1,4-diclorobenzeno equivalente;

$PTH_{i,emeio}$  = Potencial de Toxicidade Humana da substância  $i$  emitida para o meio (ar ou água);

$m_{i,emeio}$  = massa da substância  $i$  emitida em kg.

#### **f) Indicador: Uso de Energia**

O indicador uso de energia evidencia o equivalente energético em Giga Joule (GJ) líquido total do sistema de gerenciamento de resíduos sólidos. Um valor positivo indica que há um consumo de energia e, um valor negativo indica uma geração líquida de energia no cenário ou uma economia resultante da reciclagem do material maior que a energia consumida no sistema (DEN BOER et al, 2005a).

Para este indicador, utilizou-se o programa IWM-2 que calcula e fornece como resultado a Energia, em GJ, em cada cenário avaliado. O programa considera as fontes energéticas, a citar, eletricidade-consumida, eletricidade-gerada, eletricidade-reciclagem, gasolina, diesel, gás natural, o respectivo poder calorífico e a eficiência de conversão em energia elétrica.

Observação: os resultados em todos os cálculos das categorias de impacto ambiental e para o indicador uso de energia foram normalizados conforme fatores de normalização apresentados no Anexo B.

#### **g) Indicador: disposição de resíduos sólidos “seco” em aterro sanitário**

Este indicador aponta a quantidade (em porcentagem) de resíduos sólidos dispostos em aterro que ainda apresentam potencial para reciclagem. Neste indicador são considerados somente os resíduos “secos”, excluindo-se matéria orgânica e rejeitos. A fórmula utilizada para o cálculo é a seguinte (adaptado de REICHERT, 2013):

$$DRecAS = QuRec/FrRec * 100$$

DRecAS = resultado do indicador, expresso em %, de recicláveis “secos” dispostos em aterro sanitário;

QuRec = quantidade de recicláveis “secos” disposta em aterro sanitário, em t/ano;

FrRec = fração total de recicláveis “secos” potencialmente recicláveis, disponível ou coletado no cenário, em t/ano.

#### **h) Indicador: disposição de resíduos sólidos “orgânicos” em aterro sanitário**

Este indicador aponta a quantidade (em porcentagem) de resíduos sólidos “orgânicos” dispostos em que aterro sanitário que apresentam potencial de reciclagem. A fórmula utilizada para o cálculo é a seguinte (adaptado de REICHERT, 2013):

$$D\text{OrgAS} = \text{QuOrgRec}/\text{FrOrg} * 100$$

DOrgAS = resultado do indicador, expresso em %, de recicláveis “orgânicos” dispostos em aterro sanitário;

QuOrgRec = quantidade de recicláveis “orgânicos” efetivamente reciclada, em t/ano;

FrOrg = fração total de recicláveis “orgânicos” potencialmente recicláveis, disponível ou coletado no cenário, em t/ano.

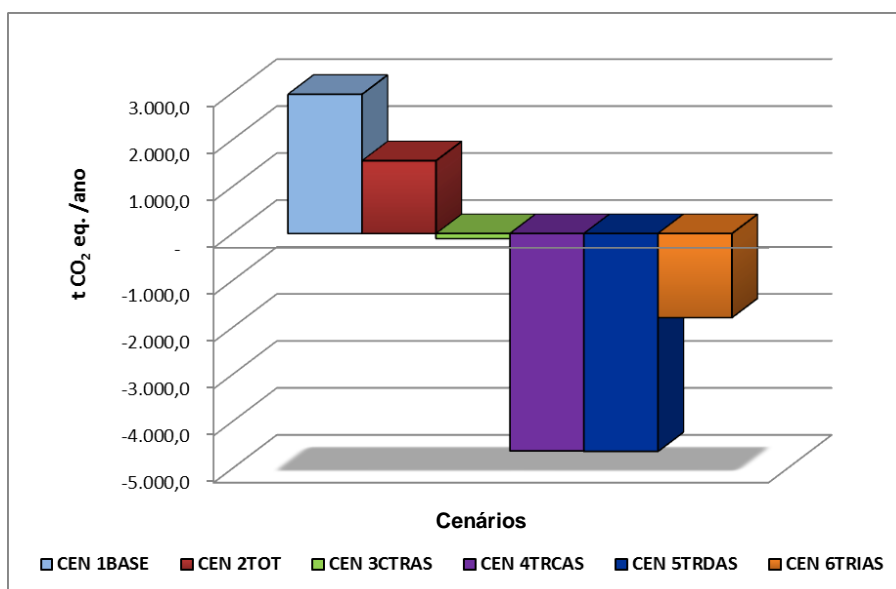
## APÊNDICE C – ILUSTRAÇÃO GRÁFICA DOS RESULTADOS

Os resultados do artigo 3 (seção 6.3) encontram-se apresentados a seguir em forma de gráficos, ilustrando as tabelas de emissões por categoria de impacto ambiental e por etapa, a fim de evidenciar a comparação dos cenários simulados.

### a) Categoria Mudanças Climáticas

Na Figura 1, são apresentados os resultados comparativos a esta categoria por cenário, expressos em toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente (t CO<sub>2</sub> eq./ano).

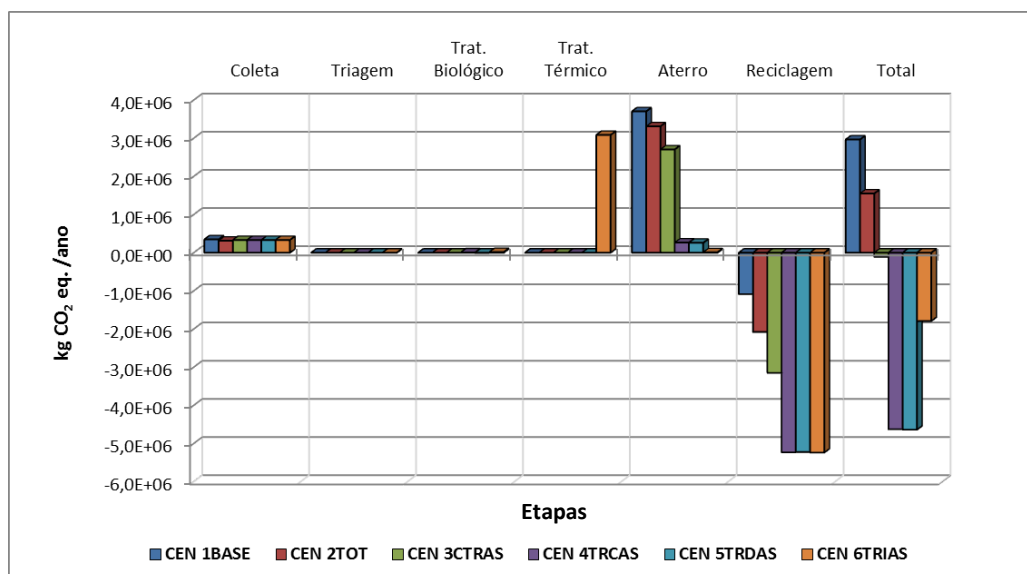
Figura 1 – Resultados da categoria Mudanças Climáticas por cenário



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 2, são apresentados os resultados da AICV por etapa em cada cenário.

Figura 2 – Resultados da categoria Mudanças Climáticas por etapa

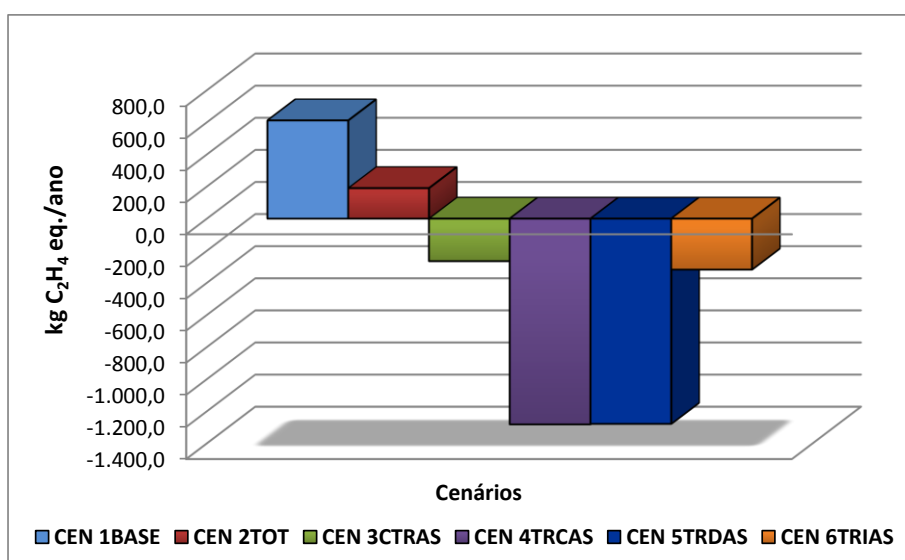


Fonte: Elaborado pela autora.

## b) Categoria Formação de Foto-oxidantes

Na Figura 3, são apresentados os resultados desta categoria por cenário avaliado, expressos em quilogramas etileno equivalente ( $\text{kg C}_2\text{H}_4 \text{ eq./ano}$ ).

Figura 3 – Resultados da categoria Formação de Foto-oxidantes por cenário

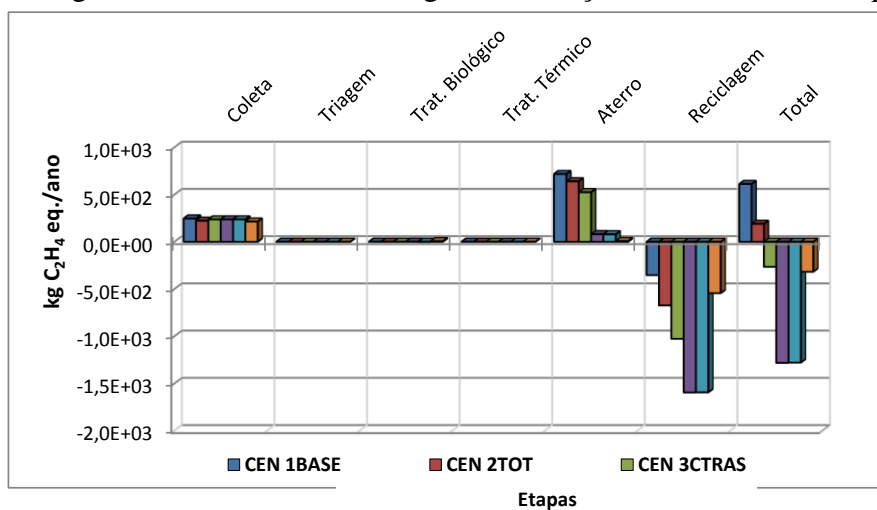


Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 4, são apresentados os resultados da AICV desta categoria por etapa em cada cenário.



Figura 4 – Resultados da categoria Formação de Foto-oxidantes por etapa

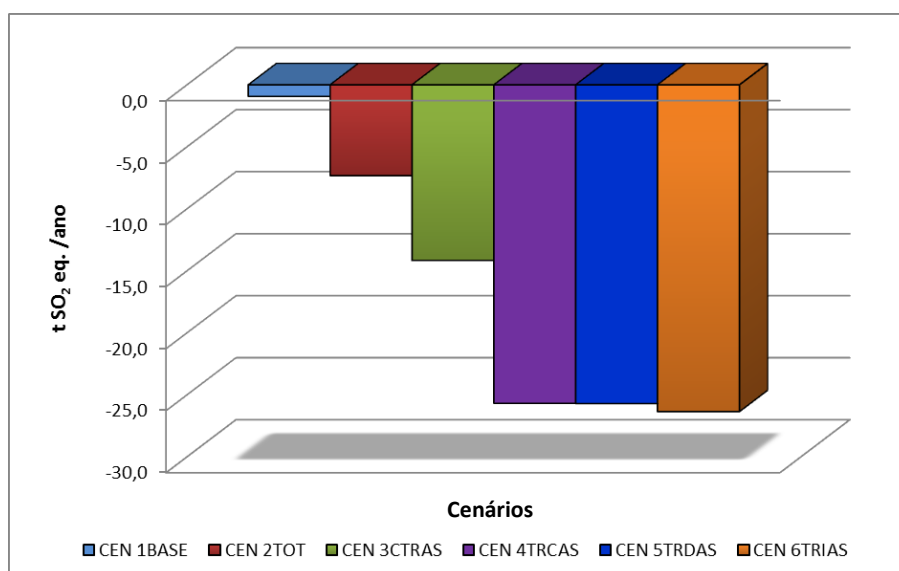


Fonte: Elaborado pela autora.

### c) Categoria Acidificação

Na Figura 5, são apresentados os resultados da categoria por cenário, expressos em toneladas de dióxido de enxofre equivalente (t SO<sub>2</sub> eq./ano).

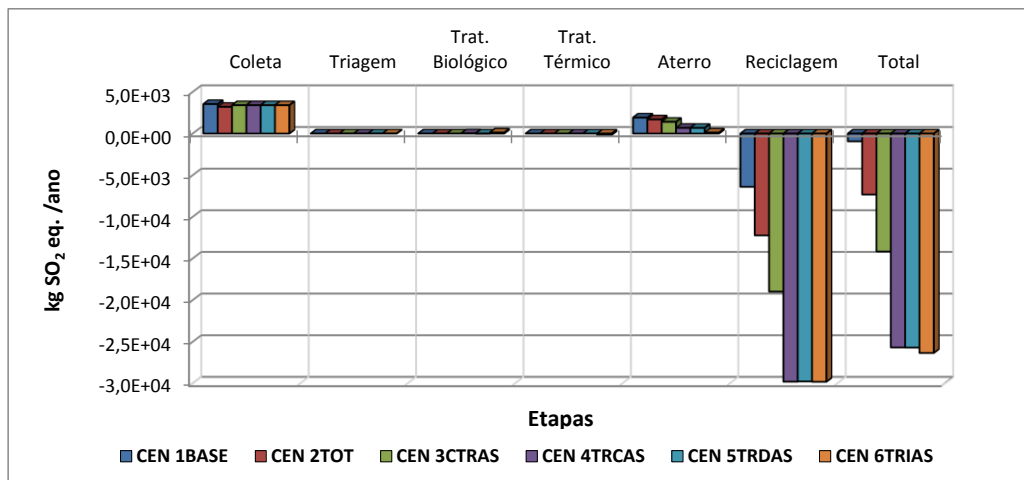
Figura 5 – Resultados da categoria Acidificação por cenário



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 6, são apresentados os resultados da AICV desta categoria por etapa em cada cenário.

Figura 6 – Resultados da categoria Acidificação por etapa

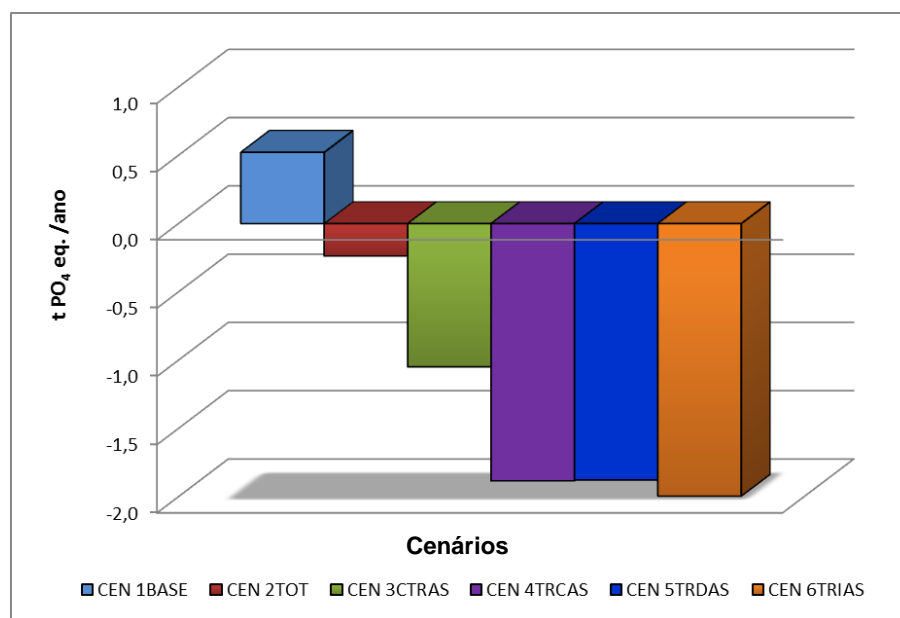


Fonte: Elaborado pela autora.

#### d) Categoria Eutrofização

Na Figura 7, são apresentados os resultados da categoria por cenário, expressos em toneladas de fosfato equivalente (t PO<sub>4</sub> eq./ano).

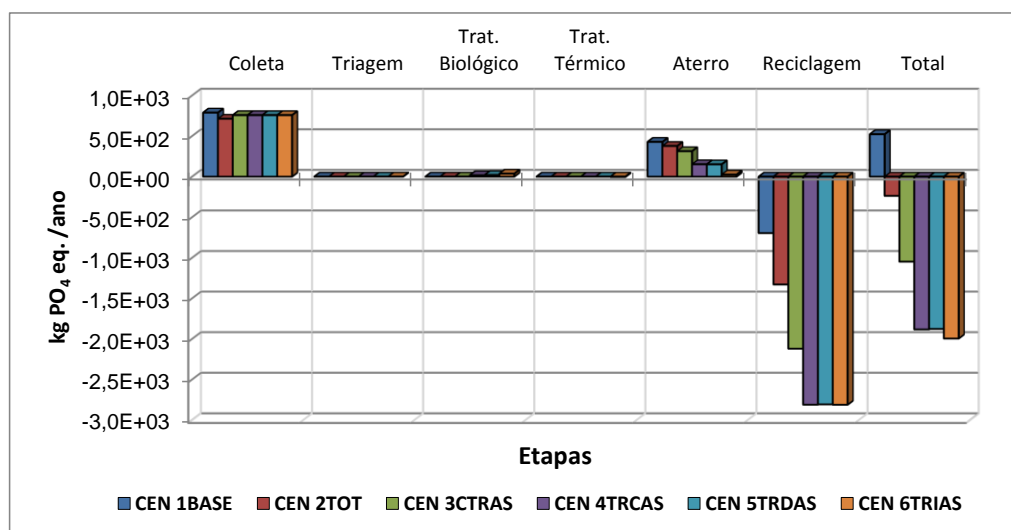
Figura 7 – Resultados da categoria Eutrofização por cenário



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 8, são apresentados os resultados da AICV desta categoria por etapa em cada cenário.

Figura 8 – Resultados da categoria Eutrofização por etapa

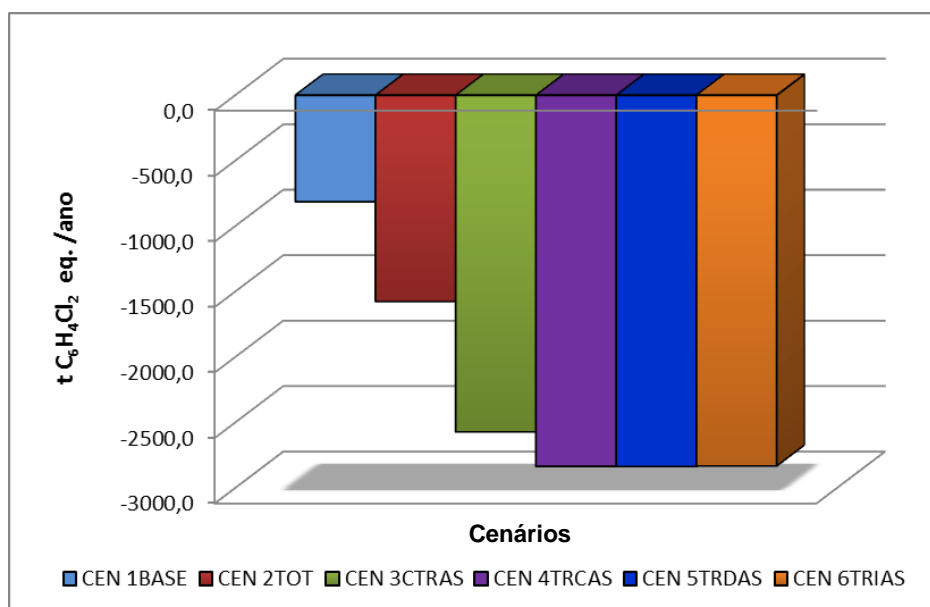


Fonte: Elaborado pela autora.

### e) Categoria Toxicidade Humana

Na Figura 9, são apresentados os resultados desta categoria por cenário, expressos em toneladas de diclorobenzeno equivalente ( $t C_6H_4Cl_2$  eq./ano).

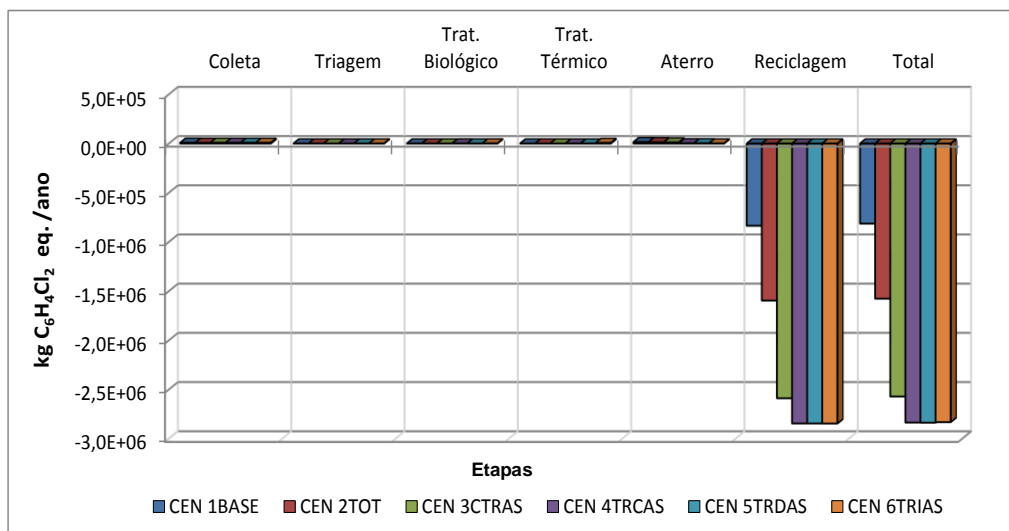
Figura 9 – Resultados da categoria Toxicidade Humana por cenário



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 10, são apresentados os resultados da AICV da categoria por etapa em cada cenário.

Figura 10 – Resultados da categoria Toxicidade Humana por etapa



Fonte: Elaborado pela autora.

## ANEXO A – FATORES DE CARACTERIZAÇÃO E NORMALIZAÇÃO APLICADOS AOS INDICADORES AMBIENTAIS

Categoria de Impacto			Depleção recursos naturais	Mudanças Climáticas	Toxicidade humana	Oxidação fotoquímica	Acidificação	Eutrofização	Emissão EU-W, 1995
			PDRN	PAG	PTH	PCFO	PA	PE	Emissão referencial
Substância		Unidade	kg antimônio eq	kg CO <sub>2</sub> eq	kg C <sub>6</sub> H <sub>4</sub> Cl <sub>2</sub> eq	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	kg SO <sub>2</sub> eq	kg PO <sub>4</sub> eq	t-ano <sup>-1</sup>
Nome	Emissão ou extração								
Petróleo	recursos	kg	2,01E-02						3,23E+11
Amônia	ar	kg			1,00E-01		1,60E+00	3,50E-01	3,54E+09
Arsênico	ar	kg			3,48E+05				1,93E+05
Cádmio	ar	kg			1,45E+05				1,33E+05
Dióxido de carbono	ar	kg		1,00E+00					3,39E+12
Monóxido de carbono	ar	kg				2,70E-02			4,28E+10
Cromo	ar	kg			6,47E+02				5,17E+05
Cobre	ar	kg			4,30E+03				5,98E+05
Oxido nitroso	ar	kg		2,96E+02					1,30E+09
Dioxinas	ar	kg			1,93E+09				0,00E+00
Acido clorídrico	ar	kg			5,00E-01				7,30E+08
Acido fluorídrico	ar	kg			2,85E+03				2,32E+07
Acido sulfídrico	ar	kg			2,20E-01				0,00E+00
Chumbo	ar	kg			4,67E+02				1,25E+07
Mercurio	ar	kg			6,01E+03				1,64E+05
Metano	ar	kg		2,30E+01		6,00E-03			2,03E+10
Níquel	ar	kg			3,50E+04				1,58E+06
NO <sub>x</sub>	ar	kg			1,20E+00	2,80E-02	5,00E-01	1,30E-01	1,41E+10
SO <sub>2</sub>	ar	kg			9,60E-02	4,80E-02	1,00E+00		1,22E+10
Zinco	ar	kg			1,04E+02				6,51E+06
Amônio (ion)	água	kg						3,30E-01	0,00E+00
Arsênico	água	kg			9,51E+02				1,17E+05
Bário	água	kg			6,30E+02				0,00E+00
Cádmio	água	kg			2,29E+01				2,13E+04
DQO	água	kg						2,20E-02	0,00E+00
Cromo	água	kg			2,05E+00				2,71E+05
Cobre	água	kg			1,34E+00				1,69E+06
Dioxinas	água	kg			8,58E+08				0,00E+00
Fluoreto	água	kg			3,64E+03				0,00E+00
Chumbo	água	kg			1,23E+01				2,26E+06
Mercurio	água	kg			1,43E+03				1,43E+04
Níquel	água	kg			3,31E+02				5,51E+05
Nitrato	água	kg						1,00E-01	0,00E+00
Fenóis	água	kg			4,92E-02				1,73E+05
Fosfato	água	kg						1,00E+00	0,00E+00
Zinco	água	kg			5,84E-01				1,12E+07

Fonte: REICHERT (2013, p. 100), adaptado de Den Boer et al. (2005a)

## ANEXO B - FATORES DE NORMALIZAÇÃO, REFERÊNCIA ANUAL *PER CAPITA*

<b>Categoria de Impacto</b>	<b>Mundo, 1995</b>
<b>Mudanças climáticas</b> kg CO <sub>2</sub> eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	6.830
<b>Formação de foto-oxidantes</b> kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	8,04
<b>Acidificação</b> kg SO <sub>2</sub> eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	52,9
<b>Eutrofização</b> kg PO <sub>4</sub> eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	22,8
<b>Toxicidade Humana</b> kg 1,4-diclorobenzeno eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	8.800
<b>Uso de Energia</b> GJ energia eq. ano <sup>-1</sup> . cap <sup>-1</sup>	72,0

Fonte: Adaptado de Guinée et al. (2001).

## ANEXO C – ATESTADOS DE APROVAÇÃO E SUBMISSÃO DOS ARTIGOS




### DECLARAÇÃO

Declaramos que o(a) autor(a)

**Cristina Mersoni**

teve o total de 2 Trabalhos aprovados para o 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, a ser realizado em Rio de Janeiro, RJ, de 04 a 08 de outubro de 2015, conforme listado abaixo.



Maria Isabel Pulcherio Guimarães  
Superintendente Executiva da ABES

---

III-071 : Apresentação Oral  
Utilização da ACV em apoio à decisão em gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com enfoque no desempenho ambiental

---

III-072 : Apresentação em Poster  
Análise da composição gravimétrica de resíduos sólidos urbanos coletados no Município de Garibaldi-RS

---



## Passo 5. Confirmação da submissão

 1. INÍCIO 2. TRANSFERÊNCIA DO MANUSCRITO 3. INCLUSÃO DE METADADOS 4. TRANSFERÊNCIA DE DOCUMENTOS SUPLEMENTARES **5. CONFIRMAÇÃO**

Após concluídos e verificados os passos anteriores, clique em "Concluir submissão" para enviar seu trabalho para o periódico Engenharia Sanitária e Ambiental. Um e-mail de confirmação será enviado. Acompanhe a situação da submissão, dentro do processo editorial do periódico, acessando o sistema com o papel de autor. Agradecemos seu interesse em contribuir com seu trabalho para o periódico Engenharia Sanitária e Ambiental.

### Resumo de documentos

ID	NOME ORIGINAL DO DOCUMENTO	TIPO	TAMANHO DO DOCUMENTO	DATA DE TRANSFERÊNCIA
743228	<a href="#">ARTIGO_TECNICO.DOCK</a>	Arquivo submetido	182KB	06-01

### Taxas para autores

Este periódico cobra as seguintes taxas aos autores.

Taxa de submissão Revista Engenharia Sanitária e Ambiental: 100,00 (BRL) [PAGAR AGORA](#)

A taxa destina-se a não sócios da ABES. Caso seja sócio, favor enviar e-mail para [allan.rodrigues@abes-dn.org.br](mailto:allan.rodrigues@abes-dn.org.br) informando número de matrícula ABES para isentar-se da taxa. Observação: A taxa de submissão não será restituída caso o manuscrito seja recusado, e o pagamento da taxa não garante o aceite do artigo, que passará normalmente pelo processo de avaliação. Associe-se à ABES: <http://socio.abes-dn.org/>