

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SANEAMENTO,
MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

MODELO LOGÍSTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE
INSTALAÇÕES DESTINADAS À LOGÍSTICA
REVERSA DE EMBALAGENS PÓS-CONSUMO

Maria Claudia Lima Couto

Belo Horizonte
2017

MODELO LOGÍSTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES DESTINADAS À LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS PÓS-CONSUMO

Maria Claudia Lima Couto

Maria Claudia Lima Couto

MODELO LOGÍSTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES DESTINADAS À LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS PÓS-CONSUMO

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Meio Ambiente

Linha de pesquisa: Gerenciamento de Resíduos Sólidos

Orientador: Dra. Liséte Celina Lange

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG

2017

C871m

Couto, Maria Claudia Lima.

Modelo logístico para localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens pós-consumo [manuscrito] / Maria Claudia Lima Couto. - 2017.

258 f., enc.: il.

Orientadora: Liséte Celina Lange.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.

Apêndices: f. 219-258.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia sanitária - Teses. 2. Meio ambiente - Teses. 3. Resíduos sólidos - Teses. 4. Logística reversa - Teses. 5. Embalagens - Teses. 6. Reaproveitamento (sobras, refugos, etc.) - Teses. I. Lange, Liséte Celina. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 628(043)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por esta conquista e por ter colocado pessoas especiais no meu caminho que tornaram esta caminhada mais suave, a que eu também agradeço em especial:

Ao meu marido Lucillo de Souza Junior, pelo amor, carinho e paciência por todo tempo que estamos juntos.

Aos meus amados filhos Artur e Eduardo pela compreensão da ausência e pelos conselhos e opiniões que, com toda sabedoria de criança, me fizeram, muitas vezes, parar e refletir.

Aos meus pais, Paulo Vicente Couto e Maria dos Anjos Lima Couto, pelo carinho, apoio e por acreditarem na educação como instrumento de mudança.

À minha irmã, Paula Rogéria Lima Couto, que mesmo de longe participou intensamente deste trabalho com ensinamentos valiosos para esta construção do saber, além do amor e amizade.

À minha orientadora Dra. Liséte Celina Lange, pelos ensinamentos e palavras de incentivo durante toda esta caminhada.

À minha amiga Luciana Rodrigues, pelo apoio na pesquisa e pelas conversas que só quem se divide em muitas durante o dia e ama a família mais do que tudo consegue compreender.

À minha amiga Claudia Sampaio e ao seu marido Raimundo Nonato P. Sinimbú por terem compartilhado comigo sua casa em Belo Horizonte onde pude estudar, pensar, sentir e chorar de saudade.

Ao Professor Renato Siman, coordenador do LAGESA-UFES, pelo apoio à pesquisa de campo e incentivo, e a Renato Meira pelo apoio no levantamento de dados de campo.

Ao Professor Rodrigo Alvarenga Rosa pela simplicidade como passou seu conhecimento, o que me deu confiança de que eu iria conseguir.

Aos colegas Marcos Paulo Rodrigues de Almeida, Lincoln Bernardino Alves e Carlos Roberto de Lima pelo apoio à pesquisa disponibilizando informações sobre o estado do Espírito Santo e principalmente o tempo dispensado para me escutar.

RESUMO

O crescimento acelerado do consumo tem levado ao aumento do descarte de produtos no final de vida útil e das embalagens que os acondicionam. A destinação final dessas embalagens e dos produtos pós-consumo geram custos que, na grande maioria dos casos são arcados pelo poder público municipal, responsável legal, no Brasil, pelo gerenciamento dos Resíduos Sólidos Urbanos. Objetivando a redução dos custos para os municípios, muitos países têm adotado, como solução, a obrigatoriedade da responsabilidade estendida para os fabricantes e importadores por meio da Logística Reversa (LR). A implantação de Sistemas de Logística Reversa (SLR) de produtos pós-consumo propicia benefícios ambientais e econômicos, visto que aumenta o potencial da reciclagem. Entretanto, observa-se que ainda há dificuldades para viabilizar a implantação e a consolidação de SLR. Dentre as lacunas existentes, destacam-se os altos custos e a baixa expectativa de universalização da LR. Os SLR atendem prioritariamente os grandes centros urbanos devido à alta taxa de retorno de materiais. Nesta Tese é apresentado um modelo matemático de localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens pós-consumo, com alocação de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) com a finalidade de formar Arranjos Territoriais Ótimos que permitam a incorporação de municípios de pequeno e médio porte. O problema de otimização gerado objetivou alocar os CT e as CV mais estratégicas e os melhores fluxos entre os nós da rede logística, de forma a minimizar os custos do SLR e maximizar as receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis. O modelo foi aplicado ao caso do estado do Espírito Santo, localizado na região Sudeste do Brasil, usando dados reais obtidos em uma pesquisa de campo. Para a análise de sensibilidade do modelo, foram construídos cenários baseados na participação da população e em critérios operacionais como a capacidade produtiva dos CT e CV, os custos de transporte e os valores de comercialização dos materiais recicláveis. Os resultados mostraram que a otimização por meio do modelo logístico desenvolvido pode levar a resultados em que a taxa de Receita/Custo seja superior a 100% e que a organização de municípios pode possibilitar a universalização desse serviço à população, com atendimento aos municípios de pequeno e médio porte, obtendo receitas que justifiquem os investimentos.

Palavras-Chave: Resíduos sólidos, gerenciamento, logística reversa, embalagens pós-consumo.

ABSTRACT

The rapid growth of consumption has led to an increase in the disposal of products at the end of their useful life and the packaging that packs them. The final destination of these packaging and the post-consumer products generate costs that, in the majority of cases, are borne by the municipal public authority, responsible in Brazil for the management of Urban Solid Waste. With a view to reducing costs for municipalities, many countries have adopted the obligation of extended responsibility for manufacturers and importers through Reverse Logistics (RL) as a solution. The implementation of Reverse Logistics Systems (RLS) for post-consumer products provides environmental and economic benefits, since it increases the recycling potential. However, it is observed that there are still difficulties to make feasible the implantation and the consolidation of RLS. Among the existing shortcomings, we highlight the high costs and the low expectation of universalization of RL. RLS primarily serve large urban centers because of the high rate of return of materials. This thesis presents a logistic model of location of facilities for the reverse logistics of post-consumer packages, with allocation of Sorting Centers (SC) and Valorization Centers (VC) with the purpose of forming Optimum Territorial Arrangements (ATOS) that allow the Incorporation of municipalities of small and medium size. The optimization problem generated aimed at allocating the most strategic SC and VC and the best flows between the nodes of the logistics network, in order to minimize the costs of the RLS and maximize the revenues obtained from the commercialization of recyclable materials. The model was applied to the case of Espírito Santo state, located in the Southeast region of Brazil, using real data obtained in a field survey. For the sensitivity analysis of the model, scenarios based on population participation and operational criteria were constructed, such as the productive capacity of the SC and VC, transport costs and commercialization values of recyclable materials. The results showed that optimization through the developed logistic model can lead to results in which the Revenue/Cost ratio is higher than 100% and that the organization of municipalities can make it possible to universalize this service to the population, with assistance to small and medium-sized municipalities, obtaining revenues that justify the investments.

Key words: Solid Waste, management, reverse logistics, post-consumer packaging.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	IX
LISTA DE TABELAS.....	XII
LISTA DE QUADROS	XIV
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	XV

APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO E DO PLANEJAMENTO DA PESQUISA

1 INTRODUÇÃO	18
2 JUSTIFICATIVA.....	21
3 OBJETIVOS	22
3.1 OBJETIVO GERAL	22
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	22
4 METODOLOGIA.....	23
5 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO	25

CAPÍTULO 1 - ANÁLISE DOS SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA NO BRASIL

1 INTRODUÇÃO	27
2 OBJETIVOS	28
2.1 OBJETIVO GERAL	28
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	28
3 REVISÃO DA LITERATURA	29
3.1 HISTÓRICO DA LOGÍSTICA REVERSA	29
3.2 LOGÍSTICA REVERSA E LOGÍSTICA DE SUPRIMENTOS	30
3.3 INFRAESTRUTURAS NECESSÁRIAS PARA OS SLR	32
3.4 DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO DE SLR.....	34
4 METODOLOGIA.....	35
4.1 FASE 1: ANÁLISE DOS SLR NO BRASIL.	35
4.2 FASE 2: LEVANTAMENTO DE DADOS DA INFRAESTRUTURA EXISTENTE.	35
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
5.1 ASPECTOS POLÍTICOS E LEGAIS	36
5.1.1 Responsabilidade compartilhada	37
5.1.2 Desafios legais e normativos para SLR no Brasil.....	39
5.2 ASPECTOS DE GESTÃO	40
5.2.1 Sistemas de logística reversa em operação no Brasil	42
5.2.2 Inter-relação entre os sistemas de coleta seletiva e de logística reversa.....	43

5.3	ASPECTOS SOCIAIS	45
5.3.1	<i>Mão de obra</i>	45
5.3.2	<i>Participação da população e canais de comunicação</i>	46
5.4	AVALIAÇÃO DAS INFRAESTRUTURAS DE SLR NO BRASIL	48
5.5	ESTIMATIVA DE INVESTIMENTOS PARA IMPLANTAÇÃO DO SLR NO BRASIL	50
6	CONCLUSÕES.....	52
	REFERÊNCIAS	53

CAPÍTULO 2 - MODELO LOGÍSTICO: MODELAGEM CONCEITUAL EMATEMÁTICA

1	INTRODUÇÃO	58
2	OBJETIVOS	61
2.1	OBJETIVO GERAL	61
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	61
3	REVISÃO DA LITERATURA	62
3.1	PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	62
3.2	PESQUISA OPERACIONAL	66
3.3	MODELAGEM MATEMÁTICA DE PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO DE INSTALAÇÕES	67
3.4	OTIMIZAÇÃO LINEAR.....	69
3.5	RESOLUÇÕES MATEMÁTICAS PARA PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO	71
4	METODOLOGIA.....	74
4.1	FASE 1 - CONSTRUÇÃO DO MODELO CONCEITUAL	74
4.2	FASE 2 - DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO.....	74
4.3	SOFTWARE UTILIZADO	75
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	76
5.1	MODELO CONCEITUAL	76
5.2	MODELO MATEMÁTICO OTIMIZADO.....	80
5.2.1	<i>Custos de instalação</i>	80
5.2.2	<i>Custos de Operação</i>	81
5.2.3	<i>Custos de transporte</i>	81
5.2.4	<i>Custo de disposição final de rejeitos</i>	82
5.2.5	<i>Receita de comercialização</i>	83
5.2.6	<i>Função Objetivo</i>	83
5.2.7	<i>Restrições</i>	84
5.2.8	<i>Modelo como beneficiamento nas CV</i>	85
5.3	MODELO ATUAL.....	88
5.4	MODELO ALTERNATIVO.....	89
5.5	MODELAGEM COMPUTACIONAL DO PROBLEMA.....	90

6	CONCLUSÕES.....	91
	REFERÊNCIAS	92

CAPÍTULO 3 - OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO MATEMÁTICO: ESTUDO DE CASO - ESPÍRITO SANTO/BRASIL

1	INTRODUÇÃO	98
2	OBJETIVOS	99
2.1	OBJETIVO GERAL	99
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	99
3	REVISÃO DA LITERATURA	100
3.1	GERAÇÃO DE EMBALAGENS PÓS-CONSUMO	100
3.1.1	<i>Composição gravimétrica</i>	<i>101</i>
3.1.2	<i>Geração per capita de resíduos</i>	<i>102</i>
3.2	CENTRAIS DE TRIAGEM DE RESÍDUOS - ORGANIZAÇÕES DE CATADORES DE MATERIAIS RECICLÁVEIS.....	105
3.2.1	<i>Infraestruturas.....</i>	<i>107</i>
3.2.2	<i>Operação.....</i>	<i>108</i>
3.2.3	<i>Eficiência.....</i>	<i>109</i>
3.2.4	<i>Custos de implantação e operação de CT.....</i>	<i>111</i>
3.3	CENTRAIS DE VALORIZAÇÃO	112
3.4	MERCADO DE RECICLAGEM DE RESÍDUOS.....	113
3.4.1	<i>Papel.....</i>	<i>114</i>
3.4.2	<i>Plástico.....</i>	<i>115</i>
3.4.3	<i>Vidro.....</i>	<i>117</i>
3.4.4	<i>Metal.....</i>	<i>119</i>
4	METODOLOGIA.....	120
4.1	FASE 1: ESTIMATIVA DE DADOS SOBRE GERAÇÃO DAS EMBALAGENS PÓS-CONSUMO NO ESPÍRITO SANTO.....	120
4.1.1	<i>Local de geração.....</i>	<i>120</i>
4.1.2	<i>Quantidade gerada.....</i>	<i>120</i>
4.1.3	<i>Taxa de retorno de embalagens para o SLR</i>	<i>122</i>
4.2	FASE 2: LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE OS LOCAIS CANDIDATOS A CT	122
4.3	FASE 3: LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE OS LOCAIS CANDIDATOS A CV	123
4.4	FASE 4: LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE EMPRESAS RECEPTORAS DE RESÍDUOS	124
4.4.1	<i>Empresas Recicladoras</i>	<i>124</i>
4.4.2	<i>Aterros Sanitários.....</i>	<i>126</i>
4.5	FASE 5: LEVANTAMENTO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS.....	126

4.5.1	<i>Custo de implantação e operação dos CT e das CV</i>	127
4.5.2	<i>Custos de transporte de embalagens pós-consumo</i>	127
4.5.3	<i>Custo de disposição final dos rejeito</i>	128
4.6	FASE 6: LEVANTAMENTO DAS RECEITAS PREVISTAS COM A COMERCIALIZAÇÃO DE MATERIAIS REAPROVEITÁVEIS.	128
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	129
5.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO - ESTADO DO ESPÍRITO SANTO (ES)	129
5.1.1	<i>Previsão de crescimento populacional no Espírito Santo</i>	131
5.1.2	<i>Panorama dos resíduos sólidos no Espírito Santo</i>	132
5.2	ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE EMBALAGENS PÓS-CONSUMO	134
5.3	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE OS LOCAIS CANDIDATOS A CT	135
5.3.1	<i>Produtividade dos catadores</i>	136
5.3.2	<i>Renda Média</i>	137
5.4	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE LOCAIS CANDIDATOS A CV	138
5.5	LEVANTAMENTO DE DADOS SOBRE AS EMPRESAS RECEPTORAS DE RESÍDUOS	139
5.5.1	<i>Empresas Recicladoras</i>	139
5.5.2	<i>Empresas de disposição final de rejeitos</i>	143
5.6	RESUMO DOS LOCAIS MAPEADOS NO ESTUDO DE CASO.	143
5.7	LEVANTAMENTO DOS CUSTOS LOGÍSTICOS	144
5.7.1	<i>Custos fixos de instalação e de operação dos CT e das CV</i>	144
5.7.2	<i>Distâncias e custos de transporte entre os nos da rede</i>	145
5.7.3	<i>Custos de disposição final dos rejeitos</i>	145
5.8	RECEITAS PREVISTAS COM A COMERCIALIZAÇÃO DE MATERIAIS.	147
5.8.1	<i>Papeis</i>	148
5.8.2	<i>Plásticos</i>	149
5.8.3	<i>Metais</i>	151
5.8.4	<i>Vidros</i>	152
6	CONCLUSÕES	154
	REFERÊNCIAS	157

CAPÍTULO 4 - APLICAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

1	INTRODUÇÃO	162
2	OBJETIVOS	163
2.1	OBJETIVO GERAL	163
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	163
3	METODOLOGIA	164
3.1	FASE 1: IMPLEMENTAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS EM "SOLVER".	164

3.2	FASE 2: DESENVOLVIMENTO DO MODELO OTIMIZADO, ALTERNATIVO E ATUAL.....	164
3.3	FASE 3: CONSTRUÇÃO DE CENÁRIOS E ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	164
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	168
4.1	MODELO OTIMIZADO	168
4.1.1	<i>Detalhamento dos resultados do Modelo Otimizado no Cenário Conservador.....</i>	<i>174</i>
4.2	MODELO ALTERNATIVO.....	182
4.2.1	<i>Detalhamento dos resultados do Modelo Alternativo no Cenário Conservador</i>	<i>188</i>
4.3	MODELO ATUAL.....	189
4.4	RESUMO DA COMPARAÇÃO ENTRE OS MODELOS	193
4.5	ANÁLISE DE SENSIBILIDADE.....	195
4.5.1	<i>Melhorias no processo produtivo</i>	<i>195</i>
4.5.2	<i>Melhorias no transporte dos PG até os CT.....</i>	<i>196</i>
4.5.3	<i>Variação nos preços de comercialização.....</i>	<i>196</i>
4.6	LIMITAÇÕES DA MODELAGEM MATEMÁTICA.	198
5	CONCLUSÕES.....	200
	REFERÊNCIAS	202

CAPÍTULO 5 - DISCUSSÕES GERAIS E CONCLUSÕES FINAIS

1	INTRODUÇÃO	204
2	DISCUSSÕES GERAIS.....	205
3	CONCLUSÕES FINAIS	215
4	TRABALHOS FUTUROS	217
	REFERÊNCIAS	218

APÊNDICE I – Modelo matemático desenvolvido no IBM ILOG CPLEX Optimization

<i>Studio.....</i>	226
--------------------	------------

APÊNDICE II – Questionários aplicados às Organizações de catadores de materiais recicláveis e às empresas recicladoras.....

230

APÊNDICE III – Coordenadas dos nós do modelo matemático para SLR.....

248

APÊNDICE IV – Planilhas de composição de custos dos Centros de Triagem e Centrais de

Valorização.....	255
-------------------------	------------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.0.0: Fluxograma demonstrativo das etapas metodológicas da pesquisa.....	23
Figura 1.3.1: Cadeia de suprimento em circuito fechado.....	32
Figura 1.5.1: Fluxo da interação dos aspectos de gestão dos SLR.	41
Figura 1.5.2: Possíveis relações entre as etapas de SLR.....	42
Figura 1.5.3: Inter-relação entre os atores que compõem os SLR.	47
Figura 1.5.4: Distribuição das indústrias receptoras de resíduos no Brasil.	48
Figura 1.5.5: Infraestrutura de tratamento e destinação final de resíduos industriais.....	49
Figura 2.3.1: Processo de modelagem.....	68
Figura 2.3.2: Custos de distribuição em função do número de locais de armazenamento.....	71
Figura 2.5.1: Esquema de Arranjos Territoriais Ótimos para SLR de embalagens pós-consumo.....	77
Figura 2.5.2: Esquema do modelo logístico proposto.....	78
Figura 2.5.3: Esquema do modelo com beneficiamento nas CV.	86
Figura 2.5.4: Esquema do Modelo Atual.	88
Figura 3.3.1: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.	100
Figura 3.3.2: Composição gravimétrica encontrados na coleta seletiva de Vitória-ES.	101
Figura 3.3.3: Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios.	103
Figura 3.3.4: Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS que utilizam balança, segundo faixa populacional.....	104
Figura 3.3.5: Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem.....	106
Figura 3.3.6: Índices de reciclagem do alumínio, papel e plástico	113
Figura 3.3.7: Valores médios de venda do papel branco, papelão, e embalagem longa vida.	114
Figura 3.3.8: Mercados consumidores do plástico reciclado em 2011 no Brasil.....	116
Figura 3.3.9: Valores médios de venda do plástico rígido, plástico filme e PET.	117
Figura 3.3.10: Valores médios de venda do vidro incolor.	118
Figura 3.3.11: Valores médios de venda de latas aço e alumínio.	119
Figura 3.5.1: Evolução da taxa média geométrica de crescimento anual do Espírito Santo e do Brasil (1940-2010).....	129
Figura 3.5.2: Divisão regional do Espírito Santo.	130
Figura 3.5.3: Participação percentual da população das microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo em 2010.	131
Figura 3.5.4: Taxa média geométrica de crescimento anual para o ES de 2010 a 2030.....	131
Figura 3.5.5: Evolução da população das microrregiões de 1950 a 2030 - Cenário 1.....	132

Figura 3.5.6: Regionalização do Projeto ES Sem Lixão.	133
Figura 3.5.7: Crescimento populacional das microrregiões administrativas do ES (Cenário 1)	134
Figura 3.5.8: Fontes dos materiais triados pelas associações de catadores no ES.	135
Figura 3.5.9: Produtividade dos catadores por microrregião do ES.	137
Figura 3.5.10: Renda média das associações de catadores no ES.	137
Figura 3.5.11: Renda média dos catadores por microrregião do ES.	138
Figura 3.5.12: - Mapa de localização de possíveis empresas recicladoras de resíduos instaladas no ES.	140
Figura 3.5.13: Fornecedores de resíduos para o setor de reciclagem do ES.	141
Figura 3.5.14: Atividades principais das empresas do setor de reciclagem do ES.	141
Figura 3.5.15: Mapa de localização dos nós da rede de logística reversa de embalagens pós-consumo no ES.	144
Figura 3.5.16: Custo de disposição dos RSU em AS no Brasil e no ES (2009-2014).	146
Figura 3.5.17: Materiais comercializados pelas OCMR no ES.	147
Figura 3.5.18: Valores médios de venda dos papeis no ES.	148
Figura 3.5.19: Valores de venda dos papeis recicláveis por Macrorregião do ES.	149
Figura 3.5.20: Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no ES.	150
Figura 3.5.21: Valores de venda dos plásticos recicláveis por Macrorregião do ES.	150
Figura 3.5.22: Valores médios de venda dos metais recicláveis no ES.	151
Figura 3.5.23: Valores de venda dos metais recicláveis por Macrorregião do ES.	152
Figura 3.5.24: Valores médios de venda dos vidros recicláveis no ES.	153
Figura 4.3.1: Condições operacionais considerados para a construção de Cenários.	165
Figura 4.4.1: Variação dos custos e receitas no Modelo Otimizado para o SLR de embalagens.	169
Figura 4.4.2: Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.	170
Figura 4.4.3: Distribuição dos custos nos cenários – Modelo Otimizado.	171
Figura 4.4.4: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Otimizado.	171
Figura 4.4.5: Número de postos de trabalho nos CT e CV alocados – Modelo Otimizado.	172
Figura 4.4.6: Capacidade operacional dos CT alocados - Modelo Otimizado.	173
Figura 4.4.7: Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Otimizado.	173
Figura 4.4.8: Distribuição das embalagens recicláveis nas CV alocadas – Modelo Otimizado.	175
Figura 4.4.9: Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20% - Modelo Otimizado.	175

Figura 4.4.10: Arranjo territorial ótimo para SLR de embalagens no ES – Modelo Otimizado.	176
Figura 4.4.11: ATO 1 – Região Norte do estado do ES.	177
Figura 4.4.12: ATO 2 – Região leste do estado do ES.	178
Figura 4.4.13: ATO 3 – Região oeste do estado do ES.	179
Figura 4.4.14: ATO 4 – Região metropolitana do estado do ES.	180
Figura 4.4.15: ATO 5 – Região sul do estado do ES.	181
Figura 4.4.16: Oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do ES – Modelo Otimizado.	182
Figura 4.4.17: Variação dos custos e receitas no Modelo Alternativo para o SLR de embalagens.	184
Figura 4.4.18: Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.	184
Figura 4.4.19: Distribuição dos custos nos cenários - Modelo Alternativo.	185
Figura 4.4.20: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Alternativo.	186
Figura 4.4.21: Número total de catadores alocados nos CT e CV	186
Figura 4.4.22: Capacidade operacional dos CT alocados - Modelo Alternativo.	187
Figura 4.4.23: Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Alternativo.	187
Figura 4.4.24: Distribuição das embalagens recicláveis nas CV – Modelo Alternativo.	188
Figura 4.4.25: Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20% - Modelo Alternativo.	189
Figura 4.4.26: Variação dos custos e receitas no Modelo Atual para o SLR de embalagens.	190
Figura 4.4.27: Custos e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.	191
Figura 4.4.28: Distribuição dos custos nos cenários analisados.	191
Figura 4.4.29: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Atual.	192
Figura 4.4.30: Número total de catadores alocados nos CT e CV.	192
Figura 4.4.31: Variação da taxa Receita/Custo para os modelo e cenários analisados – Taxa de retorno de 20%.	193
Figura 4.4.32: Variação do número de postos de trabalho para os modelos e cenários analisados – Taxa de retorno de 20%	194
Figura 4.4.33: Comparação entre cenários quanto às melhorias no processo produtivo.	195
Figura 4.4.34: Comparação entre cenários quanto às melhorias no transporte de PG até CT.	196
Figura 4.4.35: Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Otimizado.	197
Figura 4.4.36: Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Alternativo.	198

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.3.1: Classificação dos problemas de localização de instalações.	64
Tabela 2.5.1: Parâmetros do modelo logístico	80
Tabela 2.5.2: Novos parâmetros do modelo matemático	86
Tabela 3.3.1: Composição gravimétrica de RSD no ES.....	101
Tabela 3.3.2: Composição gravimétrica da coleta seletiva em Vitória-ES.	102
Tabela 3.3.3: Faixas populacionais dos municípios participantes do SNIS, segundo a população total.....	103
Tabela 3.3.4: Percentual de municípios que possuem balança por faixa populacional.....	104
Tabela 3.3.5: Evolução das taxas da massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, que utilizam balança.....	105
Tabela 3.3.6: Eficiência física e econômicas de organizações associativas de catadores.	110
Tabela 3.3.7: Custo de Implantação de Centrais de Triagem de Resíduos	111
Tabela 3.3.8: Custo de operação de Centrais de Triagem de Resíduos.....	111
Tabela 3.3.9: Valores médios de venda do papel e embalagem longa vida (2009-2015).	115
Tabela 3.3.10: Valores médios de venda de plástico (2009-2015).....	117
Tabela 3.3.11: Valores médios de venda de vidros (2009-2015).	118
Tabela 3.3.12: Valores de venda das latas de aço e latas de alumínio (2009-2015).	119
Tabela 3.4.1: Taxa de geração <i>per capita</i> por faixa populacional.....	121
Tabela 3.4.2: Composição gravimétrica dos materiais recicláveis utilizada na aplicação do modelo matemático.....	122
Tabela 3.4.3: Base de dados consultadas sobre empresas recicladoras no ES.	124
Tabela 3.4.4: Detalhamento dos levantamento de dados sobre as empresas recicladoras de resíduos no ES.	125
Tabela 3.4.5: Motivos para impossibilidade de contato telefônico.	125
Tabela 3.4.6: Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de 2008 a 2015. ..	126
Tabela 3.4.7: Índice Nacional de custos de transporte de carga lotação - Dez 2015.	127
Tabela 3.5.1: Estimativa de geração de embalagens por região administrativa do ES.	134
Tabela 3.5.2: Informações sobre as organizações associativas de catadores do ES.....	135
Tabela 3.5.3: Renda e produtividade das organizações associativas de catadores do ES.	136

Tabela 3.5.4: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com papéis recicláveis no ES.	142
Tabela 3.5.5: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com plásticos recicláveis no ES.	142
Tabela 3.5.6: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com metais recicláveis no ES	142
Tabela 3.5.7: Custos de instalação e operação dos CT e das CV	145
Tabela 3.5.8: Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil.	146
Tabela 3.5.9: Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no ES.	146
Tabela 3.5.10: Distribuição em peso dos materiais triados pelas OCMR dos ES.	148
Tabela 3.5.11: Valores médios de venda dos papéis recicláveis no ES (R\$/t).....	148
Tabela 3.5.12: Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no ES.	149
Tabela 3.5.13: Valores médios de venda dos metais recicláveis no ES.	151
Tabela 3.5.14: Valores médios de venda dos vidros recicláveis no ES.	152
Tabela 4.3.1: Capacidades das instalações e CAC para os cenários analisados.....	167
Tabela 4.4.1: Resultados dos cenários analisados – Modelo Otimizado.....	168
Tabela 4.4.2: Resultados dos cenários analisados – Modelo Alternativo	183
Tabela 4.4.3: Resultados dos cenários analisados – Modelo Atual.....	190

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.3.1: Diferenças entre a logística de suprimento tradicional e a logística reversa. ..	31
Quadro 1.3.2: Fatores impactantes na implementação e operacionalização de SLR.....	34
Quadro 1.5.1: Leis federais que disciplinam a gestão de resíduos sólidos no Brasil.....	36
Quadro 1.5.2: Atribuições na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.	38
Quadro 1.5.3: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos políticos e legais.	39
Quadro 1.5.4: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos operacionais.	44
Quadro 1.5.5: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos sociais.	45
Quadro 2.3.1: Resumo da literatura publicada que trata da infraestrutura necessária aos SLR.	70
Quadro 3.3.1: Organização logística de comercialização de materiais recicláveis	109
Quadro 3.3.2: Tipos de reciclagem do plástico.....	115
Quadro 3.3.3: Destinação do plástico reciclado por tipologia.	116
Quadro 4.4.1: Dados sobre o ATO 1- Região norte do estado do ES.	177
Quadro 4.4.2: Dados sobre o ATO 2- Região leste do estado do ES.	178
Quadro 4.4.3: Dados sobre o ATO 3 – Região oeste do estado do ES.	179
Quadro 4.4.4: Dados sobre o ATO 4 – Região metropolitana do estado do ES.	180
Quadro 4.4.5: Dados sobre o ATO 5 – Região sul do estado do ES.....	181

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ADERES – Agência de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo

AS – Aterro Sanitário

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

ATOS – Arranjos Territoriais Ótimos

CAC – Coeficiente de Acréscimo de Cubagem

CEMPRE – Compromisso Empresarial para a Reciclagem

COGERES – Comitê Gestor de Resíduos Sólidos do Espírito Santo

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CT – Centro de Triagem

CTDR – Centrais de Tratamento e de Destinação de RSU

CV – Central de Valorização

ER – Empresa Recicladora

ES – Espírito Santo

ET – Estações de Transbordo

EVTE – Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica

IBAM – Instituto Brasileiro de Administração Municipal

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IDE - Integrated Development Environment

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do ES

INCT-L – Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação

INPEV – Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias

INSS – Instituto Nacional do Seguro Social

IPCA – Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo

LAGESA – Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental

LI – Licença de Instalação

LP – Licença Prévia

LO – Licença de Operação

LR – Logística Reversa

MASP - Metodologia da Análise e Solução de Problemas

MMA – Ministério do Meio-Ambiente

MCidades – Ministério das Cidades

NTC – Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística
OCMR – Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis
OLUC – Óleos Lubrificantes Usados e/ou Contaminados
PEAD – Polietileno de Alta Densidade
PEBD – Polietileno de Baixa Densidade
PET – Polietileno tereftalato
PERS – Política Estadual de Resíduos Sólidos
PEV – Ponto Entrega Voluntária
PG – Ponto de Geração
PLANARES – Plano Nacional de Resíduos Sólidos
PLIM – Programação Linear Inteira Mista
PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos
PO – Pesquisa Operacional
REEE – Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos
RL – Rede Logística
RMGV – Região Metropolitana da Grande Vitória
RS – Resíduos Sólidos
RSD – Resíduos Sólidos Domiciliares
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
SINDICOM – Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes
SINIR - Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos
SISNAMA – Sistema Nacional do Meio Ambiente
SLR – Sistemas de Logística Reversa
SMCS – Sistemas Municipais de Coleta Seletiva
SNIS - Sistema Nacional sobre Saneamento
SNSA – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental
TGP – Taxa de Geração *Per Capita*
TMGCA – Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual
UFES – Universidade Federal do Espírito Santo
UT – Unidades de Triagem
UTM - Universal Transversa de Mercator
WGS - World Geodetic System

**APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO E DO PLANEJAMENTO DA
PESQUISA**

1 INTRODUÇÃO

As questões relacionadas à gestão e ao gerenciamento adequado dos Resíduos Sólidos (RS) têm se tornado, cada vez mais, objeto de estudos científicos, bem como de políticas públicas, em quase todo o mundo. De maneira complementar, com as exigências cada vez mais crescentes dos consumidores e do poder público, aumentam as pressões sobre os fabricantes e os importadores para a redução da quantidade de resíduos de embalagens e para a necessidade de que suas responsabilidades sejam expandidas para os produtos no final da sua vida útil.

A Logística Reversa (LR) inclui questões relacionadas ao processo de planejamento, implementação e controle eficiente e eficaz do fluxo de entrada e armazenamento de bens secundários e de informações, nas cadeias de suprimentos inversas às tradicionais. Tem a finalidade de recuperar valor e propiciar a destinação adequada para produtos pós-venda, pós-consumo e embalagens, desde as fases de produção, distribuição e consumo (FLEISCHMANN *et al.*, 2001; TIBBEN-LEMBKE e ROGERS, 2002; RUBIO *et al.*, 2008).

Na legislação brasileira, Lei 12.305/2010 que instituiu no Brasil a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), a responsabilidade de implantar a LR pós-consumo é compartilhada com os elos da cadeia logística. Sendo atribuído ao setor produtivo o dever de gerenciar e custear a destinação adequada das embalagens e dos produtos pós-consumo.

Segundo a Lei 12.305/2012, a LR é um instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios, destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos RS ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu próprio ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação ambientalmente adequada (BRASIL, 2010a).

A LR apresenta benefícios ambientais e econômicos, pois reduz as demandas por matérias-primas virgens, além de aumentar o potencial de reciclagem, uma vez que o material coletado seletivamente tem maior valor agregado no mercado de reciclagem. Além disso, existem ainda alguns fatores que fazem com que o tema esteja cada vez mais em evidência, como a evolução da legislação, impondo obrigações a fabricantes e importadores, a busca pela melhoria na imagem das empresas e as pressões de competitividade do mercado.

No entanto, ainda existe o desinteresse e a dificuldade de uma parte do setor produtivo em implantar a LR. Pois essa atividade é vista como sendo de alto custo, apresentando restrições logísticas diferentes da logística de suprimento tradicional. Além disso, verifica-se a dificuldade das empresas em medirem o impacto efetivo do retorno do produto, visto que, na maioria das vezes, o produto não é inserido no mesmo processo industrial.

No Brasil, a PNRS, Lei 12.305/2010, passou a exigir dos setores produtivos a implantação de Sistema de Logística Reversa (SLR) para alguns produtos. A partir dos novos conceitos contidos nessa lei, inicia-se um novo ciclo de discussões visando à estruturação de SLR, com a necessidade de incorporação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto, com atribuições individualizadas e encadeadas entre todos os elos da cadeia produtiva, bem como com responsabilidades para o consumidor e o poder público.

Por outro lado, a Lei traz um importante conceito de que visa ampliar a economia de escala no gerenciamento dos resíduos sólidos por meio de consórcios públicos, com intuito de juntar municípios, principalmente de pequeno e médio porte, garantindo uma quantidade maior de resíduos e, assim diluindo os custos fixos dos sistemas de coleta, transporte e destinação final. Esses consórcios, por sua vez, podem ser constituídos através da conformação de Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O conceito de ATOS pode ser aplicado em outras áreas relacionadas aos RS, mesmo que a gestão e operação estejam a cargo do setor empresarial, como os SLR, com o objetivo de ganho de escala.

Portanto, os ATOS relativos à SLR poderão ser uma parte da área de um município grande, ou a área formada por vários municípios pequenos e médios, que produzam resíduos sólidos com potencial de reciclagem, em escala suficiente que possa viabilizar economicamente instalações de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV).

Fazem parte dos ATOS os Pontos de Geração (PG) representados pelas sedes municipais, os CT, onde as embalagens são triadas e prensadas, as CV, para onde os materiais são encaminhados depois de saírem dos CT e ficam armazenados temporariamente para aguardar uma oportunidade de comercialização ou recebendo beneficiamento primário. Após saírem das CV os materiais são comercializados junto às Empresas Recicladoras (ER). Os rejeitos do sistema são encaminhados para Aterros Sanitários (AS).

Neste estudo, a modelagem matemática é realizada visando melhorar o retorno financeiro de SLR e garantindo a abrangência de 100% dos municípios. O modelo foi aplicado às embalagens pós-consumo, pois o SLR de embalagens é obrigatório em muitos países, e estes materiais impactam diretamente a população, além de trazerem prejuízos ambientais, econômico e de saúde pública pela sua disposição inadequada. Além disso, as embalagens compõem uma grande parcela de RSU secos, e a base de dados disponível permitiu uma avaliação detalhada do modelo.

O objetivo desse modelo logístico é definir a localização dos CT e das CV, bem como determinar os melhores fluxos entre os nós da rede. Desta forma, o modelo busca minimizar os custos de implantação, de operação e de transporte, além de maximizar as receitas obtidas com a venda dos materiais para as ER. A partir destas alocações, são definidos ATOS para SLR e também a indicação de polos industriais atrativos para indústrias recicladoras se instalem para atender a este novo mercado.

O modelo logístico é um modelado matemático de otimização, cuja abordagem de resolução é a Programação Linear Inteira Mista (PLIM). O modelo é resolvido computacionalmente utilizando o *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015). Para avaliar o modelo desenvolvido, foi realizada uma pesquisa de campo, no estado do Espírito Santo/Brasil. Para avaliar a sensibilidade do modelo, foram construídos cenários considerando condicionantes do modelo e hipóteses, em termos de participação da população e condições operacionais do sistema.

Os resultados deste estudo podem subsidiar as empresa e os órgãos governamentais sobre os parâmetros que influenciam a sustentabilidade de SLR de produtos pós-consumo e fornecendo uma metodologia para tomada de decisão sobre a localização destas instalações e os melhores fluxos reversos, com a inclusão social de catadores e atendendo à população de municípios de pequeno e médio porte e não apenas às dos grandes centros urbanos.

A partir dos cenários construídos para o modelo, estratégias de priorização de ações podem ser definidas com base em critérios científicos, como a melhoria operacional das instalações, transporte e investimentos para ampliar a participação da população. O estudo contribui também para políticas de incentivo à instalação de indústrias recicladoras, indicando locais mais atrativos logisticamente.

2 JUSTIFICATIVA

Ao longo dos últimos anos, um número considerável de estudos relacionados aos Sistemas de Logística Reversa (SLR) foi publicado. As publicações são mais frequentemente encontradas em periódicos referentes às áreas de administração, engenharia de produção e de matemática aplicada. As metodologias utilizadas geralmente são pesquisas qualitativas exploratórias, principalmente com abordagem em revisões teóricas e estudos de caso. As interfaces com as questões ambientais são pouco exploradas ou não consideradas, deixando uma lacuna importante que necessita ser analisada e incorporada a estes sistemas.

As pesquisas realizadas sobre os SLR buscam fornecer soluções práticas para as empresas no enfrentamento dos desafios na implementação de fluxos reversos. Pesquisadores têm investigado os fluxos em termos de transporte, armazenamento, gestão de estoques, reparação, reutilização e reciclagem. Entretanto, poucos estudos têm sido realizados em estruturas de governança das cadeias de suprimentos, necessárias para gerir os novos SLR para a reutilização, reciclagem e reparação de produtos (AITKEN; HARRISON, 2013).

Ao se analisar os dados disponibilizados pelos setores produtivos que gerenciam os SLR de pneus, embalagens de agrotóxicos, óleos lubrificantes usados e contaminados e pilhas e baterias, que já se encontram em operação no Brasil, observou-se que apresentam altos valores de eficiência quanto ao retorno dos produtos pós-consumo.

Ainda assim, os mesmos sistemas mostram baixas taxas em relação à quantidade de municípios atendidos pelos SLR. Tais constatações são decorrentes da conformação geográfica dos SLR, os quais concentram os pontos fixos de recebimento em municípios com população mais representativa e com maior adensamento populacional.

Diante desse cenário, a contribuição desta Tese foi o desenvolvimento de um modelo logístico para localização de CT e CV necessários à implantação de SLR de embalagens em ATOS, que necessariamente incorporem os municípios de pequeno porte e otimizem os custos dos SLR e a receita auferida com a comercialização dos materiais recicláveis. Além da indicação dos ATOS a partir das alocações de CT e CV, o modelo indica o fluxo entre as instalações, a capacidade de alocação de postos de trabalhos e os polos industriais mais atrativos para a localização de indústrias recicladoras.

3 OBJETIVOS

3.1 *Objetivo Geral*

Desenvolver um modelo logístico para a localização de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) como parte integrante de Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo visando à organização de municípios em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

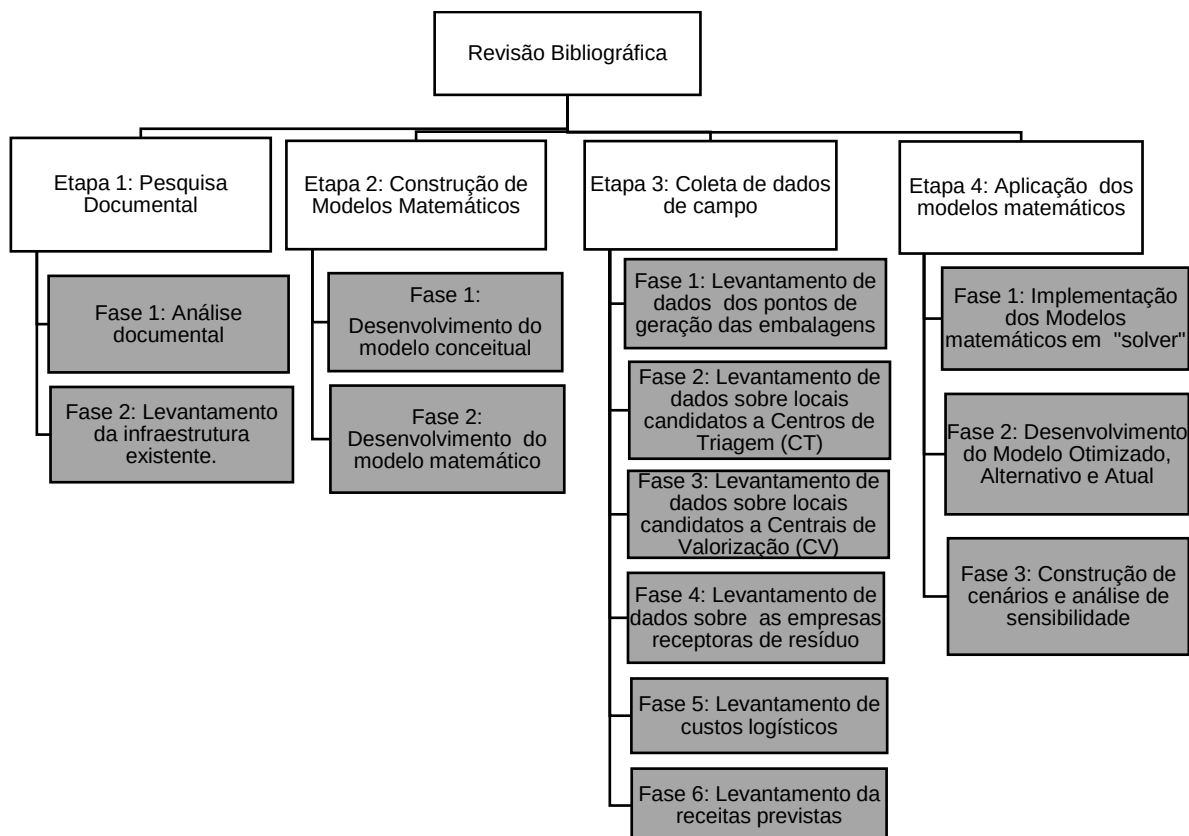
3.1 *Objetivos Específicos*

- Desenvolver um modelo conceitual para o SLR com a indicação das características dos Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) e dos fluxos entre os nós da rede logística;
- Desenvolver uma modelagem matemática com indicação da função objetivo e restrições de contorno de forma a representar o modelo conceitual proposto;
- Validar o modelo logístico desenvolvido utilizando dados obtidos em pesquisa de campo no estado do Espírito Santo/Brasil;
- Avaliar a sensibilidade do modelo a partir da construção de cenários.

4 METODOLOGIA

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas metodológicas visando responder aos objetivos estabelecidos, conforme fluxograma apresentado na Figura 1.0.0.

Figura 1.0.0: Fluxograma demonstrativo das etapas metodológicas da pesquisa.



Apresenta-se, a seguir, o detalhamento das etapas da pesquisa.

Etapa 1: Pesquisa documental

Essa etapa foi dividida em duas fases. A Fase 1 teve como objetivo organizar informações referentes aos Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens e de produtos pós-consumo que se encontram em fase de operação e implantação no Brasil, considerando os aspectos técnicos, ambientais, econômicos e sociais. A Fase 2 teve como objetivo levantar os dados sobre a infraestrutura existente no Brasil para reciclagem e tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos.

Etapa 2: Construção de Modelos Matemáticos

Nessa etapa foram construídos modelos matemáticos para a localização de instalações destinadas à Logística Reversa (LR) de embalagem pós-consumo, sendo constituída por três fases. Na Fase 1, foi desenvolvido um modelo conceitual com a descrição dos princípios norteadores do modelo e a apresentação das variáveis-chave.

Na Fase 2, foram desenvolvidos modelos matemáticos, onde os aspectos considerados relevantes na composição de custos para os SLR de embalagens são descritos de forma matemática, bem como as restrições que devem ser atendidas. A modelagem matemática foi desenvolvida utilizando a Programação Linear Inteira Mista (PLIM).

Etapa 3: Coleta de dados de campo – Estudo de caso: estado do Espírito Santo

Essa Etapa consiste na coleta de dados utilizados como parâmetros de entrada para o modelo matemático, sendo composta por cinco Fases. Na Fase 1 foi realizada uma estimativa de geração de embalagens pós-consumo. Na Fase 2 foram calculados os custos fixos de instalação e de operação dos CT e CV. Na Fase 3 foram calculadas as distâncias e custos de transporte entre os nós da rede. Na Fase 4 foram levantados os dados sobre as empresas recicladoras e sobre os aterros sanitários. Na Fase 5 foram levantados os dados sobre os custos logísticos e na Fase 6 as receitas previstas com a venda dos materiais recicláveis

Etapa 4: Aplicação dos modelos matemáticos

Nessa Etapa, composta por três fases, foi realizada a aplicação dos modelos matemáticos utilizando os dados de campo como parâmetros do modelo. Na Fase 1, os modelos matemáticos foram implementados no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

Na Fase 2 foi realizado o desenvolvimento do Modelo Otimizado, Alternativo e Atual utilizando os dados de campo. Na Fase 3, foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo por meio de construção de cenário. Estes foram construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população e em aspectos operacionais do sistema. Estes foram denominados como: Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista para cada parâmetro analisado.

5 APRESENTAÇÃO DO DOCUMENTO

A Tese foi estruturada em cinco capítulos, conforme detalhamento apresentado a seguir.

Capítulo 1: Análise dos sistemas de logística reversa no Brasil

Nesse capítulo é apresentado o objeto de estudo e problemas a ele relacionados, e também a descrição do cenário brasileiro em relação ao tema. Os desafios para os Sistemas de Logística Reversa (SLR) no Brasil foram analisados em relação aos aspectos políticos e legais, aspectos operacionais e aspectos sociais relacionados à mão de obra e participação de população.

Capítulo 2: Modelo Logístico: Modelagem conceitual e matemática

Nesse capítulo é apresentada uma breve revisão de literatura sobre a resolução de problemas de localização de instalações. É apresentado um modelo conceitual para SLR de embalagens pós-consumo e uma modelagem matemática foi desenvolvida utilizando PLIM.

Capítulo 3: Obtenção dos parâmetros do modelo matemático: Estudo de Caso - Espírito Santo/Brasil

O objetivo desse capítulo é apresentar os dados coletados em pesquisa de campo, os quais são as bases para os parâmetros de entrada do modelo matemático discutido no Capítulo 2. Foram mostrados os dados sobre a geração de embalagens pós-consumo, custos logísticos envolvendo os custos de instalação e de operação dos CT e CV, os custos de transporte, e os custos de disposição final dos rejeitos, bem como das receitas auferidas com a comercialização dos materiais recicláveis.

Capítulo 4: Aplicação dos modelos Matemáticos

Nesse capítulo são apresentados os resultados obtidos no desenvolvimento do modelo matemático apresentado no Capítulo 2, utilizando os dados apresentados no Capítulo 3. São apresentados os resultados do modelo denominado Modelo Otimizado e para outras duas situações, Modelo Alternativo e Modelo Atual. Também são apresentados e discutidos os cenários que permitiram realizar análises de sensibilidade dos modelos.

Capítulo 5: Discussões gerais e considerações finais

Esse é um capítulo final em que são apontados os principais resultados obtidos no trabalho e a avaliação geral do estudo. São indicados também recomendações para estudos futuros.

ANÁLISE DOS SISTEMAS DE LOGÍSTICA REVERSA NO BRASIL

1 INTRODUÇÃO

A responsabilidade estendida de fabricantes e importadores em relação aos produtos após sua vida útil e suas embalagens está se tornando cada vez mais comum em todo o mundo, e o rigor das legislações ambientais tem impulsionado as ações de concretização dos Sistemas de Logística Reversa (SLR). Kizilboga *et al.* (2013) apontam que processos de Logística Reversa (LR) também podem gerar impactos negativos, tanto econômicos como ambientais, pois requerem o consumo de energia, mesmo que reduzam o uso de matérias-primas.

As motivações para realização da LR por parte das empresas, em geral, estão fundamentadas em três eixos: ambiental, financeiro e legal. A motivação ambiental surge principalmente quando se observa uma vantagem competitiva através da criação de uma “imagem verde” para os produtos e serviços que são oferecidos ao mercado (SROUFE *et al.*, 2000; KLASSEN, 2000).

Nesse sentido, alguns produtores mantêm a linha verde em seu processo a fim de satisfazer a expectativa dos clientes. Esses clientes esperam cada vez mais que as empresas reduzam o impacto ambiental de suas atividades e produtos. Portanto, uma imagem "verde" tornou-se um elemento de marketing importante (FLEISCHMANN *et al.*, 2001).

O fator econômico da LR refere-se aos lucros de ações de recuperação de produtos ou parte dele, que proporcionam a redução de custos, decréscimo no uso de materiais e economia com peças de reposição. Há uma motivação financeira para atividades de reutilização, quando, por exemplo, um equipamento chega a uma empresa no final da sua vida útil e suas peças podem ser usadas como peças sobressalentes ou vendidas em mercado secundário, a um percentual do custo do uso de produtos originais na sua reparação (GARCÍA-RODRÍGUEZ *et al.*, 2013).

A legislação existente também tem impulsionado o desenvolvimento de SLR, tanto na Europa como no Brasil, levando os setores produtivos a reverem os ciclos de vida de seus produtos e estruturarem SLR. Esse tipo de motivação, em geral, pode levar à operacionalização cooperada entre diferentes elos da cadeia produtiva. A LR é, portanto, importante como estratégia de negócios sustentáveis e lucrativos. No entanto, existem diversos fatores críticos, internos e externos, que afetam suas atividades inerentes (BARROSO; MACHADO, 2005; GONÇALVES-DIAS *et al.*, 2012; ABDULRAHMANA *et al.*, 2014).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar o cenário nacional sobre os SLR em fase de operação e de implantação no Brasil e suas percepções.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar os SLR em operação no Brasil;
- Analisar os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) elaborados para subsidiar os acordos setoriais para a implantação de SLR a partir da Lei 12.305/2010;
- Levantar dados sobre a infraestrutura existente no Brasil para reciclagem e tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos;
- Descrever as relações entre os atores responsáveis pelos SLR;
- Descrever os desafios para a implantação dos SLR no Brasil.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Histórico da logística reversa

A responsabilidade estendida do produtor está se tornando cada vez mais comum em todo o mundo. A mais antiga referência localizada na literatura internacional sobre logística reversa, data do início dos anos 70 (GONÇALVES-DIAS *et al.*, 2008). A literatura revisada mostra que o conceito de logística reversa ganhou força a partir da década de 1980, mas apenas a partir dos anos 1990 passou a ser discutida com mais intensidade, quando passou a ser implementada. Entretanto, apenas a partir de 1995 surgem os primeiros trabalhos focando a relação entre logística reversa e questões socioambientais (RUBIO *et al.*, 2008).

A LR obrigatória surgiu na década de 1990 na Europa e nos EUA simultaneamente. Nos EUA, foi impulsionada pela consciência ambiental dos consumidores que queriam a reciclagem de embalagens e de produtos em fim de vida, enquanto na Europa a LR surgiu por causa de restrições das regulamentações (LAMERT; RIOPEL, 2003).

No setor de eletroeletrônicos, por exemplo, nos EUA, em províncias Canadenses, na União Europeia e no Japão, assim como no Brasil, foram aprovados regulamentos que exigem que os fabricantes de equipamentos garantam a eliminação ambientalmente segura de seus produtos em fim de vida. E a fim de cumprir com a legislação ambiental, as empresas se veem diante do desafio de desenvolver as suas capacidades para implantação da logística reversa (ALUMUR *et al.*, 2012).

Fleischmann *et al.* (1997) apresentam uma revisão de literatura sobre a gestão do fluxo de LR nos campos de planejamento de distribuição, controle de estoque e planejamento de produção, onde são discutidas as implicações dos esforços emergentes de reutilização e modelos matemáticos, apontando áreas que necessitam de mais pesquisas.

Os estudos realizados sobre os SLR fornecem, na sua grande maioria, soluções práticas para as empresas no enfrentamento dos desafios da realização de fluxos reversos e destacam os ganhos econômicos e ambientais advindos dessa prática.

No Brasil, a primeira legislação na esfera federal que abordou especificamente o tema da logística reversa foi a Lei nº 7.802, de 11 de julho de 1989, que trata das embalagens de

agrotóxicos (BRASIL, 1989). Até 2010, a logística reversa só se tornou obrigatória, por meio de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), para Óleos Lubrificantes Usados e Contaminados (OLUC) (BRASIL, 2005a; 2012), pilhas e baterias (BRASIL, 2008) e pneumáticos (BRASIL, 2009). Havia, portanto, a carência de uma legislação nacional que oferecesse o respaldo jurídico necessário para o desenvolvimento de uma infraestrutura abrangente, com definição de responsabilidades quanto à gestão desses sistemas.

A partir da publicação da Lei 12.305/2010 e do Decreto nº 7.404/2010, a LR se tornou obrigatória também para embalagens dos óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista e produtos eletroeletrônicos e seus componentes (BRASIL, 2010a, 2010b). Por meio da Deliberação Nº 6 do Ministério do Meio Ambiente (MMA) (BRASIL, 2012) foram incluídos os medicamentos inservíveis e embalagens em geral.

3.2 Logística reversa e logística de suprimentos

A logística empresarial pode ser dividida em logística de suprimentos, logística de distribuição e, por fim, inclui a logística reversa, cuja demanda tem aumentado consideravelmente no ambiente empresarial. Mesmo representando um pequeno percentual do montante movimentado na logística direta, ela tem sua devida importância e pode agregar valores econômicos, legais, logísticos, ecológicos, de imagem corporativa, entre outros para a empresa (GUARNIERI *et al.*, 2006).

A logística reversa mantém vínculos com a logística de suprimento. Principalmente, por se tratar dos mesmos elos das cadeias produtivas, e utilizarem, em muitos casos, os mesmos mecanismos de coleta, armazenamento, transporte, bem como de comunicação e controle, tornando esses serviços de funções mistas.

A logística reversa, de um modo geral, tem sido considerada um módulo independente da cadeia de suprimento tradicional. Focaliza-se, essencialmente, na gestão dos processos que ocorrem no sentido inverso e a otimização dos processos é realizada localmente. Entretanto, se for integrada na cadeia de suprimentos pode contribuir para uma maior redução tanto dos custos globais de toda a cadeia, como dos impactos ambientais, apesar do aumento da sua complexidade (BARROSO, MACHADO, 2005). Ressalta-se que as soluções de transporte,

armazenamento, tratamento e destinação final na LR possuem critérios ambientais mais rígidos, além das dificuldades intrínsecas ao processo de logística de suprimentos.

Muitas empresas têm incorporado à LR na logística de suprimentos para formar uma cadeia de suprimentos em circuito fechado. Um estado da arte sobre cadeias de suprimentos em circuito fechado pode ser encontrado em Ilgin e Gupta (2010). Tibben-Lembke e Rogers (2002) apresentam também um estado da arte sobre as diferenças entre a logística de suprimentos e a LR em um ambiente de varejo, apresentadas no Quadro 1.3.1.

Quadro 1.3.1: Diferenças entre a logística de suprimento tradicional e a logística reversa.

Logística de suprimento tradicional	Logística reversa
Previsão relativamente simples	Previsão mais difícil
Um produto com muitas possibilidades de transportes	Muitos produtos diferentes para uma rota de transporte
Qualidade do produto uniforme	Qualidade do produto não uniforme
Uniformidade da embalagem do produto	Embalagem do produto, muitas vezes danificada.
Destino / roteamento claro	Destino / roteamento incerto
Canal padronizado	O canal reverso não é padronizado e tem muitas exceções
Opções de disposição clara	Disposição não definida para todos os produtos coletados
Preços relativamente uniformes	Preços dependem de muitos fatores
Importância da velocidade de atendimento reconhecida	Velocidade de atendimento muitas vezes não é uma prioridade
Custos de distribuição cuidadosamente monitorados por sistemas de contabilidade	Custos reversos menos diretamente visíveis. Divididos entre a cadeia produtiva e às vezes não contabilizados
Gestão de estoques consistente	Gestão de estoques não é consistente
Ciclo de Vida do produto gerenciável	Questões do ciclo de vida do produto mais complexo
Negociação entre as partes simples	Negociação complicada por considerações adicionais
Métodos de marketing bem conhecidos	Marketing complicado por vários fatores
Informação em tempo real para rastrear produtos	Rastreabilidade pouco possível até o momento

Fonte: Adaptado de Tibben-Lembke e Rogers (2002)

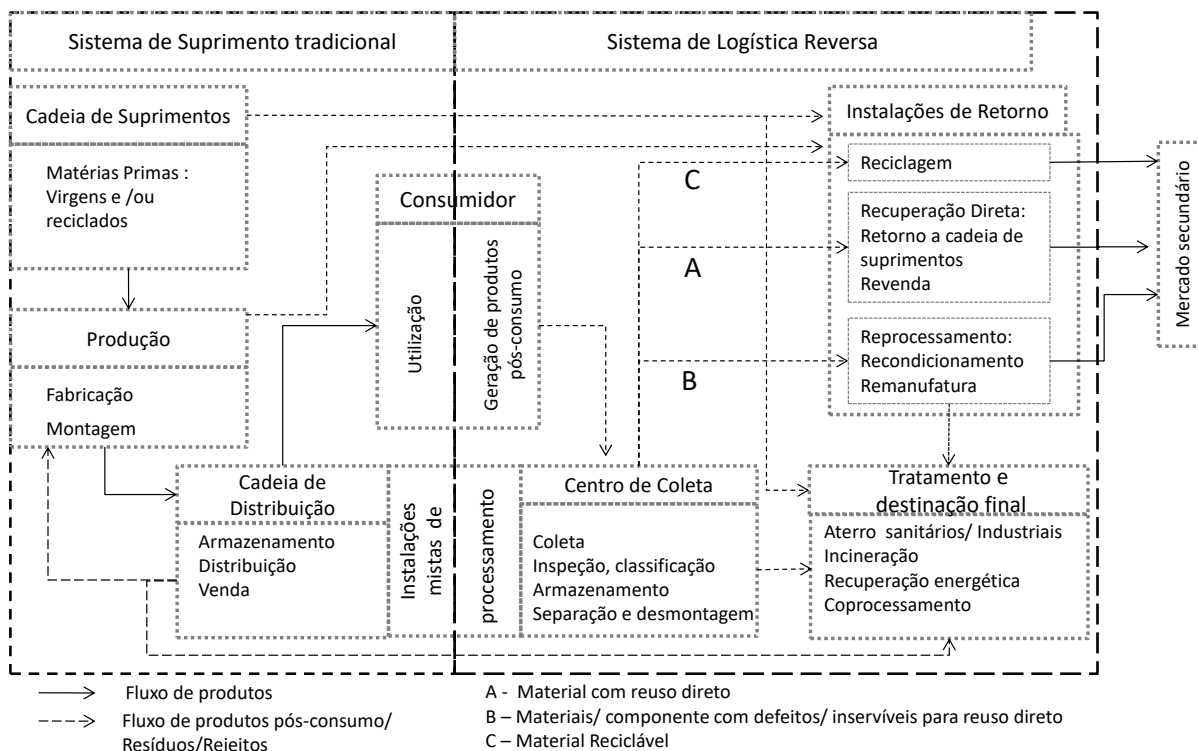
A vida de um produto, do ponto de vista logístico, não deve terminar com a sua entrega ao cliente. O canal de LR pode utilizar todo ou apenas uma parte do canal logístico, ou pode necessitar de um projeto dedicado exclusivamente a ele. A cadeia de suprimentos fechada termina com o descarte final e o SLR deve estar dentro do escopo do planejamento e do controle logístico.

Inverter o fluxo de produtos é um desafio para a maioria das organizações em termos de atividades físicas. As empresas que o reconhecem, muitas vezes, descobrem uma nova

oportunidade de marketing, construindo uma base para fidelização dos clientes e atraindo novos (AITKEN; HARRISON, 2013).

A Figura 1.3.1 representa os fluxos de produtos e resíduos em uma cadeia de suprimento em circuito fechado, incorporando o SLR.

Figura 1.3.1: Cadeia de suprimento em circuito fechado.



Fonte: Elaborado a partir de Dat *et al.* (2012).

3.3 Infraestruturas necessárias para os SLR

Do ponto de vista territorial, os SLR podem ser compreendidos como o conjunto de competências infraestruturais (transportes, comunicações, centrais de recebimento, armazenamento e comercialização, etc.); institucionais (agências reguladoras, licenciamento ambiental, concessão de serviços públicos a empresas privadas, parcerias público-privadas, etc.); e organizacionais (conhecimento e estratégias) que conferem competitividade às cadeias produtivas que devem fazer uso do SLR. Engloba, portanto, não somente processos puramente técnicos e administrativos, como também o componente espacial, o qual se mostra essencial para uma análise de sua viabilidade técnica (planejamento e investimentos) de forma a revelar os benefícios obtidos em sua adoção (IBAM, 2012).

Pesquisadores têm investigado os fluxos em termos de transporte (WANG; CHEN, 2013; ZSIGRAIOVA *et al.*, 2013), sistema de gerenciamento (SCHULTMANN *et al.*, 2006; TRAPPEY *et al.*, 2010, SILVA *et al.*, 2013), sistema de gestão (BARROSO; MACHADO, 2005; AITKEN; HARRISON, 2013; GIANNETTI *et al.*, 2013) e desenvolvimento de redes de logística reversa (FLEISCHMANN *et al.*, 2001; ALUMUR *et al.*, 2012; KIZILBOGA *et al.*, 2013; RAMEZANIA *et al.*, 2013; SOLEIMANI *et al.*, 2013). Entretanto, poucas pesquisas têm sido realizadas sobre estruturas de governança das cadeias de suprimentos, necessárias para gerir os novos SLR para a reutilização, reciclagem e reparação de produtos (AITKEN; HARRISON, 2013).

Os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para a implantação de SLR elaborados para cinco tipologias de produtos pós-consumos (GRANT THORNTON, 2011; SINDICOM, 2012; IBAM, 2012; ABDI, 2012, 2013) indicaram que as estruturas necessárias para a implantação dos SLR, variam de acordo com a infraestrutura já existente nas cadeias logísticas de suprimento que poderão ser utilizadas nesse novo fluxo. Sistemas cujos produtos têm uma geração mais pontual ou cujos locais de revenda à população são mais específicos como embalagens de óleos lubrificantes e medicamentos inservíveis, necessitam de infraestruturas relacionadas à coleta e transporte.

Nesse caso, os pontos de coleta poderão ser localizados nos próprios locais de revenda à população, como postos de gasolina e farmácias. Por outro lado, lâmpadas fluorescentes, eletroeletrônicos e embalagens em geral, cuja geração é mais difusa, distribuídos por diferentes pontos de comercialização, necessitam da organização e estruturação dos pontos de coleta, e centrais de transferências. No caso dos eletroeletrônicos e lâmpadas fluorescentes, podem ainda necessitar do desenvolvimento de tecnologias para tratamento e destinação final, cujo mercado da reciclagem ainda é insuficiente para suprir a demanda prevista.

Giannetti *et al.* (2013) analisaram uma rede logística reversa de uma distribuidora de chapas de aço. A metodologia adotada possibilitou a determinação da quantidade mínima de sucata que o distribuidor deve recuperar para melhorar os benefícios ambientais. A maior parte dos Estados-Membros da União Europeia que estabeleceram políticas de coleta de medicamentos ou produtos pós-consumo da indústria farmacêutica criou programas que se utilizam das farmácias e drogarias como pontos centrais de coleta e de interligação com operadores responsáveis pela destinação final dos resíduos. (ABDI, 2013).

3.4 Desafios na implementação de SLR

A logística reversa é importante como estratégia de negócios sustentáveis e lucrativos. No entanto, existem diversos fatores críticos internos, externos que afetam as atividades inerentes à LR de uma organização. Os principais resultados dos estudos analisados por Gonçalves-Dias *et al.* (2012) demonstram certas dificuldades na estruturação da logística reversa, principalmente no que diz respeito à interação dos atores na cadeia, a normas de regulação da cadeia reversa e estratégias de inovação tecnológica e gerencial.

No Quadro 1.3.2 são apresentados os principais fatores que afetam SLR, sendo um estudo realizado em Portugal, onde já tem SLR implementados (BARROSO; MACHADO, 2005) e um realizado na China, onde há poucas iniciativas sobre o assunto (ABDULRAHMANA *et al.*, 2014). Esses estudos apresentam diferentes aspectos em decorrência do estágio de amadurecimento da prática de LR no País.

Quadro 1.3.2: Fatores impactantes na implementação e operacionalização de SLR.

Categoria	Fatores impactantes	País
Consumidor	Dificuldade em manter um sistema economicamente viável de coleta de resíduos, atendendo a dispersão dos potenciais fornecedores.	Portugal ^(a)
Mercado de reciclagem	Compreende a procura de produtos recuperados, na forma de material reciclado e/ou produtos/componentes reutilizáveis.	
Legislação	Garantias em relação à entrada de resíduos no sistema para sua viabilidade.	
Concorrência	Diz respeito ao nível de competitividade dos fornecedores de resíduos.	
Custos estratégicos	Custo para desmontar os resíduos, o custo de qualificação dos recursos humanos para operar o SLR e o custo associado à armazenagem adicional.	
Serviço ao cliente	Para qualquer sistema logístico ser eficiente é essencial a identificação e satisfação dos requisitos do serviço ao cliente.	
Aspectos ambientais	Se considerados na definição da estratégia da empresa, podem conduzir à redução de custos e a melhorias ambientais.	
Custos operacionais	Custo-benefício de transporte, armazenagem, gestão do abastecimento, embalagem, bem como desmontagem e reprocessamento.	China ^(b)
Aspectos legais e políticos	Falta de leis e diretrizes eficazes para a coleta de produtos em fim de vida e de políticas econômicas governamentais de apoio à implementação LR.	
Gestão	Baixo comprometimento com práticas de LR. Falta de especialista no nível gerencial da LR e de pessoal qualificado.	
Financeira	Falta de capital inicial e de recursos para sistemas de monitoramento do fluxo de retorno.	
Infraestrutura	Falta de sistemas (hardware / software) para monitorar os fluxos de retorno, falta de coordenação com os prestadores terceirizados, e de instalações de armazenagem, equipamentos de manuseio e veículos.	

Fonte: Adaptado de Barroso e Machado (2005) ^(a) e Abdulrahmana *et al.* (2014) ^(b).

4 METODOLOGIA

A metodologia adotada nessa Etapa do estudo foi a pesquisa documental sendo dividida em duas Fases. A partir do trabalho dessa etapa foi possível desenhar os diferentes fluxos dos produtos e embalagens pós-consumo, bem como os fluxos de informações e de recursos. Dessa forma, possibilitou o entendimento de como essas relações ocorrem na prática e como são delineadas pela nova legislação brasileira.

4.1 Fase 1: Análise dos SLR no Brasil

Nessa Fase, os dados foram obtidos a partir de relatórios técnicos de órgãos governamentais sobre os SLR já implantados e em operação no Brasil, de EVTE elaborados para subsidiar a implantação de novos SLR; de editais de chamamento do Governo Federal para a construção de acordos setoriais com o setor produtivo; bem como de acordos setoriais já firmados.

Foram também utilizados dados constantes dos relatórios técnicos e informações disponibilizadas pelas associações das empresas de pneus inservíveis, embalagens de agrotóxicos, OLUC e pilhas, que realizam a logística reversa de forma obrigatória, por força de resoluções do CONAMA.

A partir da análise desses dados, foi realizada a sistematização das informações, visando categorizar os principais indicadores de desempenho dos sistemas em implantação e em operação, apurando seus aspectos críticos, as lacunas e os desafios desses sistemas.

4.2 Fase 2: Levantamento de dados da infraestrutura existente

Para o levantamento da infraestrutura existente no Brasil, em relação às indústrias recicladoras e unidades de tratamento de resíduos, foram consultados os EVTE e base de dados de instituições que gerenciam os SLR e das associações de empresas que atuam nos setores de reciclagem e tratamento de resíduos.

Essas informações foram obtidas por meio de relatórios publicados e dados disponibilizados para consulta pública nos *sites* dessas instituições e relatórios publicados por órgão federais.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao se analisar os EVTE já elaborados para SLR no Brasil, foi possível categorizar uma variedade de desafios que os setores produtivos estão enfrentando ou estimam surgir no decorrer da sua implementação.

Esses desafios foram divididos em três categorias, relacionadas aos aspectos políticos e legais, aspectos operacionais e aspectos relacionados às questões sociais. As questões levantadas nessas categorias necessitam ser consideradas na proposição e operacionalização dos SLR, pois podem interferir no alcance das metas estabelecidas pelos instrumentos reguladores desses sistemas.

5.1 Aspectos políticos e legais

No Brasil, os serviços de saneamento básico incluem o manejo de resíduos sólidos urbanos e a limpeza urbana, além de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto e drenagem urbana. Esses temas possuem caráter interdisciplinar e necessitam de uma gestão intersetorial, pois possuem estreita ligação com o desenvolvimento, a educação, a saúde, o meio ambiente, os recursos hídricos, passando pela produção de bens e o consumo.

As três principais legislações que reúnem as regras quanto ao gerenciamento de resíduos no Brasil estão resumidas no Quadro 1.5.1.

Quadro 1.5.1: Leis federais que disciplinam a gestão de resíduos sólidos no Brasil.

Lei	Decreto	Objetivos
12.305/2010	7.404/2010	Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e define regras específicas para o seu gerenciamento, que, por sua vez, está atrelado à execução dos serviços de limpeza urbana, na responsabilidade do gerador e do Poder Público. Traz regras detalhadas sobre SLR.
11.445/2007	7.217/2010	Legitimou a integração dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário, com os de drenagem de águas pluviais, bem como os serviços de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos, proporcionando um aspecto intersetorial ao planejamento do saneamento básico.
11.107/2005	6.017/2007	Dispõem sobre a gestão associada, com ênfase para consórcios públicos, garantindo segurança jurídica, com vista a alcançar ganho de escala com a redução de custos para a gestão dos seus serviços públicos, dentro dessas possibilidades os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).

Fonte: Adaptado de Brasil (2005b, 2007a, 2007b, 2010a, 2010b, 2010c).

Essas leis federais e seus respectivos decretos regulamentadores estabelecem entre si uma relação de convergência e, ao mesmo tempo, de complementaridade. Os SLR, apesar de serem regulamentados pela Lei 12.305/2010, necessitam se apoiar nas outras duas (Quadro 1.5.1), principalmente quando se trata da interface dos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) com os SLR para embalagens em geral.

O art. 33 da Lei 12.305/2010, regulamentada pelo Decreto 7.404/2010, obriga a estruturar e implementar SLR, através de retorno dos produtos após o uso do consumidor, todos aqueles caracterizados como fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de agrotóxicos, seus resíduos e embalagens; pilhas e baterias; pneus; óleos lubrificantes, seus resíduos e embalagens; lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, e produtos eletroeletrônicos e seus componentes, de forma independente do serviço público de limpeza urbana e de manejo dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010a, 2010b).

A PNRS estabelece ainda que o SLR deverá ser estendido aos produtos comercializados em embalagens plásticas, metálicas ou de vidro e aos demais produtos e embalagens, considerando, prioritariamente, o grau e a extensão do impacto à saúde pública e ao meio ambiente dos resíduos gerados (BRASIL, 2010a, 2010b).

5.1.1 Responsabilidade compartilhada

No Brasil, para a operacionalização dos SLR, é necessário que se ponha em prática o conceito da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos entre os elos das cadeias produtivas, o poder público e os consumidores, que é bem diferente do que ocorre nos países da “Zona do Euro”, onde a responsabilidade do fabricante é estendida, alargada, integral.

A responsabilidade compartilhada é definida no Art. 3º da Lei 12.305/2010, como um conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes, dos consumidores e dos titulares dos serviços públicos de limpeza urbana, para minimizar o volume de resíduos sólidos e rejeitos gerados, bem como para reduzir os impactos causados à saúde humana e à qualidade ambiental decorrentes do ciclo de vida dos produtos (BRASIL, 2010a).

O Quadro 1.5.2 apresenta as atribuições dos atores quanto à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos no Brasil.

Quadro 1.5.2: Atribuições na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos.

Atores	Atribuições específicas
Setor empresarial Fabricantes/ importadores/distribuidores e comerciantes	• Implantar procedimentos de compra de produtos ou embalagens usadas; • Disponibilizar postos de entrega de resíduos reutilizáveis e recicláveis; • Atuar em parceria com cooperativas ou outras formas de associação de catadores de materiais reutilizáveis e recicláveis; • Dar destinação ambientalmente adequada aos produtos e às embalagens devolvidas, sendo o rejeito encaminhado para a disposição final ambientalmente adequada, na forma estabelecida pelo órgão competente e, se houver, pelo plano municipal de RS; • Os comerciantes e distribuidores deverão efetuar a devolução aos fabricantes ou aos importadores dos produtos e embalagens reunidos ou devolvidos pelos consumidores.
Organização gestora	• Articular com os municípios para receber, a partir do ponto de conexão com os Sistemas Municipal de Coleta Seletiva (SMCS), o material passível de reciclagem ou de reutilização; • Promover, se for o caso, a comercialização dos produtos e embalagens pós-consumo; • Adotar e fomentar medidas para o estímulo da eficiência da operação do SLR com vista a conferir escala e qualidade ao material produzido; • Submeter-se ao processo regulatório e fiscalizatório estatal e informar os fluxos dos SLR aos órgãos fiscalizadores; • Realizar a interface com os demais atores e subsistemas, buscando mitigar as falhas das correlações de responsabilidades; • Gerenciar e custear a logística dos sistemas de coleta até os recicladores; • Contratar e acompanhar o serviço de reciclagem e • Realizar campanhas de conscientização.
Estados e União	• Articular comitês de acompanhamento da implantação dos SLR; • Regular e incentivar os recicladores para ganho de desempenho no processo; • Prover incentivos à fabricação de produtos com maior conteúdo de reciclados, recicláveis e facilidade de reciclagem; • Incentivar a pesquisa e desenvolvimento de forma a promover o desenvolvimento de tecnologias relacionadas à cadeia da logística reversa; • Criar mecanismos de compensação dos custos de processamento dos produtos órfãos com o princípio protetor-recebedor; • Prover financiamentos para infraestrutura de recicladoras e outros atores do sistema; • Promover conscientização sobre o tema.
Municípios:	• Implantar o Sistema Municipal de Coleta Seletiva (SMCS); • Prestar os serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos que vão se conectar, ainda que indiretamente, ao SLR; • Regular e fiscalizar as atividades decorrentes dos SLR; • Atribuir e fiscalizar as metas de reciclagem; • Operar o SLR, desde que haja previsão no acordo setorial ou no termo de compromisso, mediante ao devido pagamento pelo setor empresarial.
Consumidores	• Segregar os materiais passíveis de reciclagem e dos produtos pós-consumo e ofertá-los aos SMCS e SLR; • Efetuar a devolução após o uso, aos comerciantes ou distribuidores, dos produtos e das embalagens objeto de logística reversa.
Catadores	• Prestar serviços ambientais. As organizações de catadores de materiais recicláveis que atuem diretamente na coleta seletiva dos materiais, conforme preconizado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), terão responsabilidades definidas nos programas municipais de Coleta Seletiva.

Fonte: Adaptado de Brasil (2010a, 2010b).

No cenário internacional são reconhecidas algumas iniciativas de políticas públicas voltadas para a LR de produtos pós-consumo obrigatória, entretanto são diversos os fatores apontados com entres para estes sistemas. Conhecer os fatores que afetam a LR pode fornecer informações valiosas para a sua implementação (RAVI *et al.*, 2005).

Barroso e Machado (2005) citam as dificuldades, em Portugal, em manter um sistema economicamente viável de coleta de resíduos, a falta de garantias em relação à entrada de resíduos no sistema para sua viabilidade. Abdulrahmana *et al.* (2014) na China enfatizam a falta leis e diretrizes eficazes para a coleta de produtos em fim de vida, de políticas econômicas governamentais de apoio à implementação de SLR, dentre outros fatores, e falta de capital e de recursos para sistemas de monitoramento do fluxo de retorno são apontados como gargalos para o sucesso da LR. Um estudo comparativo sobre as barreiras que afetam os SLR é apresentado por Agrawal *et al.* (2015).

5.1.2 Desafios legais e normativos para SLR no Brasil

Os desafios apresentados pelos setores produtivos nos EVTE analisados em relação aos aspectos políticos e legais são apresentados no Quadro 1.5.3.

Quadro 1.5.3: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos políticos e legais.

Categorias	Desafios
Legislação e normatização	• Necessidade de revisão da legislação em relação às questões relacionadas ao gerenciamento dos resíduos perigosos que estão no SLR; • Necessidade ou não de termo de doação no caso da transferência de Resíduos Eletroeletrônicos; • Custeio de produtos órfãos; • Complementação de marco regulatório com objetivo de não favorecer o desenvolvimento de negócios sem atendimento aos requisitos legais e técnicos relacionados aos SLR; • Estabelecimento de metas para utilização de matéria-prima secundária.
Aspectos tributários	• Definição de critérios para isenção de tributação da atividade de LR; • Promoção do mercado da reciclagem através de incentivos fiscais pelo uso de material reciclado, venda de produtos com conteúdo reciclável ou com design ecológico.
Instrumentos financeiros	• Linhas de crédito para investimentos em infraestrutura das recicladoras regionais; • Criar incentivos no mercado para vários atores envolvidos nos SLR.
Controle governamental	• Promover a articulação entre fabricante, importadores, comércio, recicladores e poder público para alinhamento dos objetivos do SLR, com criação de instrumentos de controle para garantir que todos se vinculem aos seus respectivos SLR; • Regulamentação dos acordos setoriais possibilitando a fiscalização dos procedimentos estabelecidos.

Fonte: Elaborado a partir de (ABDI, 2012, 2013; GRANT THORNTON, 2011; IBAM, 2012; SINDICOM, 2012).

5.2 Aspectos de gestão

Estudos realizados por Richey *et al.* (2005) e Autry (2005) indicam que existe um elevado grau de inovação em SLR em termos de criação de sistemas e procedimentos, bem como na busca de soluções para lidar com produtos e materiais devolvidos. A diversidade de produtos e materiais requer um alto grau de coordenação na gestão, necessitando também da participação de diversas empresas de tratamento e disposição final de resíduos (SHEU, 2007).

Quando se trata SLR, existe uma variedade de modelos. Segundo ABDI (2012), podemos dividir em cinco modalidades a forma como se estabelecem as relações entre o setor empresarial, as entidades gestoras dos SLR e o setor público, neste caso representado pelos governos nacional ou estadual, sendo elas:

- A - Responsabilidade do fabricante - Monopolista (Pilha e Baterias - Brasil);
- B - Responsabilidade compartilhada - Monopolista (Embalagens de Agrotóxicos - Brasil);
- C - Responsabilidade do Governo - Monopolista (Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos (REEE) – Califórnia/EUA);
- D - Responsabilidade do fabricante - Competitivo (União Europeia, REEE - França);
- E - Responsabilidade compartilhada - Competitivo (REEE - Japão, Lubrificantes - Brasil).

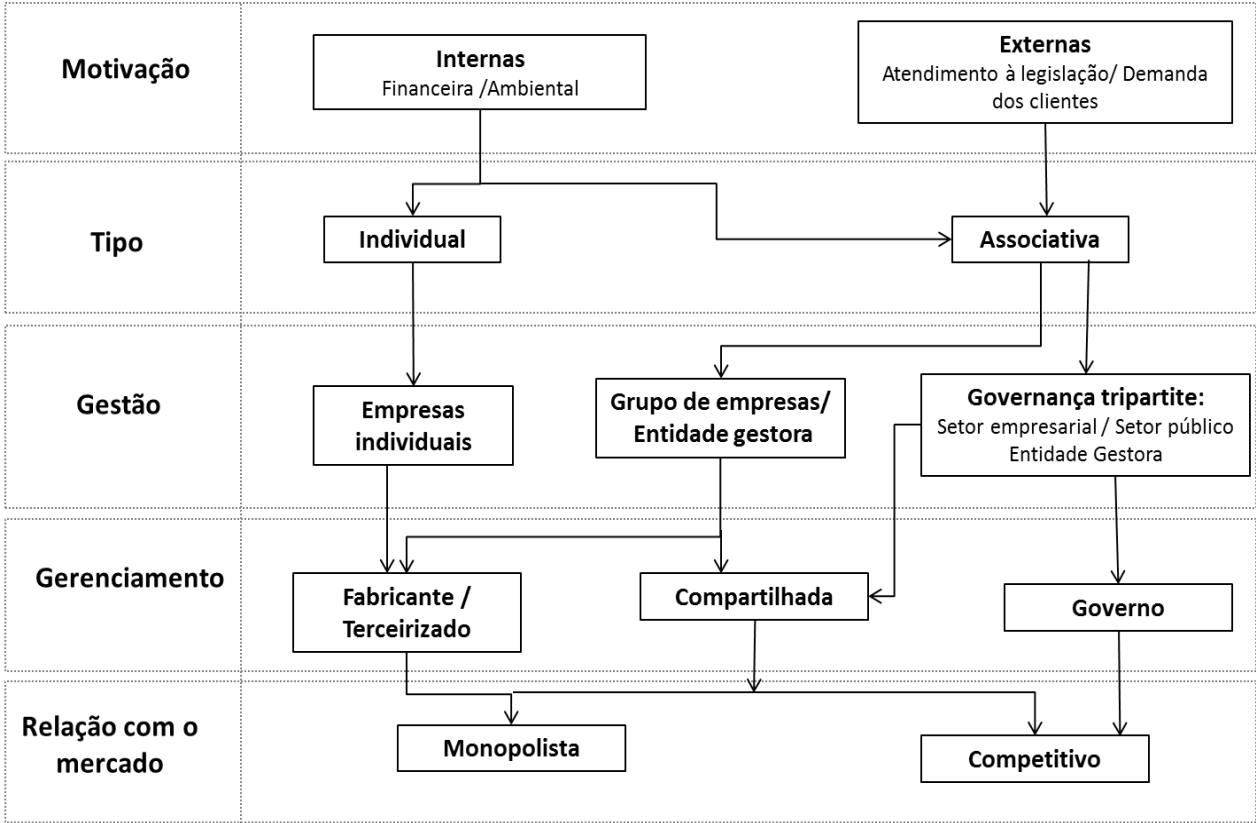
Nos Estados-Membros da União Europeia, por exemplo, na coleta de medicamentos inservíveis, mais da metade dos programas existentes são financiados e operados pela própria indústria farmacêutica ou por farmácias, sendo o restante custeado por municípios e governos regionais. Bélgica, França, Luxemburgo, Portugal e Espanha contam com programas de logística reversa de medicamentos que são administrados em conjunto por suas redes de farmácias. Outros seis países europeus – Dinamarca, Finlândia, Alemanha, Itália e Reino Unido e a Suíça possuem programas que são gerenciados conjuntamente pelas farmácias e por empresas públicas e/ou privadas de transporte de resíduos (ABDI, 2013).

No Brasil, para gerir o processo de destinação final das embalagens vazias de agrotóxicos, os representantes das indústrias fabricantes criaram em 2001 o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (INPEV), entidade gestora responsável por realizar a correta destinação final destes resíduos, e que conta com a participação dos agricultores, dos revendedores e da indústria. Isso evidencia a prática de uma modalidade monopolista através

da implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida do produto (INPEV, 2014).

A Figura 1.5.1 apresenta possíveis interações existentes entres os aspectos de gestão dos SLR.

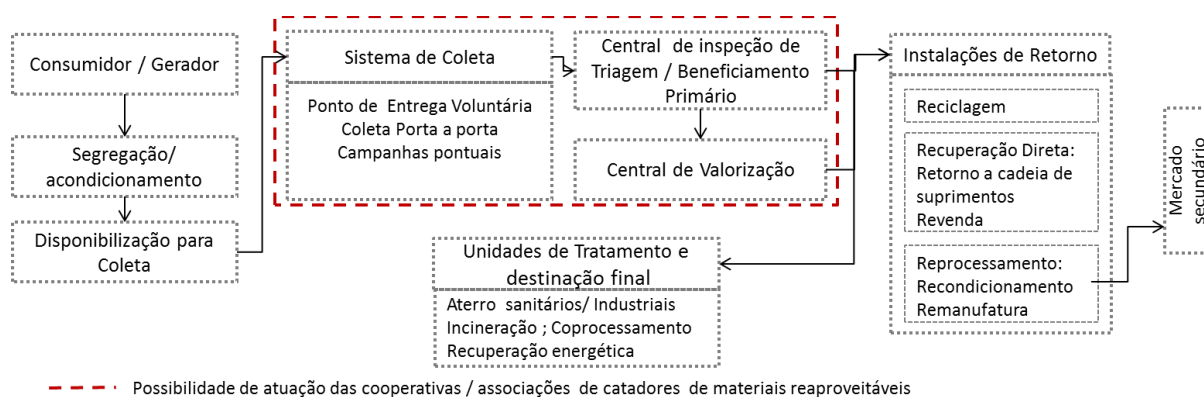
Figura 1.5.1: Fluxo da interação dos aspectos de gestão dos SLR.



As interações entre os aspectos de gestão dos SLR, na maioria dos casos no Brasil, referem-se à implantação de SLR por motivação externa, em atendimento à Lei 12.305/2010, de forma associativa, reunindo diferentes elos das cadeias produtivas. A gestão segue uma governança, com a presença do setor empresarial, reunidos em torno de uma entidade gestora, e com o setor público, atuante na regulamentação e fiscalização. O gerenciamento tem se mostrado compartilhado principalmente entre fabricantes e importadores, com uma relação de mercado tanto monopolista como competitivo.

A Figura 1.5.2 apresenta o detalhamento do fluxo das relações entre as etapas do SLR, tendo o consumidor como primeiro agente, onde esse assume o papel de gerador e necessita segregar e acondicionar os materiais para posteriormente disponibilizá-lo para a coleta.

Figura 1.5.2: Possíveis relações entre as etapas de SLR.



Fonte: Elaborado a partir de Dat *et al.* (2012) e ABDI (2012).

5.2.1 Sistemas de logística reversa em operação no Brasil

Os SLR avaliados foram os referentes a embalagens de agrotóxicos, pneus inservíveis, pilhas e OLUC. Esses SLR são gerenciados por entidades gestoras, formadas por empresas atuantes nos seus respectivos setores. A Tabela 1.5.1 apresenta alguns dados sobre esses SLR.

Tabela 1.5.1: Informações sobre os SLR em operação no Brasil.

Produtos Pós-consumo	Pneus ^(a)	Embalagens de agrotóxicos	Pilhas	OLUC ^(b)
Nº de PEV implantado	817	410	1288	138.824
População /PEV ^(c)	247146	492484	156769	-
Quantidade de Municípios com PEV	802	240	199	4.328
Percentual de Município com PEV	14,4%	4,3%	3,6%	77,7%
Meta de coleta	479.430 t/ano	42.983 t/ano	nd	38,5 %o
Quantidades coletadas	459.030 t/ano	40.404 t/ano	nd	445.811.873 L/ano
Eficiência (%)	95,7	94,0	nd	39,50%

Fonte: Reciclanip (2014); IBAMA (2013); INPEV(2014); ABINNE (2014); Brasil (2015).

Nota:

(a) A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº. 416/2009 estabelece que, para cada pneu novo comercializado para o mercado de reposição, as empresas fabricantes ou importadoras deverão dar destinação adequada a um pneu inservível (relação 1:1).

(b) A PORTARIA MMA/MME Nº59/2012 estabeleceu o percentual mínimo nacional de coleta de óleos lubrificantes usados ou contaminados para o ano de 2015 foi de 38,5% do volume de óleo lubrificante acabado comercializado no país (Volume de venda 2015: 1.443.51.853).

(c) Cálculo realizado considerando estimativa da população residente no Brasil jun./2013 - 201.918.586 hab.

PEV - Ponto Entrega Voluntária.

nd: Informação não disponível.

O que chama a atenção na Tabela 1.5.1 são as eficiências dos sistemas em relação a meta estabelecida. No entanto, o percentual de municípios atendidos por ponto de coleta é baixo,

sendo que apenas 14,4% dos municípios brasileiros possuem Ponto de Entrega Voluntária (PEV) para pneus (RECICLANIP, 2014), 4,3% possuem PEV para embalagens de agrotóxicos (INPEV, 2014) e 3,6% para pilhas (ABINNE, 2014). O atendimento às metas confronta com a baixa taxa de municípios com PEV. Isto porque os PEV estão instalados prioritariamente em municípios de maior porte. Essa prática conduz a taxas elevadas de população teoricamente atendida e de produtos recolhidos, mas não atende à população dos municípios de pequeno porte, que representa grande maioria dos municípios brasileiros. Portanto, evidencia-se que as metas de retorno de produtos não devem ser o único indicador de desempenho dos sistemas.

5.2.2 Inter-relação entre os sistemas de coleta seletiva e de logística reversa

Existem alguns produtos pós-consumo, especialmente as embalagens em geral, que têm uma relação direta com os SMCS. A parcela de materiais potencialmente recicláveis nos RSU, que é predominantemente composta por embalagens, representa 31,9 %, em peso, dos resíduos coletados pelos municípios (IPEA, 2012).

Segundo o IBGE (2012), no ano 2000, 8,2% dos municípios brasileiros possuíam coleta seletiva; em 2008, esse percentual alcançou 19,5%. Já em termos regionais, as Regiões Sul e Sudeste apresentaram, em 2008, os maiores percentuais, 41,3% e 25,9% do total de municípios, respectivamente. Esses valores são superiores à média nacional, com destaque para o Estado do Paraná (52,1%). Por outro lado, nas demais regiões, menos de 8% dos municípios realizavam coleta seletiva.

Portanto, há grande potencial de conexão entre os serviços públicos de manejo de resíduos sólidos, por meio dos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) e o SLR. A definição desse ponto de conexão e da forma de participação do setor empresarial no SMCS ou do município nos SLR é de primordial importância para a sustentabilidade dos dois sistemas.

Deve-se ainda considerar que com a implantação dos SLR, principalmente das embalagens em geral, ocorrerá uma redução de despesas com os serviços de coleta, transporte e destinação dos RSU, que são custeados pelos municípios.

Segundo dados do Sistema Nacional sobre Saneamento (SNIS), em 2013 as despesas com o manejo de RSU foram, em média, de 5% das despesas correntes das prefeituras brasileiras (BRASIL, 2015).

Quanto ao mercado de recicláveis, os municípios com serviço de coleta seletiva separaram, prioritariamente, papel e/ou papelão, plástico, vidro e metal (materiais ferrosos e não ferrosos), sendo os mesmos assim negociados: comerciantes de recicláveis, como principais receptores finais desses materiais, com 53,9%; indústrias recicladoras, 19,4%; entidades beneficentes, 12,1%; e outras entidades, 18,3% (IBGE, 2012).

Os desafios apresentados pelos setores produtivos nos EVTE analisados, em relação aos aspectos operacionais, são apresentados no Quadro 1.5.4.

Quadro 1.5.4: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos operacionais.

Categorias	Desafios
Modelo operacional	• Estabelecer parcerias com associações e cooperativas para suporte operacional dos SLR; • Estabelecer um comitê de acompanhamento da implantação do sistema, de forma a se implementar os ajustes necessários para eficácia do modelo; • Detalhar o fluxo de informações e interfaces com o Sistema Nacional de Informações sobre a Gestão dos Resíduos Sólidos (SINIR); • Detalhar as condições e o processo de formalização e cadastro das organizações gestoras.
Incentivo à pesquisa, desenvolvimento e informação	• Fomentar pesquisa para desenvolvimento de novas técnicas de reciclagem; • Aplicações das matérias-primas recicladas e ecodesign; • Estabelecimento de taxas de reciclabilidade para as embalagens; • Definição de critérios de qualidade para produtos elaborados com matéria-prima secundária; • Criação de banco de dados para acesso às informações sobre o mercado de matéria-prima; • Promoção do mercado de matéria prima secundária, com especificações técnicas e ambientais.
Infraestrutura	• Especificações técnicas para infraestruturas de descarte/recebimento e triagem; • Construção de um fluxo de logística reversa sólido; • Necessidade de conhecimento sobre a capacidade do parque reciclador nacional; • Localização e qualificação das infraestruturas existentes, com reforço às capacidades instaladas para alguns setores.
Licenciamento ambiental	• Definir condições técnicas para certificação de recicladoras que comporão o sistema; • Definir critérios técnicos para licenciamento ambiental dos pontos de recebimento/triagens e veículo dos SLR.

Fonte: Elaborado a partir de ABDI (2012, 2013), GRANT THORNTON (2011), IBAM (2012), SINDICOM (2012).

5.3 Aspectos sociais

Os desafios apresentados pelos setores produtivos analisados, em relação aos aspectos sociais, são apresentados no Quadro 1.5.5 e trazem questões relacionadas à qualificação de mão de obra e adesão da população no retorno de embalagens e produtos pós-consumo.

Quadro 1.5.5: Desafios dos SLR no Brasil em relação aos aspectos sociais.

Categorias	Desafios
Mão de obra	• Capacitar mão de obra na área de gestão e operação dos SLR; • Capacitar as organizações de catadores com vistas a sua estruturação para o SRL.
Participação da população	• Criar de amplo programa de educação ambiental e de sensibilização da população.
Canais de comunicação	• Orientar para a mudança de cultura do consumidor, comerciante e suas equipes quanto ao manuseio e segregação adequada e posterior devolução dos resíduos; • Promover ações de divulgação e conscientização.

Fonte: Elaborado a partir de ABDI (2012, 2013), GRANT THORNTON (2011), IBAM (2012), SINDICOM (2012).

5.3.1 Mão de obra

Na maior parte das cidades brasileiras são realizadas atividades de coleta de resíduos sólidos recicláveis de forma totalmente desconectada dos sistemas públicos. São atividades organizadas por sucateiros, proprietários de depósitos de materiais recicláveis que concentram seus negócios em aparas de papel, papelão, latinhas de alumínio, embalagens de Pet, etc. Geralmente, esses materiais são de alto valor agregado.

As operações de coleta realizadas pelos depósitos são feitas diretamente nas grandes fontes geradoras dos resíduos, quando os resíduos nelas produzidos são homogêneos, ou são feitas em pontos de concentração dos resíduos, coletados por catadores de materiais recicláveis a eles vinculados informalmente, ou ainda em pequenos sucateiros que atuam como atravessadores dos materiais recicláveis garimpados por catadores nas ruas das cidades.

Os números dessas atividades são praticamente desconhecidos no Brasil, uma vez que não há, em geral, fiscalização e controle por parte das prefeituras. A atuação desses depósitos e catadores é a responsável pelos bons números da reciclagem de materiais de alto valor agregado no Brasil, como por exemplo, as latinhas de alumínio. Assim, os SLR precisam considerar e estabelecer forte conexão com esse sistema de movimentação de resíduos sólidos, que ainda são bem mais eficientes que os SMCS.

Segundo o IBGE (2012), apenas uma pequena parte dos RSU produzidos no País é seletivamente coletada, a maior parte da coleta é feita por catadores, autônomos ou associados em cooperativas, que retiram do RSU os materiais de mais alto valor, em condições de trabalho precárias e com baixa remuneração.

Quanto à participação de catadores de materiais reaproveitáveis nos SLR de embalagens estima-se, na sua totalidade, a criação de 128.217 novos postos de trabalho em todo o território nacional. Considerando que na década de 2010, estima-se que o número de trabalhadores que participam de alguma organização coletiva está em torno de 40 a 60 mil, com a inserção desses trabalhadores no SLR tem-se a possibilidade de ocorrer um aumento no percentual de catadores trabalhando de forma organizada em cooperativas e associações (IBAM, 2012).

5.3.2 Participação da população e canais de comunicação

A participação da população e a criação de canais de comunicação são fatores de extrema importância para que os SLR operem de forma eficiente, pois assim como todo processo logístico, a economia de escala é um dos objetivos principais.

O consumidor participa da primeira etapa dos SLR, realizando a segregação na fonte e entregando os produtos pós-consumo para os sistemas. Portanto, a adesão da população é que garantirá que o sistema tenha quantidade de material suficiente para gerar economia de escala.

Existe uma demanda crescente dos usuários para que os fabricantes tenham responsabilidade estendida no fim da vida útil dos produtos. A pressão do cliente é desencadeada por preocupações ambientais e pelos custos de eliminação dos produtos, que são crescentes (YONGSHENG; SHOUYANG, 2008). No entanto, sua participação tem que ser estimulada e o modelo de recebimento desses produtos podem inviabilizar a sua participação, seja pela falta de acessibilidade ou de confiabilidade no sistema.

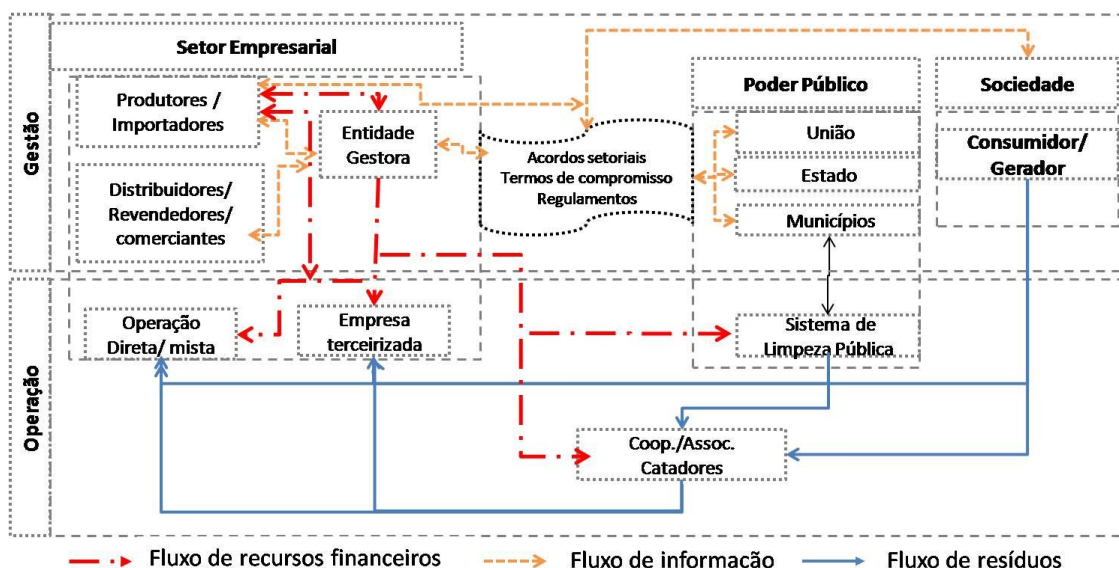
Grande parte dos estudos não considera esse fator e parte do pressuposto que a simples disponibilização do serviço de recebimento dos produtos pós-consumo é a garantia da entrega por parte do usuário, no final de sua vida útil. E, dessa forma, os sistemas são equivocadamente dimensionados somente com base em dados de geração de resíduos, que na maioria dos casos é calculada em função do consumo.

Para produtos eletroeletrônicos pós-consumo, a ABDI (2012) destaca que a adesão dos usuários está condicionada à facilidade no descarte de equipamentos. Por exemplo, o consumidor só vai descartar sua geladeira usada a partir do momento em que a nova estiver a ponto de ser instalada. Diferentes portes de equipamentos sugerem sistemas diferenciados de descarte, como retirada na residência do consumidor para equipamentos de grande porte ou pontos de entrega voluntária para equipamentos menores.

Outra condição, no caso de equipamentos como computadores, telefones e *tablets*, é a confiabilidade no tratamento que o sistema fornece aos dados pessoais neles gravados. Se houver alguma dúvida a respeito da proteção à privacidade desses dados, o consumidor tenderá a postergar ou mesmo evitar o descarte. Também é importante a necessidade ou não da transferência de titularidade, isto é, o recebimento do equipamento com a emissão de um termo de doação, garantindo a legalidade de seu transporte (ABDI, 2012).

Portanto, ao se propor um modelo logístico, deve ser estimado como ocorrerá a participação da população, e devem ser previstos canais de comunicação que estimulem essa participação contínua. Devem ser previstos também fontes para obtenção de informação sobre o sistema, além de facilidades de acesso às instalações físicas de recebimento dos produtos. A Figura 1.5.3 apresenta os possíveis fluxos de informação, recursos financeiros e resíduos nos SLR, considerando as novas determinações da Lei 12.305/2010.

Figura 1.5.3: Inter-relação entre os atores que compõem os SLR.



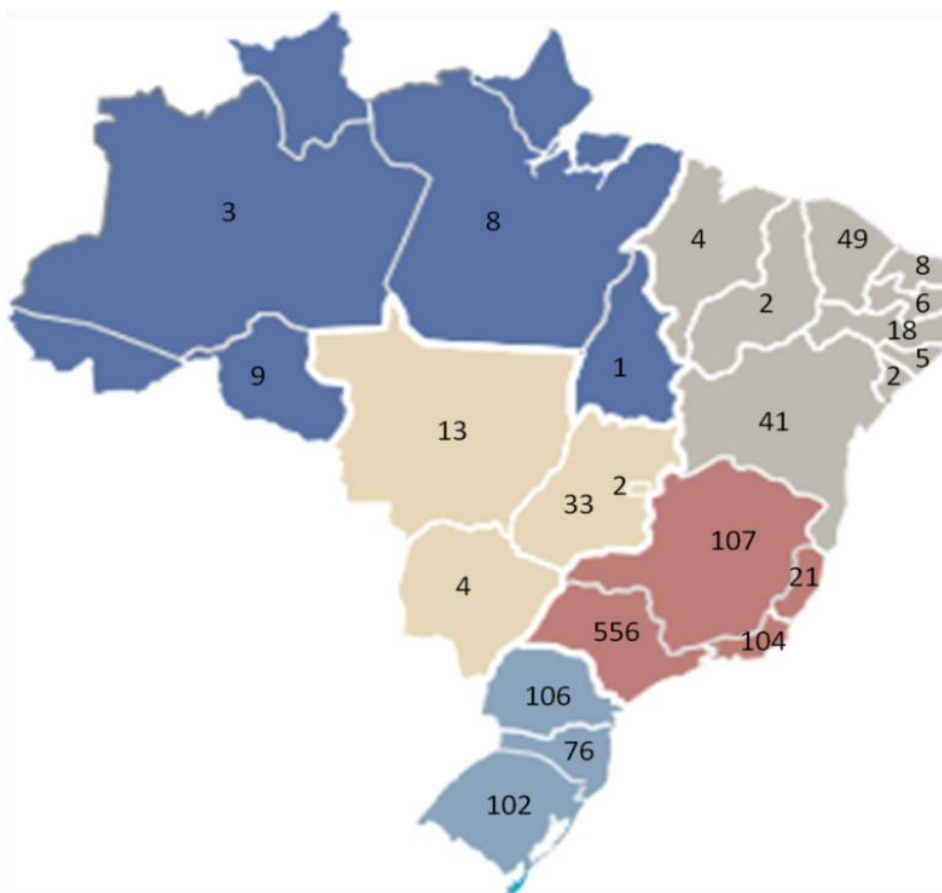
Fonte: Elaborado a partir de ABDI (2012, 2013), GRANT THORNTON (2011), IBAM (2012), SINDICOM (2012).

5.4 Avaliação das infraestruturas de SLR no Brasil

Para a implantação dos SLR previstos no Brasil a partir de Lei 12.305/2010, grandes investimentos deverão ser realizados visando à construção das infraestruturas necessárias para o recebimento, armazenamento, transporte, processamento, tratamento e destinação final de produtos, que até então têm seus custos pós-consumo suportados pelo poder público.

O Brasil conta com uma rede de empresas recicladoras para várias tipologias de produtos, bem como sistemas de tratamento e disposição final para resíduos perigosos e não perigosos. A Figura 1.5.4 apresenta a distribuição das empresas receptoras (beneficiamento primário, beneficiamento secundário e reciclagem), sendo que uma empresa pode beneficiar/reciclar uma ou mais tipologias de resíduos.

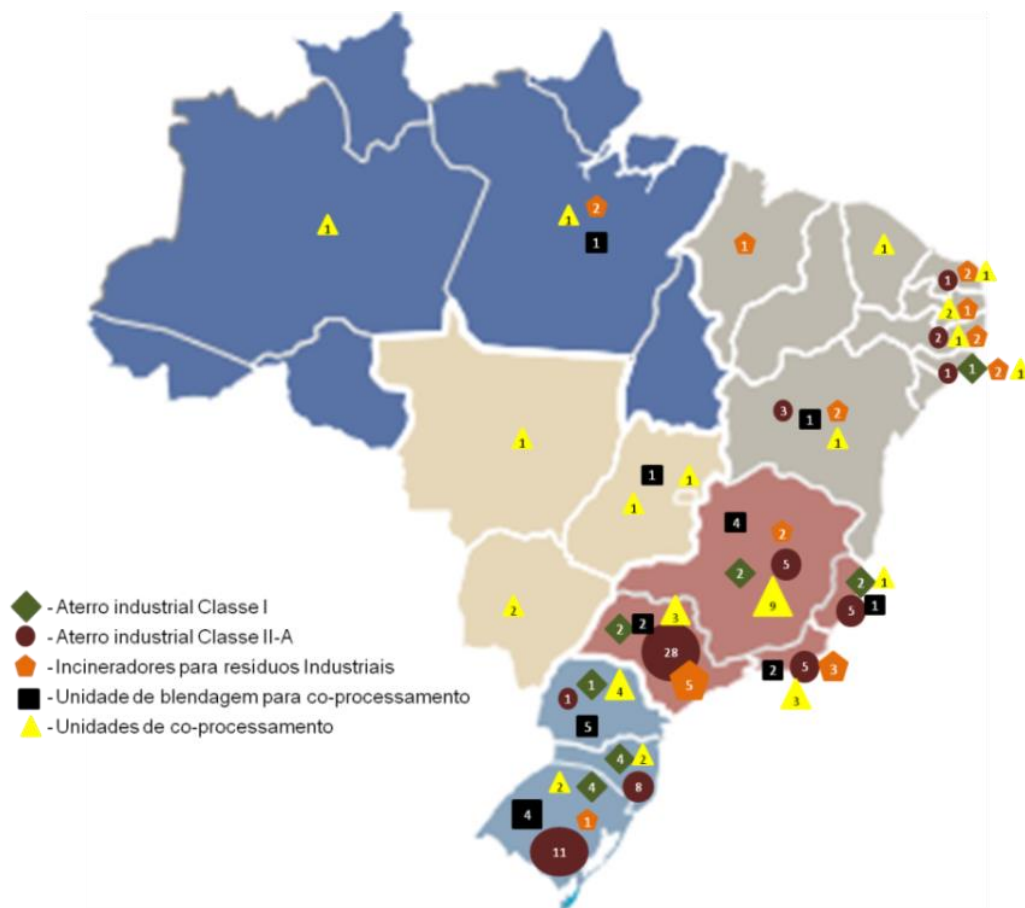
Figura 1.5.4: Distribuição das indústrias receptoras de resíduos no Brasil.



Fonte: Elaborada a partir Dados do CEMPRE (2014).

A Figura 1.5.5 apresenta a rede de infraestrutura de tratamento e destinação final de resíduos existentes no Brasil. Pode ocorrer que atividades diferentes sejam desenvolvidas em uma mesma empresa.

Figura 1.5.5: Infraestrutura de tratamento e destinação final de resíduos industriais.



Fonte: Elaborada a partir Dados da ABRETE (2011) e ABDI(2013).

Analisando as Figura 1.5.4 e Figura 1.5.5 é possível constatar que as regiões Sul e Sudeste são as mais favorecidas em termos de infraestruturas para destinação de resíduos. Essas informações apontam que as atividades dos SLR, assim como a grande maioria das atividades logísticas no Brasil, têm peculiaridades regionais que precisam ser observadas e incorporadas no processo de planejamento e, consequentemente, da prática de políticas públicas. Por outro lado, as metas de implantação e os estudos inerentes à fase de planejamento necessitam considerar essa realidade, sob pena de não condizerem com o real e se tornarem inexecutáveis.

Nos SLR a relação da distância entre a fonte geradora e a destinação final não se comporta da mesma forma em todo o território. Portanto, os custos logísticos, principalmente com transporte, podem ser restrições importantes para todos os SLR.

5.5 Estimativa de investimentos para implantação do SLR no Brasil

Quando se trata da criação de SLR, deve-se considerar a implantação de infraestruturas físicas e logísticas destinadas a coleta, inspeção, triagem, beneficiamento primário, centrais de valorização de recicláveis, e transporte entre essas unidades e dessas para as empresas receptoras.

Para implantação dessas instalações será necessário um quantitativo de recursos financeiros que precisa ser mensurado, bem como definidas as formas de rateamento entre os diversos atores responsáveis pela gestão compartilhada dos sistemas. A Tabela 1.5.2 apresenta as estimativas de investimentos apresentadas nos cinco EVTE analisados.

Tabela 1.5.2: Custos estimados para implantação de SLR no Brasil.

Produto pós-consumo	Investimentos iniciais (milhões R\$)	Custos operacionais (milhões R\$/ano)	Resíduos no sistema (t/ano)	Cobertura (%população)	Custo unitário (R\$/t)	Custo unitário (R\$/hab./ano) ^(c)
REEE ^(d)	Nd	217, 67	304.157	64,7	715,64	1,08
Lâmpadas ^{(a) (d)}	1,93	19,89	nd	24	nd	0,10
Emb. de óleo lubrificante ^(b)	21,95	28,98	13.713	70	2.113,35	0,14
Emb. em geral ^(b)	3.043,85	2.760,70	3.251.675	100	849,01	13,67
Medicamentos ^(d)	7,11	5,59	495	20,84	11.300,00	0,03

Fonte: Elaborado a partir de ABDI (2012, 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM; (2012); SINDICOM (2012).

Nota:

(a) No EVTE para lâmpadas não foi apresentado o total de resíduos esperado pelo sistema e dessa forma não foi possível calcular os indicadores que dependem desse valor.

(b) Nos EVTE para embalagens de óleos lubrificantes e embalagens em geral, foram apresentados os custos totais para 100% do SLR para cumprir as metas iniciais do Acordo Setorial já firmado e do PLNRS, respectivamente, sem projeções futuras.

(c) Custo considerando a população total do Brasil ano base jun./ 2013 – 201918586 hab.

(d) Custo operacional para o 1º ano.

nd – Dados não disponíveis nos estudos.

REEE - Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos

Os resultados de relatórios institucionais e governamentais sobre os SLR já implantados no Brasil apontam para boas taxas de retorno de produtos, porém com poucos de municípios atendidos, visto que o atendimento é prioritário para os grandes centros urbanos. Consta-se também uma grande diferença regional em termos de infraestruturas instaladas e desafios que necessitam ser superados em termos legais, operacionais e financeiros.

A Tabela 1.5.3 apresenta a estimativa de alcance dos SLR de embalagens em geral, apresentada pelo EVTE (IBAM, 2012).

Tabela 1.5.3: Estimativa de despesas e receitas para os SLR de embalagens em geral.

Faixa Populacional^(a)	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3 a 6	Total Brasil
População (hab.)	< 30.000	30.000<pop<100.000	>100.000	-
População de cálculo (hab.)	30000	100000	250000	160879708
Nº de município	4562	750	253	5565
Total de resíduos recicláveis (t/ano) ^(b)	606	2021	5053	3251675
Despesas estimadas				
Investimento inicial (mil R\$)	11.273,75	1.891,92	3.361,67	3.043.844,08
Operação do sistema (mil R\$/ano)	711,91	1.720,18	3.314,31	2.760.695,78
Custo unitário (R\$/t)	1.174,08	851,08	655,92	849,01
Receita estimada				
Material vendido (t/ano) ^(c)	546	1819	4548	2926507
Receita com a venda dos materiais (mil R\$/ano)	285,40	951,30	2.378,26	1.530.453,30
Receita média (R\$/t)	522,98	522,96	522,96	522,96
Receita/Despesa (%)	40,09	55,30	71,76	55,44
Catadores				
Receita do catador ^(d)	1011,42	1221,46	1407,04	-
Nº de catadores na triagem ^(e)	10	32	81	45162
Nº de catadores para o todo SMCS ^(f)	30	79	163	128217

Fonte: Adaptado de IBAM (2012).

Nota:

- a) Faixa populacional definida pelo Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS).
- b) Cálculo das embalagens em geral em função da taxa de geração de 0,8kg/hab./dia e taxa de recicláveis de 39,1% estabelecida pelo Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES).
- c) Considerando 10% de perda como rejeito.
- d) Receita obtida com a venda dos materiais mais remuneração pelo serviço de coleta e sensibilização junto à população.
- e) Produtividade estimada por catador dia de 200 kg/dia, trabalhando 26 dias/mês (IPEA, 2012).
- f) Triagem e demais atividades inerentes ao sistema.
- g) Valor do Salário Mínimo no Brasil (2014): R\$720,00.

SMCS - Sistemas Municipais de Coleta Seletiva

Observa-se que as receitas previstas para os SLR de embalagens pós-consumo são capazes de cobrir apenas 55,44% dos custos operacionais, considerando um valor médio para o Brasil. Quando se observa o valor da taxa receita/custo para município de pequeno porte, o valor cai para 40,09%. Portanto, cerca de 60% dos custos terá que ser custeado pelo gestor do sistema, ou seja, fabricantes e importadores.

6 CONCLUSÕES

Este estudo aponta uma série de desafios para o desenvolvimento e operacionalização dos SLR que necessitam ser analisados com cautela, pois são indicativos de possíveis gargalos para os futuros sistemas que irão ser implantados no Brasil. Questões como adequação de legislação e normatização, aspectos tributários, instrumentos financeiros e licenciamento ambiental necessitam diretamente da atuação do Governo Federal. Existe também a necessidade do controle governamental, tanto como articulador entre os elos das cadeias produtivas, como na regulamentação e fiscalização do cumprimento dos acordos setoriais.

Avaliando os SLR já em operação conclui-se também que indicadores de desempenho desses sistemas devem medir não apenas as taxas de retorno dos materiais, mas também a sua cobertura e abrangência, visto que altos índices são atingidos mesmo deixando de atender um grande percentual de municípios de médio e pequeno porte.

Em relação aos desafios operacionais, a definição do modelo operacional e a relação entre os agentes responsáveis pela gestão compartilhada são fatores decisivos. No caso das embalagens em geral, sua forte relação com os SMCS e com a catação informal que ocorre no Brasil necessita de grande atenção pelo setor empresarial e setor público para não haver sobreposição de ações.

Questões como normatização de procedimentos, principalmente quanto se trata de licenciamento ambiental e transporte dos produtos e consolidação de dados sobre a infraestrutura logística, também são apontados como desafios para os SLR.

É importante observar que no Brasil a legislação define que a responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos sólidos é compartilhada entre fabricantes, importadores, distribuidores, comerciantes, setor público e consumidor, enquanto nos países na zona do Euro a responsabilidade do fabricante é estendida, alargada, integral. Este diferencial, que na faz com que no Brasil o consumidor tenha que ser tratado como protagonista da política.

REFERÊNCIAS

- ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. 2012.
- ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Logística Reversa para o setor de Medicamentos*. 2013.
- ABINNE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. *Programa ABINNE Recebe Pilhas*. 2014. Disponível em: <<http://www.gmcons.com.br/gmclog/admin/VisualizarPostosMapaCliente.aspx>>. Acesso em 20 set. 2014.
- ABDULRAHMANA, M. D.; GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N. Critical barriers in implementing reverse logistics in the Chinese manufacturing sectors. *International Journal Of Production Economic*, v.147, p. 460-471, 2014.
- ABRETE – Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos. *Perfil do Setor de Tratamento de resíduos - 2011*. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/F774DC67/ABETRE_RPATFR.pdf>. Acesso em 04 nov. 2014.
- AGRAWAL, S.; RAJESH, K.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 97, p. 76–92, 2015.
- AITKEN, J.; HARRISON, A. Supply governance structures for reverse logistics systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v 33, n. 6, p. 745-764, 2013.
- ALUMUR, S. A.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA., F; VERTER, V. Multi-period reverse logistics network design. *E. J. of Operational Research*, v. 220, n.1, p. 67-78, 2012.
- AUTRY, CH. Formalization of reverse logistics programs: a strategy for managing liberalized returns. *Industrial Marketing Management*, v. 34, p. 749–757, 2005.
- BARROSO, A. P.; MACHADO, V. H. A Gestão da Logística Reversa dos resíduos em Portugal. *Investigação Operacional*, v. 25, 179-194, 2005.
- BRASIL. Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005. Dispõe sobre normas gerais de contratação de consórcios públicos e dá outras providências. *Diário Oficial da União de 07/04/2005*. 2005b.
- BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. *Diário Oficial da União de 08/01/2007*. 2007a.
- BRASIL. Decreto Nº 6.017, DE 17 DE JANEIRO DE 2007. Regulamenta a Lei no 11.107, de 6 de abril de 2005. *Diário Oficial da União de 18/01/2007*. 2007b.
- BRASIL. Lei nº. 12.305/ 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 03/08/2010*. 2010a.
- BRASIL. Decreto nº 7.404/2010. Regulamenta a Lei nº. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 23/12/2010*. 2010b.
- BRASIL. Decreto nº 7.217, de 21 de junho de 2010. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007. *Diário Oficial da União de 22/06/2010*. 2010c.
- BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Série Histórica - 2013*. 2015. Disponível em: <<http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/>>. Acesso em 25 jan. 2015.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 362/2005. Dispõe sobre o recolhimento, coleta e destinação final de óleo lubrificante usado ou contaminado. *Diário Oficial da União* nº 121, de 27/06/2005, págs. 128-130, 2005a.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 401/2008. Estabelece os limites máximos de chumbo, cádmio e mercúrio para pilhas e baterias comercializadas no território nacional e os critérios e padrões para o seu gerenciamento ambientalmente adequado, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* nº 215, de 05/11/2008, p. 108-1090, 2008.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 416/2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. *Diário Oficial da União* nº 188, de 01/10/2009, p. 64-65. 2009.

BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente. Resolução CONAMA Nº 450/2012. Altera os arts. 9º, 16, 19, 20, 21 e 22, e acrescenta o art. 24-A à Resolução no 362, de 23 de junho de 2005. *Diário Oficial da União* 07/03/2012, p. 61. 2012.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente, Deliberação nº 6 de 24 de outubro de 2011. Dispõe sobre os critérios para estabelecimento de prioridade para o lançamento de Editais de Chamamento para a Elaboração de Acordos Setoriais para Implantação de Logística. *Diário Oficial da União* de 03/09/2012. 2012.

BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado – dados de 2014*. Brasília, 2015. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/174D441A/Relatorio_Resol_CONAMA362_2005_MMA.pdf>. Acesso em 04 abril 2016.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclagem. *Cadastro de recicladores do CEMPRE*. Disponível em < http://www.cempre.org.br/servicos_recicladores.php>. Acesso em 20 set. 2014.

DAT, L. Q.; TRUC, D.T. L.; CHOU, S.Y.; YU, V. F. Optimizing reverse logistic costs for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, v.39, p.6380-6387. 2012.

FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; DEKKER, R.; VAN DER LAAN, E.; VAN NUNEN, J. A. E. E; VAN WASSENHOVE, L. N. Quantitative models for reverse logistics: A review. *European Journal of Operational Research*, v. 103, 1997, p. 1- 17.

FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN WASSENHOVE, L. N. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operation Management*, v.10, n. 2, p. 156-173, 2001.

GARCÍA-RODRÍGUEZ, F. J.; CASTILLA-GUTIÉRREZ, C.; BUSTOS-FLORES, C. Implementation of reverse logistics as a sustainable tool for raw material purchasing in developing countries: The case of Venezuela. *International Journal Of Production Economics*, v.141, p.582-592, 2013.

GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M .V. B. An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. *Journal of Cleaner Production*,v. 46, p. 48 - 57, 2013.

GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; LABEGALINI, L.; CSILLAG, J. M. Sustentabilidade e cadeia de suprimentos: uma perspectiva comparada de publicações nacionais e internacionais. *Produção [online]*, v.22, n. 3, p.517-533, 2012.

GRANT THORNTON. *Viabilidade técnica e econômica em logística reversa na organização da coleta e reciclagem de resíduos de lâmpadas no Brasil*. [online]. 2011. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LAMPADAS/>. Acesso em 12 set. 2014.

GUARNIERI, P.; CHRUSCIACK, D.; OLIVEIRA, I. L. de; KAZUOHATAKEYAMA; CANDELARI, L. WMS – Warehouse management System: adaptação proposta para o gerenciamento da logística reversa. *Produção*, v. 16, n. 1, p. 126-139. 2006.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo*. [online]. 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_PO_S_CONSUMO/>. Acesso em 13 set. 2014.

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09*. Brasília, 2013. Disponível em: <<https://servicos.ibama.gov.br/index.php/registros/relatorio-de-pneumaticos-resolucao-conama-no-41609>> . Acesso em 13 set. 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Indicadores de Desenvolvimento Sustentável - Brasil*, 2012. Rio de Janeiro. 2012.

ILGIN, M. A.; GUPTA, S. M. Environmentally conscious manufacturing and product recovery (ECMPRO): A review of the state of the art. *Journal of Environmental Management*, v. 91, p. 563–591. 2010.

INPEV - Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. *Relatório de Sustentabilidade 2013*. 2014. Disponível em: <<http://relatoweb.com.br/inpev/2013/>>. Acesso em 15 set. 2014.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

KIZILBOGA, G.; MANDIL, G.; GENEVOIS, M.E.; ZWOLINSKI, P. Remanufacturing Network Design Modeling: A case of diesel particulate filter. *Procedia CIRP*, v.11, p.163–168, 2013.

KLASSEN, R. Exploring the Linkage between investment in manufacturing and environmental technologies. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 20, p.127–147, 2000.

LAMERT, S.; RIOPEL, D. Logistique inverse : revue de littérature. *Les Cahiers du GERAD*, 2003.

RAMEZANIA, M.; BASHIRI, M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, v. 37, p. 328–344, 2013.

RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach. *Comput Ind Eng*, v. 48 (2), p.327–356, 2015.

RECICLANIP - Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. *Pontos de Coleta no Brasil*. 2014. Disponível em: < <http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos-coleta/brasil>> .Acesso em 10 set. 2014.

RICHEY, R.; CHEN, H.; GENCHEV, S.; DAUGHERTY, P. Developing effective reverse logistics programs. *Industrial Marketing Management*, v. 34, p. 830–840, 2005.

RUBIO, S.; CHAMORRO, A.; MIRANDA, F.J. Characteristics of the research on reverse logistic (1995-2005). *International Journal of Prod. Research*, v. 46, p. 1099-1120, 2008.

SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, v. 171, p. 1033–1050, 2006.

SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI, G.; SEVEGNANI, T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 47, p. 377- 387, 2013.

SINDICOM - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes. *Elaboração de Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação da Logística Reversa para a Cadeia Produtiva do Setor de Distribuição de Combustíveis e de Lubrificantes*. 2012. Disponível em: < http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LUBRIFICANTES/>. Acesso em 12 set. 2014.

SHEU, J. A coordinated reverse logistics system for regional management of multi-source hazardous wastes. *Computers and Operations Research*, v. 34, p. 1442–1462 , 2007.

SOLEIMANI, H.; SEYYED-ESFAHANI, M.; SHIRAZI, M. A. A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/reverse supply chain network design. *Annals of Operations Research*, p.1-23, 2013.

SROUFE, R.; CURKOVIC, S.; MONTABON, F.; MELNYK, S. The new product design process and design for environment. Crossing the chasm. *International Journal of Operations and Production Management*, v. 20, n. 2, p. 267–291, 2000.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D.S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. *Supply Chain Management*, v.7, p. 271-282. 2002.

TRAPPEY, A. M. Y.; CHARLES V. TRAPPEY, C. V.; WU, C. R. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 7329–7335. 2010.

WANG, H. F.; CHEN, Y. Y. A coevolutionary algorithm for the flexible delivery and pickup problem with time windows. I. *Journal of Production Economics*, v. 141, p.4-13, 2013.

ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; BEIJOCO, F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. *Waste Management*, v. 33, p. 793–806, 2013.

YONGSHENG, Z.; SHOUYANG, W. Generic Model of Reverse Logistics Network Design. *J. of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, v. 8, p. 71–78, 2008.

MODELO LOGÍSTICO

Modelagem conceitual e matemática

1 INTRODUÇÃO

No Capítulo 1 foi apresentado um panorama sobre os Sistemas de Logística Reversa (SLR) brasileiros, analisando-se o desempenho dos sistemas em operação (BRASIL, 2015; IBAMA, 2013; RECICLANIP, 2014; INPEV, 2014; ABINNE, 2014;) e os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) que estão em fase de implantação ABDI (2012, 2013); GRANT THORNTON (2011); IBAM (2012); SINDICOM (2012), considerando o novo marco regulatório, Lei 12.305/2010 e Decreto 7.404/2010 (BRASIL, 2010a, b). Ao analisar as informações disponíveis sobre estes SLR observou-se que as metas estabelecidas são atendidas, mas o percentual de municípios atendidos é relativamente baixo. Esses números refletem a política adotada pelo Governo Federal de priorização de atendimento da Logística Reversa (LR) em municípios de maior porte, não incluindo a população dos municípios de pequeno porte.

Ainda segundo esses estudos, os SLR cujos produtos têm uma geração mais pontual ou cujos locais de revenda à população são mais específicos, como embalagens de óleos lubrificantes e medicamentos inservíveis, necessitam de infraestruturas relacionadas à coleta e transporte, sendo os pontos de coletas localizados nos locais de revenda à população, como postos de gasolina e farmácias. Por outro lado, lâmpadas fluorescentes, eletroeletrônicos e embalagens em geral cuja geração é mais difusa, distribuídos por diferentes pontos de comercialização, demandam também a organização e estruturação dos pontos de coleta, centrais de transferências e até mesmos o desenvolvimento de tecnologias de tratamento e destinação final, como no caso dos eletroeletrônicos e lâmpadas fluorescentes cujo mercado ainda é insuficiente para suprir a demanda prevista.

Dentre os SLR que mais impactam diretamente a população, destaca-se o de embalagens pós-consumo. Esses materiais compõem em sua maioria a parcela de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) secos. Os RSU secos são de responsabilidade dos municípios e sendo objetos de outras políticas públicas relacionadas aos resíduos como a coleta seletiva e a inclusão social de catadores de materiais reaproveitáveis (BRASIL, 2010a). Portanto, ao ser propor uma solução para o sistema de logística reversa de embalagens pós-consumo deve-se considerar esses aspectos.

Por embalagem, entende-se como qualquer material que é usado para conter, proteger, movimentar, entregar ou apresentar uma mercadoria. Os resíduos de embalagens podem ser gerados em diferentes fontes como supermercados, lojas, indústrias, residências, hotéis, hospitais, restaurantes e empresas de transporte. São classificadas como embalagens, as garrafas de vidro, recipientes de plástico, latas de alumínio, *pallets* de madeira, dentre outros (EUROPEAN COMMISSION, 2016). Um SLR de embalagens pós-consumo tem como objetivo principal recolher as embalagens descartadas e destiná-las novamente ao mercado como materiais recicláveis.

Como a implantação do SLR de embalagens no Brasil estima-se que anualmente sejam recolhidas 3,25 milhões de tonelada de embalagens, a um custo R\$2,76 bilhões, gerando uma receita com a venda dos materiais para a indústria de reciclagem de R\$1,53 bilhões (IBAM, 2012). Esses valores revelam uma relação entre receita e despesa de 55,4%, portanto com necessidade de que o setor empresarial arque com os custos não serão cobertos pela receita. Estes números se mostram piores em município de menor porte, onde esta relação é de 40,06%. Ressalta-se que no Brasil são considerados municípios de pequeno porte aqueles com população inferior a 30 mil habitantes, o que representa 76% dos municípios brasileiros (BRASIL, 2016).

A configuração de um SLR compreende a determinação de locais ideais e capacidades de centros de coleta, de instalações de remanufatura, de unidades de reciclagem, dentre outros, sendo necessário incorporar características que estão relacionadas à qualidade, à quantidade, aos prazos e à variedade de retornos, bem como às questões relacionadas às regras para devoluções de produtos, aos custos de coordenação ao longo da cadeia, à estimativa de operação e aos parâmetros de custos logísticos (SRIVASTAVA, 2008; KIZILBOGA *et al.*, 2013).

Entretanto, os SLR não podem ser analisados de forma simplificada como simples ações de coletar e destinar produtos e embalagens pós-consumo para uma destinação adequada, seja a reciclagem ou a disposição final. Os SLR se configuram como o conjunto de competências infraestruturais (transportes, comunicações, centrais de recebimento, armazenamento e comercialização, etc.); institucionais (agências reguladoras, licenciamento ambiental, concessão de serviços públicos a empresas privadas, parcerias público-privadas, etc.); e

organizacionais (conhecimento e estratégias), que conferem competitividade às cadeias produtivas que devem fazer uso do SLR (IBAM, 2012).

Alguns estudos como o de Fleischmann *et al.* (2001), Pishvaei *et al.* (2010), Ferri *et al.* (2015) têm pesquisado redes logísticas reversa com base em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) com o objetivo de escolher o local, quantidade e capacidades de centrais de coleta e triagem, além de determinar a quantidade de fluxo entre as instalações.

No Brasil, a Lei Nº 12.305/2010 traz um importante conceito de organização territorial, que consiste no agrupamento de municípios, principalmente de pequeno e médio porte, visando ampliar a economia de escala no gerenciamento de resíduos sólidos. Essas organizações territoriais são denominadas Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS) e neste trabalho este conceito é expandido para SLR, cuja gestão e operação são de responsabilidade do setor empresarial (BRASIL, 2010a).

Na Itália, em 1994, foi editada a Lei Galli, obrigando a prestação dos serviços de água e esgoto de forma regionalizada por meio da gestão associada. Em 1997, o Decreto Ronchi estendeu a experiência para gestão dos resíduos sólidos. Em todos os ATOS se constitui uma Autoridade de Âmbito com personalidade jurídica em que participam obrigatoriamente todos os municípios. A esses ATOS são atribuídas as competências de Planejamento, Organização, Delegação e Controle do Serviço de Gestão Integrada dos Resíduos.

Nesse Capítulo é apresentado um modelo logístico, cujo princípio norteador é o agrupamento de municípios de pequeno e médio porte, organizados em ATOS, geradores de embalagens pós-consumo, que são transportadas para Centros de Triagem (CT). Posteriormente estes seguirão para Centrais de Valorização (CV) com o objetivo de receber consolidação de carga para agregação de valor ou mesmo beneficiamento primário, seguindo para as empresas de reciclagem. Os rejeitos dos CT são encaminhados para empresa de disposição final.

Apresenta-se também um modelo matemático desenvolvido com o objetivo de definir a melhor localização dos CT e das CV, bem como determinar os melhores fluxos entre os nós dessa rede, e desta forma, minimizar os custos de implantação, de operação e de transporte, além de maximizar a receita obtida com a venda dos materiais para as empresas recicladoras (ER). A partir destas alocações, são definidos ATOS para SLR e também a indicação de polos industriais atrativos que indústrias recicladoras se instalem para atender a este novo mercado.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Modelar um problema de otimização de localização de Centrais de Triagem (CT) e Centros de Valorização (CV) destinados à Logística Reversa (LR) de embalagem pós-consumo, visando minimizar os custos de implantação e de operação das instalações, bem como maximizar a receita com a comercialização dos materiais reaproveitáveis.

2.2 *Objetivos específicos*

- Desenvolver uma base conceitual do modelo logístico;
- Descrever as variáveis de decisão e os parâmetros relevantes para o problema;
- Desenvolver um modelo matemático com uma função objetivo e restrições de forma a representar o máximo o modelo conceitual desenvolvido.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Problemas de localização de instalações*

A localização de instalações, também denominado de facilidades, é um aspecto crítico do planejamento estratégico de empresas privadas e públicas. Preocupações com a satisfação dos clientes, os custos logísticos e os resultados operacionais são relevantes e impactam na tomada de decisão da localização (CARVALHO, 2011).

O problema de localizar uma indústria, serviço, ou qualquer tipo de instalação, consiste em definir a melhor localização geográfica para sua operação. Para isso, é necessário maximizar uma determinada medida de utilidade, satisfazendo as restrições impostas pela área de estudo, tais como demanda e sua capacidade de absorção por parte da facilidade, restrições de mão de obra, entre outras (PIZZOLATO *et al.*, 2004). Instalações podem representar, por exemplo, postos de saúde, estações de bombeiros, centros de reaproveitamento, escolas, fábricas, antenas (FERRI *et al.*, 2015, MORABITO, 2015). Clientes, por sua vez, podem ser bairros, unidades de vendas, estudantes, e outros.

A Teoria de Localização utilizada dentro da economia regional, de modo geral, permite a localização ótima de uma série de equipamentos, ou serviços, alocando uma determinada demanda a eles. Para tal, geralmente, minimiza alguma função de custo, ou de distância, entre as estruturas e os pontos de demanda, ou seja, avalia aspectos econômicos das atividades (CARVALHO, 2011).

São muitos os estudos de localização de atividades econômicas embasados nos preceitos da teoria da localização. Esses estudos abrangem as mais diferentes áreas da atividade econômica, desde implantação de indústrias (STAMM *et al.*, 2004), empresas em geral (REVELLEA *et al.*, 2007; MARIANOV *et al.*, 2008), e centrais de distribuição (MAPA *et al.*, 2006; JIA *et al.*, 2007).

A teoria de localização tem sido utilizada também em estudos de atividades de prestação de serviços, tais como infraestruturas hospitalares (STUMMER *et al.*, 2004; ALSALLOUMA e RAND, 2006) e escolas (BARCELOS, PIZZOLATO e LORENA, 2004; TEIXEIRA E ANTUNES, 2008; CARVALHO, 2011).

Os procedimentos para definição de localização de instalações não podem ser generalizados a todo tipo de atividade econômica, pois cada uma apresenta especificidades que as diferem. Assim, não se pode considerar um único modelo para localização espacial das empresas. Os principais modelos de logística de localização podem ser assim classificados (DUBKE, 2006):

- Modelos de cobertura: o objetivo é minimizar o custo de localização de uma facilidade, maximizando a área de cobertura, influência dessa facilidade.
- Modelos centrais: o objetivo é localizar “p” instalações em uma rede formada por pontos de consumo ou de fornecimento de um produto (os nós) e as ligações entre os pontos (rodovias, ferrovias etc.), minimizando a distância entre os vértices e a instalação, ou entre um nó de origem e a instalação mais próxima.
- Modelos medianos: o objetivo é localizar instalações nos vértices de uma rede e alocar demandas dessas instalações de forma a minimizar o total do produto em peso vezes a distância entre as instalações e os pontos de demanda do consumidor. Ou seja, nos modelos medianos (p-mediana) o interesse está em reduzir o valor total dos custos ou o valor médio.
- Modelos planos (planar): a demanda ocorre em qualquer lugar no plano (com coordenadas x e y);
- Modelos de rede (*network model*): a demanda ocorre em pontos específicos da rede.
- Modelos estáticos: são aqueles que estudam onde implantar, mas não analisam quando localizar a facilidade.
- Modelos dinâmicos: considera-se a questão de onde e quando localizar (são modelos que contêm informações de vários períodos de tempo).
- Modelos probabilísticos (estocásticos): são os modelos sujeitos a incertezas, com isso, tentam capturar essas incertezas.
- Modelos determinísticos: são os modelos não sujeitos a incertezas.
- Modelos para um único produto ou múltiplos produtos: consideram na análise um único produto ou a combinação de vários produtos.
- Modelos com um único objetivo: determinam o local de mínimo custo, mínimo tempo, ou mínima distância.
- Modelos com múltiplos objetivos: determinam o local a partir da combinação de resultados, como, por exemplo, o local de mínimo custo e maximização da demanda coberta.

- Modelos que consideram a análise multicritérios: que são utilizados para realizar análise comparativa entre locais diferentes para implantação de uma nova facilidade. Esse método faz sua inferência a partir da opinião daqueles ligados ao problema em estudo.
- Modelos de alocação temporal: são modelos utilizados com o objetivo de determinar o intervalo de tempo em que o sistema deve ser revisto, tendo como base o crescimento da demanda pelos serviços na região de estudo.

Em muitos dos modelos empregados para a avaliação da localização de uma determinada instalação são abordados os chamados fatores de localização. Assim, estudam-se os aspectos que podem interferir diretamente na determinação da localização da instalação, fazendo uma combinação desses para atingir o local que melhor atenda às necessidades do empreendimento (CARVALHO, 2011).

Klose e Drexl (2005) realizaram uma revisão da literatura dos problemas de localização de facilidade com ênfase nos pressupostos fundamentais, modelos matemáticos e referências específicas para abordagens de solução e apresenta uma taxonomia para os problemas de localização de instalações em uma Rede Logística (RL) que pode ser aplicada para SLR, Tabela 2.3.1.

Tabela 2.3.1: Classificação dos problemas de localização de instalações.

Classificação		Descrição
Espaço	Plana	Na classe Planar, onde a demanda ocorre em qualquer lugar no plano. Nesses problemas, supõe-se que não existam restrições de percurso, de modo que se pode usar a distância mais curta. Os mais utilizados são os métodos da métrica euclidiana e o modelo de Weber.
	Em rede	Em rede, as instalações e os pontos de demanda estão localizados nos nós da RL e há restrições de fluxo nos arcos ligam esses nós da rede.
Localização das instalações	Contínuo	Nos problemas contínuos os modelos permitem que as instalações sejam localizadas em qualquer lugar dentro do espaço tratado do problema, o que os assemelham aos problemas planares.
	Discreto	Os problemas de localização em rede são classificados como modelos Discretos, pois se assume que os clientes e as instalações estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações.
Horizonte de tempo	Período simples	Para período simples considera-se somente um único período e todo planejamento é feito com as previsões para esse período.
	Período misto	Para período misto o horizonte de planejamento é dividido em períodos e em cada um deles novas demandas e novos cenários são definidos, definindo planejamentos diferentes para cada período.
Tipologias das instalações	Homogênea	Quando existe somente um tipo de instalação previsto para localização.
	Heterogênea	Quando existem vários tipos de instalações para serem localizados.

Continuação da **Tabela 2.3.1:** Classificação dos problemas de localização de instalações.

Classificação		Descrição
Fluxo dos produtos	Único Produto	Onde existe um fluxo de apenas um produto ao longo da Rede Logística (RL).
	Vários Produtos	Onde diversos produtos podem fluir ao longo das instalações existentes na RL. Nesse último caso cada produto está associado a um fluxo específico.
Interação entre as instalações	Sem interação	Quando não existe fluxo de produtos entre instalações.
	Com interação	São problemas nos quais existe a possibilidade de fluxos de produtos entre as instalações e então a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das instalações, mas também, dos fluxos entre as instalações.
Tipologia do fluxo de produtos	Sem relevância	Quando o fluxo do produto que chega à facilidade e que sai da facilidade não é determinante para resolver o problema de localização. Esses são os problemas tradicionais de localização espacial de uma facilidade em função da localização espacial dos fornecedores e clientes sem considerar os fluxos da RL. (<i>Single Echelon</i>).
	Com relevância	Quando os fluxos de produtos que entram e saem das instalações da RL são determinantes para a solução do problema de localização. Esses problemas são conhecidos como Múltiplas Camadas, <i>Multiple-Echelon</i> .
Tipo de demanda	Integral	Quando o fluxo da demanda não pode ser fracionado, como por questões contratuais, sendo exigido que cada cliente seja abastecido por uma única facilidade da RL.
	Fracionada	Quando a demanda pode ser fracionada e um cliente pode ser atendido por duas ou mais instalações.
Influência do transporte	Sem influência	Quando o custo de transporte entre duas instalações, ou entre uma facilidade e um cliente, é calculado como um valor de frete, geralmente calculado através de distância x o volume de carga a ser transportado. É apropriada se a viagem dos veículos pode ser realizada por meio de uma rota direta.
	Com Influência	Quando as rotas a serem seguidas pelos veículos devem ser levadas em conta explicitamente no problema. Se cada veículo faz coletas e/ou entregas para vários pontos, estabelecer um frete único pode não ser facilmente definido.
Incertezas	Determinísticos	Quando não se consideram as incertezas e, portanto, os valores são fixos.
	Estocásticos	Quando ocorrem incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de viagem, tempo de carregamento. Diferentes fontes de incerteza podem ser encontradas na literatura, dentre elas: demandas dos clientes, taxas de câmbio, tempos de viagem, quantidade de retorno (MELO <i>et al.</i> , 2007).
Características das instalações	Ilimitados	Quando a capacidade das instalações é considerada como ilimitada, sem restrições.
	Limitado	Quando os problemas impõem limite ou tamanho da capacidade das instalações nas restrições.
Objetivos	Único	Quando se considera apenas um objetivo no problema, como a determinação de mínimo custo para a RL.
	Múltiplos	Quando se considera múltiplos objetivos no problema, como a determinação de mínimo custo com maximização do atendimento da demanda.

Fonte: Adaptado de Klose e Drexel (2005).

Melo *et al.* (2007) destaca também que, para a definição da localização, deve-se levar em conta não só fatores quantitativos, mas também, decisões qualitativas que são mais difíceis de mensurar e de extrema importância na decisão final de localização como:

- Disponibilidade e custos de mão de obra, serviços de comunicação, saúde, energia e segurança;
- Taxa de câmbio e barreiras comerciais;
- Regulamentação de impacto ambiental;
- Grau de organização sindical;
- Disponibilidade e custos de serviços públicos;
- Facilidades para o sistema de transporte;
- Custos de instalação, operação e transporte;
- Localização dos concorrentes;
- Clima e temperatura da região;
- Incentivos governamentais.

Cabe salientar que os problemas de localização não são usualmente classificados como uma única classe da taxonomia apresentada e sim como um conjunto de classes dentro da taxonomia.

Neste estudo, as instalações para as quais se deseja determinar a localização são os Centros de Triagem (CT) e as Centrais de Valorização (CV), além disso, pretende-se definir os fluxos entre os nós do SLR, que inclui os Pontos de Geração (PG) e as Empresas de reciclagem de resíduos e de disposição final de rejeitos.

3.2 Pesquisa operacional

A modelagem matemática e computacional dos mais diversos problemas ambientais é considerada uma ferramenta essencial no entendimento e na previsão da evolução de fenômenos, físicos, químicos, biológicos e de outras naturezas associados a eles (COUTO, 2006).

A Pesquisa Operacional (PO) é a aplicação de métodos científicos a problemas complexos para auxiliar no processo de tomada de decisões, tais como projetar, planejar, e operar sistemas em situações que requerem alocações eficientes de recursos escassos. O objetivo é

dar suporte à definição de políticas e determinação de ações de forma científica (MORABITO, 2015).

Tendo em vista o momento em que as organizações buscam maior eficiência, produtividade e melhor desempenho, a PO está em crescente ascensão. Por outro lado, também de forma positiva, o avanço tecnológico em termos de oferta de software e hardware, tem contribuído para maior disseminação de ferramentas de PO e, em particular, de programação linear (CAIXETA-FILHO; BARTHOLOMEU, 2011).

Geralmente, na literatura sobre modelagem de SLR, são realizados estudos de caso orientados para o produto (SRIVASTAVA, 2008; XANTHOPOULOS; IAKOVOU, 2009; ACHILLAS *et al.*, 2010, 2011) ou orientados ao processo (FLEISCHMANN *et al.*, 2001; JAYARMAN *et al.*, 2003). Embora os modelos propostos sejam representações realistas do problema, eles não são facilmente generalizáveis para uma ampla gama de indústrias.

Neste estudo a PO, especificamente a programação linear, surge da necessidade de maximizar receitas e minimizar custos, os quais se relacionam em um modelo matemático aqui proposto.

3.3 Modelagem matemática de problemas de localização de instalações

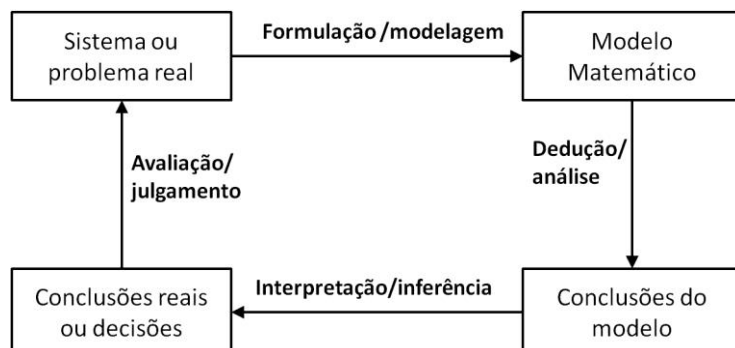
Tem-se tornado cada vez mais evidente a pertinência da utilização de ferramentas de modelagem matemática para otimização de sistemas de transporte e armazenamento, bem como na escolha de melhores locais para acomodar resíduos sólidos.

Na área de resíduos, há uma demanda para utilização de modelagem matemática tanto de redes de coleta de resíduos, visando localizar, em um contexto intermunicipal, como na escolha de melhores locais para aterros sanitários e os melhores fluxos para recuperação energética de resíduos e resíduos industriais (CAIXETA-FILHO; BARTHOLOMEU, 2011).

Conforme se observa na Figura 2.3.1 a formulação (modelagem) define as variáveis de decisão e as relações matemáticas para descrever o comportamento relevante do sistema ou problema real. A dedução (análise) aplica técnicas matemáticas e tecnologia para resolver o modelo matemático e visualizar quais conclusões ele sugere. A interpretação (inferência) argumenta que as conclusões retiradas do modelo têm significado suficiente para inferir conclusões ou decisões para o problema real. Frequentemente, uma avaliação (julgamento)

dessas conclusões ou decisões inferidas mostra que elas não são adequadas e que a definição do problema e sua modelagem matemática precisam de revisão, e então, se necessário, o ciclo é repetido (MORABITO, 2015).

Figura 2.3.1: Processo de modelagem.



Fonte: MORABITO, 2015.

Exemplos de modelos matemáticos são os modelos de programação matemática (otimização matemática), como: programação linear (otimização linear), programação linear inteira (otimização discreta), programação em redes (otimização em rede) e programação não linear (otimização não linear). Outros exemplos são modelos de teoria de filas para estudar a congestão em sistemas e determinar medidas de avaliação de desempenho e políticas ótimas de operação (MORABITO, 2015).

A modelagem de um problema de pesquisa operacional e, em particular, de programação matemática, envolve três aspectos fundamentais (MORABITO, 2015):

- Definição de decisões a serem tomadas,
- Restrições que limitam as escolhas das decisões em valores aceitáveis,
- Objetivos que determinam preferências na escolha de decisões.

Entretanto, Caixeta-Filho e Bartholomeu (2011) chama a atenção a respeito de cautelas que devem ser tomadas em relação a três aspectos: primeiramente em relação à capacidade de entendimento e interpretação do problema a ser resolvido, para o êxito da aplicação a ser desenvolvida; segundo em relação à confiabilidade dos dados de entrada do modelo, e em terceiro em relação à interpretação dos resultados e simulação de cenários alternativos, via análises de sensibilidade, otimizando o processo de tomada de decisão.

3.4 Otimização linear

O design da rede é uma das questões estratégicas importantes que podem ter impacto em longo prazo no desempenho da RL. As decisões estratégicas para a concepção de RL incluem o número de instalações na rede, sua localização e região a serem cobertas, e sua capacidade ou tamanho (AGRAWAL *et al.* 2015)

Os modelos de localização devem incorporar características que estão relacionadas à qualidade do serviço, à quantidade, aos prazos e à variedade de retornos, bem como às questões relacionadas às regras para devoluções de produtos, aos custos de coordenação ao longo da cadeia, à estimativa de operação e aos parâmetros de custos logísticos (SRIVASTAVA, 2008; KIZILBOGA *et al.*, 2013). As soluções devem considerar diferentes custos fixos e variáveis das instalações logísticas e custos variáveis de transporte entre essas instalações (EL KORCHI e MILLET, 2011).

As metodologias de solução utilizadas por muitos pesquisadores na construção de redes logísticas incluem modelagem determinística e estocásticas (linear/não linear, inteiros mistos, programação de objetivos, modelos de filas), simulação numérica e métodos heurísticos. A modelagem estocástica tem sido utilizada por pesquisadores para lidar com incertezas e PLIM é a técnica mais usualmente aplicada (EL KORCHI e MILLET, 2011; AGRAWAL, *et al.* 2015; GOVINDAN *et al.* 2015). A predominância do uso de modelos de PLIM para resolução de problemas de localização é devido os bons resultados que apresenta (HAMAD, 2006). No entanto a modelagem multiproduto, multiobjetivo e com capacidade limitadas é encontrada apenas nos estudos mais recentes.

O modelo proposto por Fleischmann *et al.* (2001) é o mais genérico entre os estudos de PLIM para SLR. Ele considera o projeto de rede logística no contexto de LR e apresenta um modelo genérico de localização de instalações. No trabalho de Salema *et al.* (2007) é apresentando um novo modelo que contempla tanto os aspectos de distribuição e de planejamento no contexto de um SLR, como permite um ambiente de multiproduto com capacidades limitadas e incerteza na demanda e fluxo de retorno. Alumur *et al.*(2012), propõem uma modelagem com maximização do lucro para projeto de SLR. É apresentada uma formulação de PLIM que é flexível para incorporar a maioria das estruturas de SLR na prática. No Quadro 2.3.1 são elencadas algumas das publicações sobre SLR consultadas para este estudo.

Quadro 2.3.1: Resumo da literatura publicada que trata da infraestrutura necessária aos SLR.

Assunto / Comentários		Tipo de produtos	Local/ Referência
Coleta e transporte	Modelagem computacional/matemática feita através de programação linear, visando melhorar rotas de veículos e planejamento de crescimento potencial da rede de coleta.	Óleo de cozinha	Portugal/ Zsigraiov; <i>et al.</i> (2013)
	Aborda um problema de entrega e coleta flexível com janelas de tempo, em um modelo misto de programação inteira binária, a fim de minimizar o número de veículos e a distância total de viagem.	Modelo genérico	Taiwan/ Wang e Chen (2013)
Sistema de Gerenciamento	Abordagem híbrida qualitativa e quantitativa, utilizando mapas cognitivos difusos e algoritmos genéticos, para modelar e avaliar o desempenho de Identificação por Radio frequência para o monitoramento em tempo real.	Cadeia de armazéns	Taiwan/ Trappey <i>et al.</i> (2010)
	Apresenta diferentes cenários para uma cadeia de suprimentos em circuito fechado, com a proposição de roteamento de veículos a partir de um algoritmo adaptado ao problema.	Veículos em fim de vida útil	Alemanha / Schultmann <i>et al.</i> (2006)
	Estudo sobre o fluxo reverso de embalagens de produtos industriais retornáveis em substituição a embalagens.	Embalagens	Brasil / Silva <i>et al.</i> (2013)
Sistemas de gestão	O uso dos diagramas emergentes como método de avaliação de estratégias de reciclagem, comparando benefícios econômicos e ambientais relativas da Rede Logística (RL) implementada.	Chapas de aço	Brasil/ Giannetti <i>et al.</i> (2013)
	Analisa as mudanças nas estruturas de governança empresarial de cadeia de suprimento com o desenvolvimento de operações de logística reversa.	Veículos	Reino Unido/ Aitken e Harrison (2013)
	Apresenta uma ferramenta de suporte a decisão de políticas de mercado e regulação para otimizar redes de logística reversa de produtos eletroeletrônicos, baseado em programação matemática.	REEE	Grécia/ Achillas (2010, 2011)
	Analisa o grau de implementação das diretivas do parlamento Europeu e do Conselho da União Europeia em Portugal.	REEE/ Veículos	Portugal/ Barroso e Machado (2005)
Desenvolvimento de redes de LR	Apresenta uma modelagem matemática a partir de modelo estocástico multiobjetivo para um projeto de rede de logística reversa sob um ambiente de incerteza, maximizando o lucro, a capacidade de resposta ao cliente e qualidade. O modelo considera a possibilidade de instalações mistas.	Modelo genérico	Iran/ Ramezania, <i>et al.</i> (2013)
	Utiliza uma Metodologia da Análise e Solução de Problemas (MASP), denominação brasileira para um método japonês de resolução de problemas - QC, para proposição de rede de LR.	Bateria automotiva	Brasil/ Baenas <i>et al.</i> (2011)
	Apresenta um problema de desenho ótimo para o processo de recuperação de Resíduos de Equipamento Elétricos e Eletroeletrônicos (REEE). Proposição de um algoritmo de duas fases, multicritério: financeiro, ambiental, legislativo e tecnológico.	REEE	Grécia/ Xanthopoulos e Iakovou (2009)
	Este estudo tem como objetivo projetar e desenvolver um sistema de logística reversa de rede que contém os processos de remanufatura para o fabricante de caminhões pesados.	Filtros de partículas de diesel	França / Kizilboga, <i>et al.</i> (2013)
	Proposta de modelagem a partir de programação linear de SLR maximizando o lucro.	Máquinas de lavar roupas	Alemanha/Alumur <i>et al.</i> (2012)
	Com base na análise RL reversa de REEE, este trabalho apresenta um modelo de programação matemática que minimiza o custo total de processamento de vários tipos de REEE.	REEE	Taiwan / Dat <i>et al.</i> 2012
	Este trabalho propõe uma modelagem multiperíodo, multiproduto de circuito fechado de rede da cadeia de suprimentos com demanda estocástica e preço em PLIM.	Modelo genérico	Iran/ Soleimani <i>et al.</i> (2013)
	Propõe um modelo generalizado para o projeto de redes de logística reversa. O modelo estende o modelo de rede de recuperação e desenvolve um multiproduto para reverter o modelo de RL capacitado com a incerteza.	Móveis de escritório	Portugal/ Salema (2007)

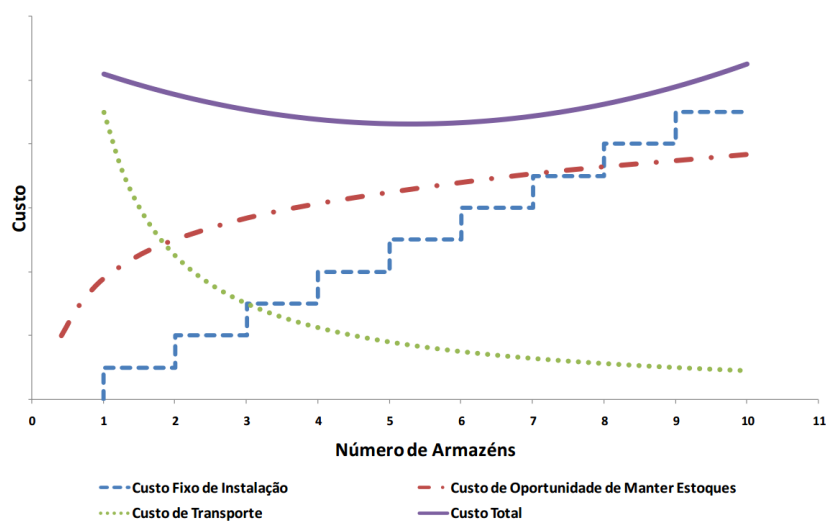
3.5 Resoluções matemáticas para problemas de localização

De forma geral os problemas de localização têm como objetivo a minimização do custo total da rede para dado intervalo de tempo e são sujeitos a restrições de capacidade das instalações, devendo atender a determinada demanda e satisfazer níveis de serviço (LACERDA, 2000). Ballou (2004) ressalta que os problemas de localização de instalações se enquadram em um número limitado de categorias, abrangendo as seguintes possibilidades:

- Determinação dos fatores preponderantes, ou seja, se há um fator mais crítico que todos os outros, como o lucro de determinada região, ou acessibilidade mais fácil para os transportadores;
- Determinação do número de instalações a serem abertas;
- Determinação das possíveis localidades, ou seja, se há locais predeterminados para localização ou se o método de cálculo determinará a melhor localidade a partir de uma região ou espaço;
- Escolha do grau de agregação dos dados;
- Escolha do horizonte de tempo.

O custo total é normalmente composto pelos custos fixos das instalações, custo de transporte e custo de oportunidade de manter os estoques. O comportamento esperado desses custos, em função do número de locais de armazenamento é mostrado na Figura 2.3.2.

Figura 2.3.2: Custos de distribuição em função do número de locais de armazenamento.



Fonte: WANKE *et al.* (2009).

Bowersox e Closs (2001) citam como principais variáveis em um estudo de localização ótima de estruturas:

- O número de estruturas a serem instaladas;
- Os locais candidatos para a instalação dessas unidades;
- As regiões e clientes atendidos por cada unidade;
- Os produtos a serem processados ou armazenados em cada estrutura;
- Os canais e custos logísticos envolvidos no acesso às estruturas e no escoamento dos produtos até os mercados.

Para Caixeta-Filho e Bartholomeu (2011), para a avaliação de melhor localização de instalações na área de gerenciamento de resíduos é imprescindível à análise de fluxos de resíduos e alocação desses fluxos com o objetivo de minimização dos custos de transporte entre os centroides geradores de resíduos e os locais candidatos para recepção dos mesmos. Os estudos dessa natureza são divididos em quatro etapas:

- Definição das zonas de carga: divisão espacial de áreas de influência correlata ao sistema de transporte analisado;
- Geração e atração de viagens: quantificação das cargas produzidas ou atraídas pelas zonas de carga, determinadas na primeira etapa;
- Distribuição de viagens: estimativa dos fluxos de cargas entre as zonas de oferta de carga e as zonas de demanda de carga;
- Alocação modal: alocação dos fluxos de carga na rede multimodal de transporte considerada.

Lacerda (2000) comenta que em função da sua complexidade bastante alta, os problemas de localização envolvem grandes volumes dados, pois requerem informações detalhadas sobre a demanda, custos de transporte, custo e taxas de produção, localização dos consumidores, localização dos atuais e prováveis pontos de estocagem e suprimento etc. Como os dados necessários geralmente não estão estruturados, um grande tempo dos estudos de localização é gasto em sua coleta, organização e estruturação.

Morabito *et al.* (2015) sugerem alguns parâmetros típicos para problemas de localização:

J = Conjunto de nós j que representam os cliente, $j = 1, \dots, n$;

I = Conjunto de locais i candidatos a localização de facilidades, $i = 1, \dots, m$;

q_i = Quantidade de Cliente j ;

d_{ij} = Distância entre Cliente j e a facilidade localizada em i ;

c_{ij} = Custo de atender a demanda q_i a partir de uma facilidade localizada em i ;

f_i = Custo fixo de instalação de uma facilidade localizada em i ;

Q_i = Capacidade da facilidade instalada no local i ;

$y_i = \begin{cases} 1, & \text{se facilidade é aberta no local } i, \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$

Pishvaei *et al.* (2010), desenvolveu um projeto de rede logística reversa com o objetivo de escolher o local e a quantidade de centrais de coleta e inspeção para a rede, além de determinar a quantidade de fluxo entre as instalações. Os autores analisam um SLR com várias camadas que incluíam clientes, coleta/inspeção, reciclagem e centrais de destinação final com capacidades limitadas. Dentre os modelos de localização de instalações com base em PLIM, esse foi o que mais se aproximou do problema em estudo nessa Tese. Nesta Tese o modelo é ampliado e difere por ter dois níveis de decisão, considera os custos de operação, possibilita a definição de faixas de capacidade para instalações, possibilita a entrada de diferentes tipos de materiais que seguem fluxos diferenciados e inclui parcela referente às receitas obtidas com a comercialização.

O problema de LR de embalagens em estudo é um fluxo reverso, onde os materiais coletados de diversos geradores devem ser recebidos por CT com capacidades limitadas. Neste trabalho, a função objetivo leva em conta os custos de implantação das instalações e os custos variáveis de atendimento das demandas, seja dos CT como das CV, os quais são decomposto em duas parcelas, uma relacionada ao custo variável de operação dos CT e das CV e outra relacionada ao custo variável de transporte entre os nós da rede, que só irão ocorrer quando houver fluxo.

4 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a Etapa 2 da pesquisa e consiste no desenvolvimento do modelo logístico para a localização de instalações destinada à logística reversa de embalagem pós-consumo com objetivo de minimizar os custos de instalação e operacionais das instalações e seus fluxos, bem como maximizar a receita com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. Os agrupamentos das instalações comporão os ATOS para logística reversa de embalagens. Esta Etapa 2 está dividida em 3 Fases.

4.1 Fase 1 - Construção do modelo conceitual

As ações desenvolvidas nesta fase são:

- Descrição os princípios norteadores do modelo tendo como premissa atender os critérios estabelecidos na PNRS de se buscar o ganho de escala por meio de ATOS, garantir a universalização da prestação de serviço visando assegurar que todo consumidor possa destinar as embalagens descartadas em SLR e a participação de Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR);
- Apresentação das variáveis de decisão do modelo. Estas variáveis foram definidas a partir de artigos e trabalhos técnicos sobre a construção de modelos logísticos para a localização de infraestruturas.
- Descrição dos nós de SLR que compreende o Gerador, CT, CV e empresas recicladoras e de disposição final,
- Descrição dos aspectos relevantes que deverão ser considerados nos custos de instalação e de operação das instalações e seus fluxos, bem como na receita obtida com a comercialização.

4.2 Fase 2 - Desenvolvimento do modelo matemático

Nesta fase, o modelo matemático foi desenvolvido de forma a representar o modelo conceitual proposto, descrevendo de forma matemática os aspectos considerados relevantes na composição de custos, bem como as restrições que deverão ser atendidas considerando o contexto. Ele é apresentado em cinco partes: a função objetivo, os conjuntos, os parâmetros, as variáveis de decisão, e as restrições.

Para o desenvolvimento do modelo logístico é necessário, primeiramente, estabelecer os princípios norteadores do modelo, isto é, as hipóteses que são assumidas, a saber:

- Todas as embalagens devolvidas pelos clientes devem ser recolhidas;
- A quantidade de embalagens devolvidas é baseada em previsões de geração e metas de eficiência do SLR estabelecida em legislação nacional (BRASIL, 2010a; IPEA, 2012);
- Os materiais transportados são de mais de uma tipologia e podem ser encaminhados para CV e para ER de forma independente um o outro;
- Os rejeitos gerados nos CT seguirão para disposição final em Aterros Sanitários (AS);
- Os locais de geração são fixos, predefinidos e são concentrados nas sedes municipais;
- As quantidades, localização e capacidades dos CT e CV candidatas são limitadas e conhecidas;
- Não há restrição quanto à capacidade de transporte. Ou seja, as capacidades dos veículos que serão utilizados no transporte dos materiais poderão ser definidas posteriormente em função dos resultados da modelagem de localização das instalações;
- As localizações e capacidades das ER e dos AS são previamente conhecidas.

4.3 Software utilizado

O modelo matemático foi desenvolvido no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015), utilizando um computador equipado com processador Intel i7 e memória RAM de 16 GB.

Este é um Software que acelera o desenvolvimento e a implementação de modelos de otimização, combinando os melhores mecanismos de resolução com um forte *Integrated Development Environment* (IDE) ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado, e linguagem de modelagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado principal apresentado neste capítulo é o modelo matemático desenvolvido, composto pela função objetivo e as restrições de contorno, a relação de variáveis de decisão e a listagem de parâmetros de entrada necessários para a resolução computacional. A definição dos parâmetros de entrada do modelo é o norteador da etapa de coleta de dados de campo e de literatura que é apresentado no Capítulo 3.

5.1 *Modelo conceitual*

Este estudo tem como princípio norteador a proposição de um método para a construção de um SLR para embalagens pós-consumo, visando uma minimização de custos das instalações necessárias à triagem e aos processamentos de embalagens pós-consumo, bem como dos custos inerentes dos fluxos de transporte desde o gerador até a destinação final. Busca-se também a maximização da receita obtida pela comercialização dos materiais recicláveis a ser realizada pelos catadores de materiais reaproveitáveis.

Considera-se aqui que o SLR é constituído de quatro entidades estratégicas, que são chamadas de nós da rede: PG, CT, CV, ER e AS. Cada PG representa o ponto de convergência das embalagens pós-consumo, recolhidas nos municípios abrangidos pelo estudo. Considera-se como premissa que as embalagens são coletadas em Pontos de Entrega Voluntária (PEV), em pontos estratégicos, sendo esta atividade de responsabilidade das empresas fabricantes de embalagem, conforme preconiza a Lei 12.305/2010. Contudo, foi considerada no modelo que o PG é a sede do município em questão. Portanto as atividades realizadas nos pontos de coleta e respectivos transportes até o ponto de convergência não fazem parte deste modelo.

Os CT são locais onde ocorre a separação dos resíduos sólidos. Essa separação pode ser feita totalmente manual ou automaticamente, ou mesmo semiautomática. Segundo Vilhena (1999), o galpão de triagem é composto por uma prensa vertical, balança, esteira, fardos e empilhadeiras, sendo que todos os equipamentos devem seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

O conceito de CV surge ao final do processo dos CT, em que os materiais reaproveitáveis depois de triados, prensados e enfardados nos CT são encaminhados para um local de maiores

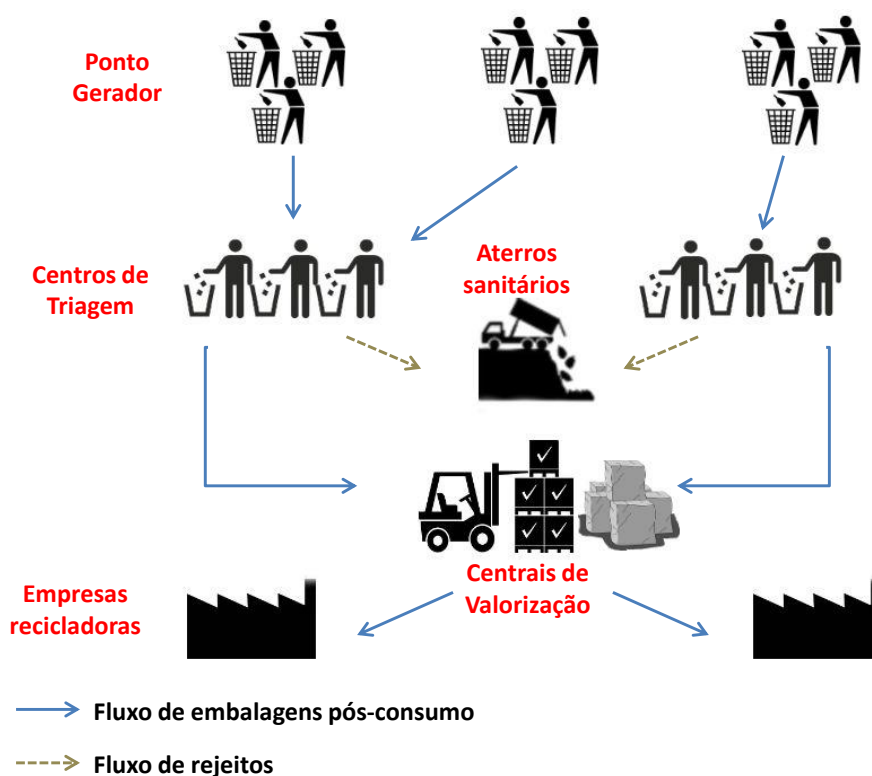
dimensões para serem armazenados e/ou acumulados em grandes quantidades ou receberem um beneficiamento primário com o objetivo de agregar valor para posterior comercialização.

Aquino, Castilho Junior e Pires (2009) destacaram como fatores que limitam o avanço de associações de catadores a quantidade e a qualidade exigida pelas indústrias recicladoras para compra dos materiais triados. Os autores propõem uma forma de organização logística para as associações comercializem de forma direta de seus produtos com as indústrias recicladoras.

As CV permitirão aos catadores uma melhoria em seu modo organizacional e o aperfeiçoamento dos processos de comercialização de materiais. A atuação em rede permite que o trabalho conjunto anule a ação do atravessador e negocie diretamente com a indústria (SOTO, 2011). Desta forma, os materiais são encaminhados diretamente para as indústrias recicladoras e podem ser vendidos por preços mais competitivos.

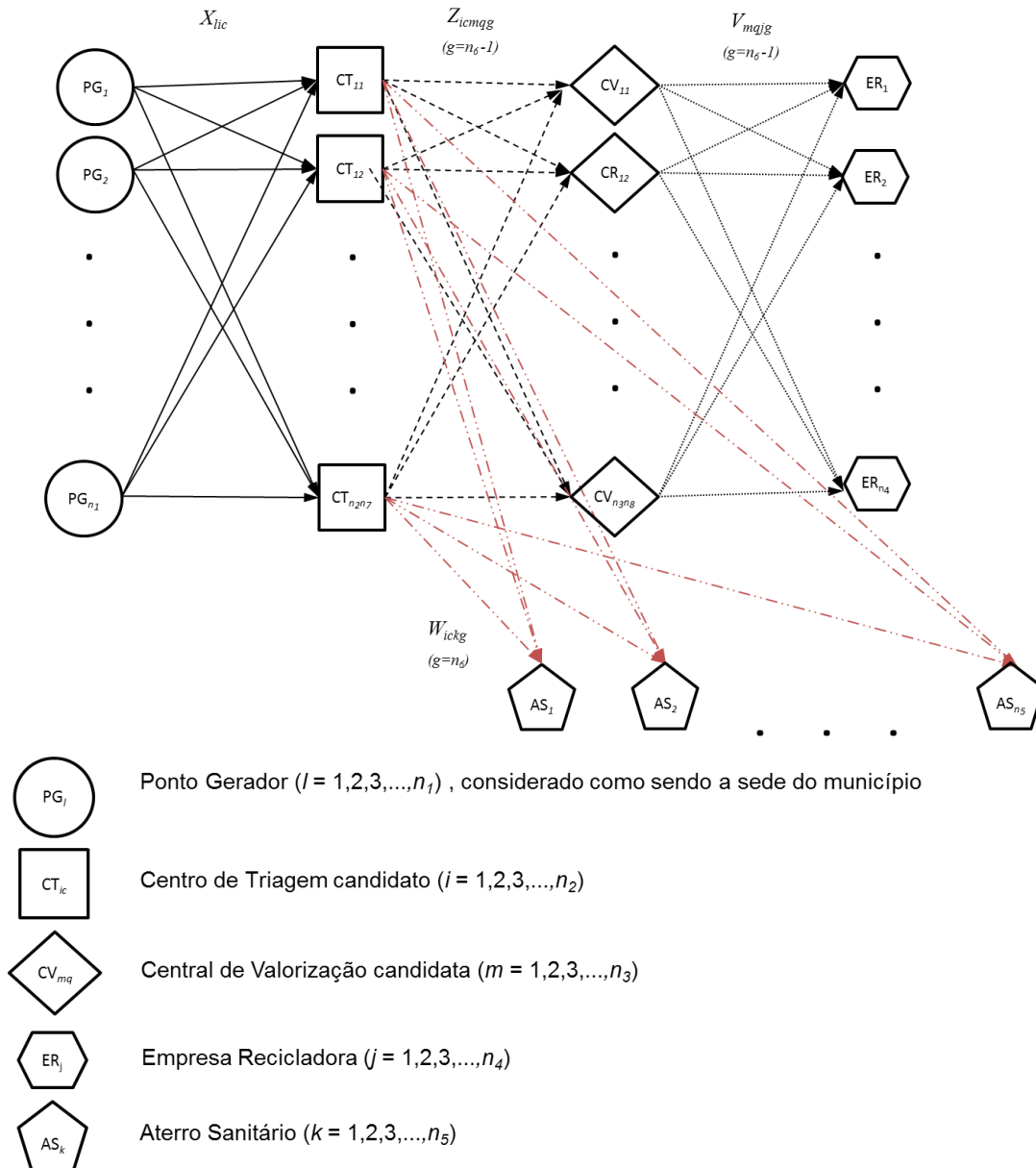
A Figura 2.5.1 apresenta um esquema de ATOS para SLR de embalagens, onde as embalagens coletadas nos municípios, PG, são encaminhadas para CT. Após triagem e prensagem, estes materiais, já separados por tipologias, são destinados às CV visando uma agregação de valor. Das CV estes materiais seguirão para as ER.

Figura 2.5.1: Esquema de Arranjos Territoriais Ótimos para SLR de embalagens pós-consumo.



Este, portanto, é um problema de localização de instalações em uma rede de multicamadas onde se objetiva definir a localização de dois tipos de nós, CT e CV, visando atender à demanda de descarte de embalagens por parte do consumidor (KLOSE; DREXL, 2005; PISHVAEE *et al.*, 2010). A Figura 2.5.2 apresenta o esquema do modelo proposto evidenciando os fluxos entre as estruturas.

Figura 2.5.2: Esquema do modelo logístico proposto.



→ X_{lic} - Quantidade de embalagem transportada de um PG_i até um CT_{ic}

--> Z_{icmqg} - Quantidade de embalagens recicláveis ($g = 1, 2, \dots, n_6-1$) transportada de um CT_{ic} até uma CV_{mq}

.....> V_{mqjg} - Quantidade de produtos recicláveis ($g = 1, 2, \dots, n_6-1$) transportada de uma CV_{mq} até uma ER_j

-.-> W_{ickg} - Quantidade de rejeitos ($g = n_6$) transportado de uma CT_{ic} até um AS_k

Na Figura 2.5.2, considerou-se que n_1 é a quantidade de PG, n_2 é a quantidade de CT candidatas, n_3 a quantidade de CV candidatas, n_4 é a quantidade de ER existentes, n_5 é a quantidade de AS existentes, n_6 é a quantidade de tipos de materiais das embalagens; n_7 é a quantidade de faixas de capacidades dos CT testadas e n_8 é a quantidade de faixas de capacidades das CV testadas.

Seis subconjuntos dos números naturais destacam-se no modelo, a saber: L é o conjunto dos PG_l , que são definidos pelas coordenadas das sedes municipais ($l = 1, 2, 3, \dots, n_1$); I é conjunto dos CT_{ic} candidatos à instalação ($i = 1, 2, 3, \dots, n_2$) com faixas de capacidades c ($c = 1, 2, 3, n_7$). M é o conjunto das CV_{mq} candidatas à instalação ($m = 1, 2, 3, \dots, n_3$), com faixas de capacidades q ($q = 1, 2, 3, n_8$); J é o conjunto das ER_j ($j = 1, 2, 3, \dots, n_4$). K é o conjunto dos AS_k ($k = 1, 2, 3, \dots, n_5$); G é o conjunto dos diferentes tipos de materiais das embalagens pós-consumo g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6$). Exemplo, $g = 1$ para papel, $g = 2$ para plástico, $g = 3$ para vidro, $g = 4$ para metais, etc. Utilizou-se $g = n_6$ para os rejeitos.

As embalagens do tipo g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6$) são enviadas em uma quantidade X_{lic} dos PG_l para os CT_{ic} candidatas com nas faixas de capacidade c . Cada CT_{ic} pode enviar uma quantidade Z_{icmqg} para uma CV_{mq} com faixa de capacidades q , do material reciclável g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6-1$), sem os rejeitos. Cada CV_{mq} pode enviar uma quantidade V_{mqjg} do material reciclável g ($g = 1, 2, 3, \dots, n_6-1$), sem os rejeitos, para uma empresa recicladora ER_j . Os rejeitos ($g = n_6$) são enviados dos CT_{ic} em quantidade W_{ickg} para um AS_k . Observa-se que o último índice nessa quantidade g é o número que representará o rejeito, isto é $g = n_6$. Os valores de X_{licg} , Z_{icmqg} , V_{mqjg} e W_{ickg} são as respostas do modelo matemático, ou seja, são as variáveis de decisão.

Deve-se notar ainda que as setas saindo de cada PG_l para todos os CT_{ic} na Figura 2 indicam todas as direções possíveis de fluxo dos produtos recicláveis. Entretanto, estabelece-se aqui, para simplificar o modelo, que o fluxo acontecerá em somente uma das direções, levando em conta que num PG_l não há seleção de produtos e, por isso, todos eles deverão ser encaminhados juntos para um CT_{ic} mais conveniente.

Cabe ainda ao modelo definir quais CT_{ic} e CV_{mq} deverão ser instalados ou não. Para tanto, é definida uma variável de decisão Y_{ic} que assume valor 1 se o CT_{ic} for instalada e 0 se não for instalada. Da mesma forma é definida uma variável de decisão N_{mq} que assume valor 1 se a CV_{mq} for instalada e 0 se não for instalada.

Portanto, o modelo deverá responder às seguintes questões: Quais CT e CV serão abertos? Para qual CT aberto às embalagens geradas em um município deverão ser destinadas para triagem? Para qual CV deverão ser enviados os resíduos triados no CT para agregação de valor? Para quais empresas recicladoras deverão seguir os materiais das CV? Para quais empresas de disposição final deverão seguir os rejeitos dos CT?

Os parâmetros são os dados de entrada do modelo. Eles foram coletados em campo ou foram obtidos de literatura. A Tabela 2.5.1 apresenta os parâmetros que são usados neste trabalho.

Tabela 2.5.1: Parâmetros do modelo logístico.

Sigla	Descrição	Unidade
d_l	Quantidade de embalagens pós-consumo por tipo de material g devolvida pelos consumidores referente ao ponto de geração PG_l .	t/mês
Pec_q	Composição gravimétrica das embalagens pós-consumo.	%
f_c	Custo de instalação do CT_{ic} por faixa de capacidade c .	R\$/mês
h_c	Custo de instalação da CV_{mq} por faixa de capacidade q .	R\$/mês
cof_c	Custo de operação do CT_{ic} por faixa de capacidade c .	R\$/mês
coh_q	Custo de operação da CV_{mq} por faixa de capacidade q .	R\$/mês
cf_{li}	Custo de transporte do PG_l para o CT_{ic} .	R\$/(t*km)
cs_{im}	Custo de transporte do CT_{ic} para a CV_{mq} .	R\$/(t*km)
ch_{mj}	Custo de transporte da CV_{mq} para um ER_j .	R\$/(t*km)
ct_{ik}	Custo de transporte do CT_{ic} para um AS_k .	R\$/(t*km)
df_{li}	Distância entre o PG_l e o CT_{ic} .	km
ds_{im}	Distância entre o CT_{ic} e a CV_{mq} .	km
dh_{mj}	Distância entre a CV_{mq} e ER_j .	km
dt_{ik}	Distância entre o CT_{ic} e o AS_k .	km
caf_c	Capacidade operacional do CT_{ic} por faixa de capacidade c .	t/mês
cah_q	Capacidade operacional da CV_{mq} por faixa de capacidade q .	t/mês
cas_{jg}	Capacidade da ER_j por tipo de embalagem g .	t/mês
cat_{kg}	Capacidade do AS_k para receber rejeitos g ($g = n_6$).	t/mês
r_g	Receita auferida com a venda no material tipo g para ER_j pela CV_{mc} .	R\$/t
cd_g	Custo de disposição final do rejeito.	R\$/t

5.2 Modelo Matemático Otimizado

Apresentam-se a seguir as parcelas que compõem os custos totais dos SLR em estudo, a saber, os custos de instalação e operação dos CT e das CV, os custos de transporte entre os nós o custo de destinação de rejeitos e a receita auferida com a comercialização dos materiais.

5.2.1 Custos de instalação

O custo total de instalação CT_{Inst} dos CT e das CV alocadas é dado por Eq. 2.1:

$$CT_{Inst} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq} \quad (2.1)$$

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic}$ representa os custos fixos para implantação dos CT_{ic} ($i \in I$, $c \in C$) por faixa de capacidade, f_c é o custo fixo de instalação para cada faixa de capacidade e Y_{ic} é a variável binária que define se um CT_{ic} é alocado, em que,

$$Y_{ic} = \begin{cases} 1, & \text{se um } CT_{ic} \text{ é alocada;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq}$ representa os custos fixos para implantação das CV_{mq} ($m \in M$, $q \in Q$), por faixa de capacidade, h_q é o custo fixo de instalação para cada faixa de capacidade e N_{mq} é a variável binária que define se uma CV_{mq} é alocada.

$$N_{mq} = \begin{cases} 1, & \text{se um } CV_{mq} \text{ é alocada;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

5.2.2 Custos de Operação

O custo total de operação, CT_{Oper} , dos CT e das CV alocadas é dado por Eq. 2.2:

$$CT_{Oper} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} coh_q N_{mq} \quad (2.2)$$

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{ic}$ representa os custos de operação dos CT_{ic} . Consideram-se aqui os custos fixos por período de tempo e por faixa de capacidade. cof_c é o custo de operação para cada faixa de capacidade dos CT_{ic} .

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} coh_q N_{mq}$ é referente aos custos de operação das CV_{mq} . Consideram-se aqui os custos fixos por período e tempo e por faixa de capacidade, coh_q é o custo de operação para cada faixa de capacidade das CV_{mq} .

Nesse custo também estão inseridos os custos fixos e variáveis.

5.2.3 Custos de transporte

O custo total de transporte entre os nós da rede, CT_{Trasn} , considerando os CT e as CV alocadas é dado por Eq. 2.3:

$$\begin{aligned}
CT_{Trans} = & \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{li} cf_{li} X_{lic} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} ds_{im} cs_{im} Z_{icmqg} \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg}
\end{aligned} \tag{2.3}$$

$\sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{li} cf_{li} X_{lic}$ é referente aos custos de transportes entre os PG_l , até os CT_{ic} , df_{li} é a distância entre o PG_l até o CT_{ic} , cf_{li} é o custo de transporte entre o PG_l e o CT_{ic} por quilômetro e X_{lic} é a quantidade total de material reciclável que é transportada do PG_l para o CT_{ic} .

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} ds_{im} cs_{im} Z_{icmqg}$ representa os custos de transportes entre os CT_{ic} , e as CV_{mq} , ds_{im} é a distância entre o CT_{ic} e a CV_{mq} , cs_{im} é o custo de transporte do material do CT_{ic} para a CV_{mq} por quilômetro e Z_{icmqg} é a quantidade de materiais recicláveis transferida dos CT_{ic} para as CV_{mq} .

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} dh_{mj} ch_{mj} V_{mqjg}$ representa os custos de transportes entre a CV_{mq} e a ER_j , dh_{mj} é a distância entre a CV_{mq} e a ER_j , ch_{mj} é o custo de transporte entre a CV_{mq} e a ER_j por quilômetro e V_{mqjg} é a quantidade de material recicláveis transferida da CV_{mq} e a ER_j .

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg}$ refere-se aos custos de transporte dos rejeitos do CT_{ic} para o AS_k , dt_{ik} é a distância entre o CT_{ic} , e o AS_k , ct_{ik} é o custo de transporte do rejeito do CT_{ic} para o AS_k por quilômetro e W_{ickg} é a quantidade de rejeito transferida do CT_{ic} para o AS_k .

5.2.4 Custo de disposição final de rejeitos

O Custo total de disposição de rejeitos, CT_{Disp} , considerando os CT alocados, é dado por Eq. 2.4:

$$CT_{Disp} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_g W_{ickg} \tag{2.4}$$

$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_g W_{ickg}$ refere-se aos custos de disposição final do rejeito no AS_k , cd_g é o custo de disposição final do rejeito e W_{ickg} é a quantidade de rejeito transferida do CT_{ic} para o AS_k .

5.2.5 Receita de comercialização

A receita total de comercialização dos materiais, R_{Venda} , considerando os CT e as CV alocadas, é dado por Eq. 2.5:

$$R_{Venda} = \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}. \quad (2.5)$$

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}$ representa o ganho da receita da venda do material reciclado para as ER_j, r_g é a receita auferida com a venda no material tipo g para a ER_j pela CV_{mq}, e V_{mqjg} é a quantidade de material do tipo g transferida da CV_{mq} para a ER_j.

5.2.6 Função Objetivo

A expressão matemática para o custo total do SLR, CT_{Rede} , é formado pelas parcelas descritas anteriormente. Ela estabelece a função objetivo do problema da otimização linear, dada por Eq. 2.6:

$$CT_{Rede} = CT_{Inst} + CT_{Oper} + CT_{Trans} + CT_{Disp} - R_{Venda} \quad (2.6)$$

onde, CT_{Rede} = custo total da Rede.

Portanto, a função-objetivo do problema de programação linear é composta por cinco parcelas, divididas em 10 subparcelas. Pretende-se minimizar os custos e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. Este problema é descrito pela Eq. 2.7, juntamente com as restrições da próxima seção.

$$\begin{aligned} \text{Minimizar } CT_{Rede} & \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq} \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} c o f_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} c o h_q N_{mq} \\ & + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} d f_{li} c f_{li} X_{lic} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} d s_{im} c s_{im} Z_{icmqg} \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} d h_{mj} c h_{mj} V_{mqjg} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} d t_{ik} c t_{ik} W_{ickg} \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} c d_g W_{ickg} - \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}. \end{aligned} \quad (2.7)$$

5.2.7 Restrições

Tão importantes quanto à função objetivo são as restrições do modelo. As restrições limitam as escolhas das decisões em valores aceitáveis. A seguir descrevem-se as restrições que são consideradas nesse trabalho, que podem ser de igualdade ou desigualdade.

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} X_{lic} = d_l \quad \forall l \in L. \quad (2.8)$$

$$P_{licg} = X_{lic} Pec_g \quad \forall g \in G, l \in L, i \in I, c \in C \quad (2.9)$$

$$\sum_{l \in L} P_{licg} = \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} Z_{icmqg} + \sum_{k \in K} W_{ickg} \quad \forall i \in I, c \in C, g \in G. \quad (2.10)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} Z_{icmqg} = \sum_{j \in J} V_{mqjg} \quad \forall g \in G, m \in M, q \in Q. \quad (2.11)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} P_{licg} \leq Y_{ic} caf_c \quad \forall i \in I, c \in C. \quad (2.12)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{g \in G} Z_{icmqg} \leq N_{mq} cah_q \quad \forall m \in M, q \in Q. \quad (2.13)$$

$$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} V_{mqjg} \leq cas_{jg} \quad \forall j \in J, g \in G. \quad (2.14)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} W_{ickg} \leq cat_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G. \quad (2.15)$$

$$Y_{ic} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, c \in C. \quad (2.16)$$

$$N_{mq} \in \{0,1\} \quad \forall m \in M, q \in Q. \quad (2.17)$$

$$\sum_{c \in C} Y_{ic} \geq 1 \quad \forall i \in I. \quad (2.18)$$

$$\sum_{q \in Q} N_{mq} \geq 1 \quad \forall m \in M. \quad (2.19)$$

$$X_{lic}, P_{licg}, Z_{icmqg}, V_{mqjg}, W_{ickg} \in \mathbb{R}^+ \quad (2.20)$$

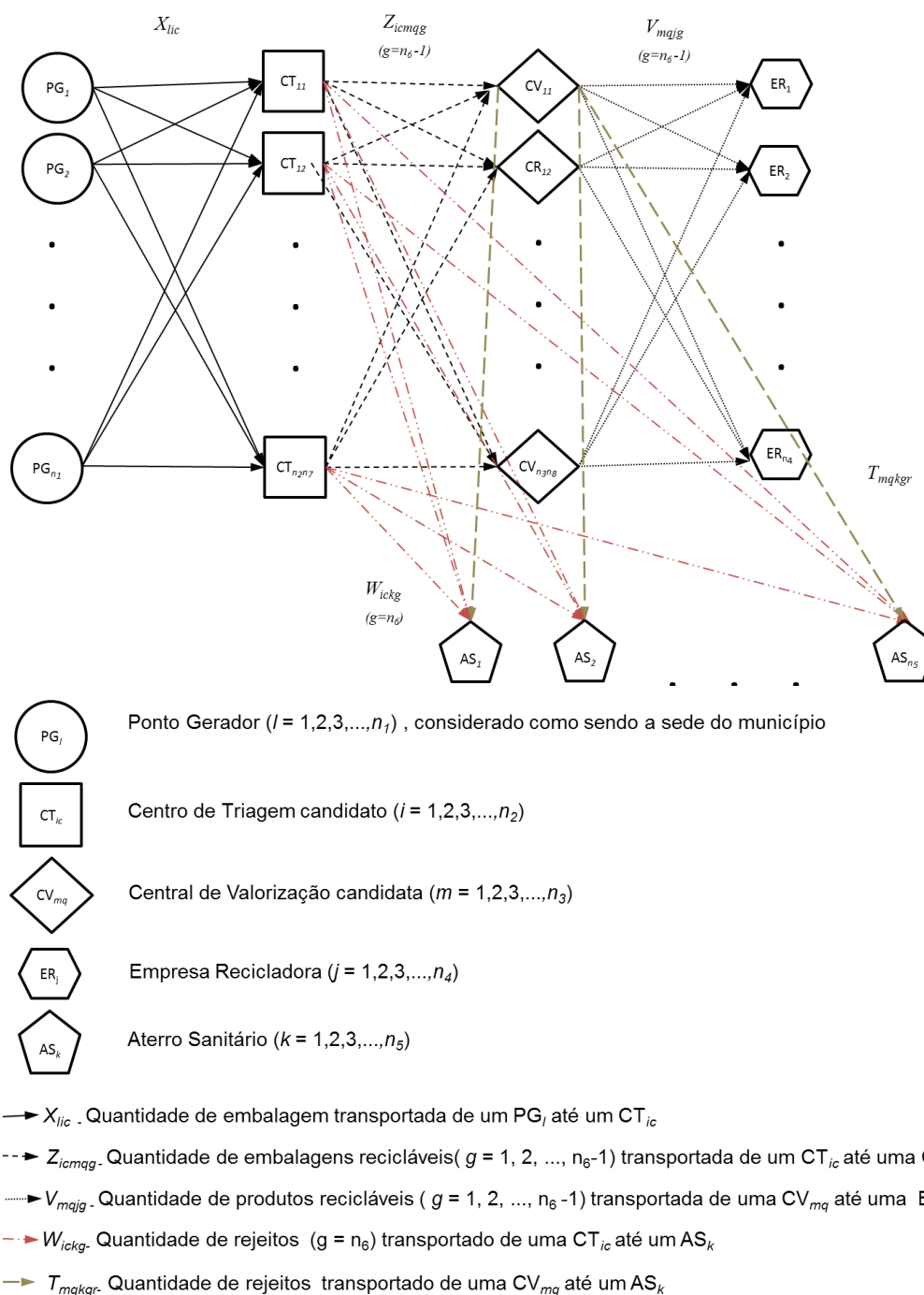
Os I, J, K, L, M e G são todos subconjuntos dos números Naturais.

A Restrição (2.8) exige que toda embalagem gerada em PG_l seja destinada para um CT_{ic} no período de tempo analisado; Restrição (2.9) calcula a quantidade de material do tipo g que é triado no CT_{ic} em função do total do material transportado, X_{lic} , e da composição gravimétrica dos materiais, Pec_g ; A Restrição (2.10) garante que nenhum material ficará estocado no CT_{ic} no período de tempo analisado; A Restrição (2.11) impõe que não haverá estoque de material na CV_{mq} no período de tempo analisado; A Restrição (2.12) garante que o total de embalagens que é transportado de todos os PG_l para um CT_{ic} não exceda o limite da faixa de capacidade do CT_{ic} , se ele for alocado ($Y_{ic} = 1$); A Restrição (2.13) garante que o total de embalagens que é transportado de todos os CT_{ic} para uma CV_{mq} não exceda o limite superior da faixa de capacidade da CV_{mq} , se ela for alocada ($N_{mq} = 1$); A Restrição (2.14) estipula que o total de embalagens que é transportado de todas as CV_{mq} para uma ER_j (V_{mqjg}) não exceda o limite de capacidade da ER_j em reciclar o material g ; A Restrição (2.15) obriga que o total de rejeitos que é transportado de todos os CT_{ic} para um AS_k (W_{ickg}) não exceda o limite da capacidade do AS_k , se ele for alocado ($Y_{ic} = 1$). Exige-se que as variáveis Y_{ic} e N_{mq} , condição (2.16) e (2.17), sejam 0 ou 1, pois 1 significa que um CT_{ic} ou uma CV_{mq} é alocada, caso contrário assume o valor 0. Exige-se que apenas um CT_{ic} , com uma faixa de capacidade c , Restrição (2.18), e uma CV_{mq} com uma faixa de capacidades q , Restrição (2.19), seja alocada em cada local candidato. Além disso tem-se as condições de não negatividade (2.20), pois estas variáveis representam quantidades de embalagens deslocadas, as quais não podem ser negativas.

5.2.8 Modelo como beneficiamento nas CV

As CV podem ter função de armazenamento temporário ou de beneficiamento primário de materiais. Quando ocorre o beneficiamento é necessária uma modificação na função objetivo, com o acréscimo de mais duas parcelas, além de novas restrições que modelem esta situação. Para isto foram declaradas mais duas variáveis, que são calculadas pelas rotinas de otimização: R_{icmqg} é uma variável de apoio e representa a quantidade de rejeito gerada nas CV_{mq} e T_{mqkg} é a quantidade de rejeito transportado de CV_{mq} para AS_k . A Figura 2.5.3 apresenta o esquema do modelo proposto evidenciando os fluxos entre as estruturas.

Figura 2.5.3: Esquema do modelo com beneficiamento nas CV.



Também foram incluídos quatro novos parâmetros apresentados na Tabela 2.5.2

Tabela 2.5.2: Novos parâmetros do modelo matemático.

Sigla	Descrição	Unidade
Rej_g	Percentuais de rejeito g gerado nas CV_{mq}	%
dr_{mk}	Distância entre o CT_{mq} e o AS_k .	km
cr_{mk}	Custo de transporte do CT_{mq} e o AS_k .	R\$/(t*km)
cdr_g	Custo de disposição final do rejeito g que após passar pela CV_{mq} , segue um fluxo diferenciado para um AS_k .	R\$/t

A Função Objetivo foi modificada com a inserção de mais duas parcelas, dadas pela Eq. 2.21.

$$\begin{aligned}
\text{Minimizar } & \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} h_q N_{mq} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} c o f_c Y_{ic} \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} c o h_q N_{mq} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} d f_{li} c f_{li} X_{lic} + \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{g \in G} d s_{im} c s_{im} Z_{icmqg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} d h_{mj} c h_{mj} V_{mqjg} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} d t_{ik} c t_{ik} W_{ickg} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} c d_g W_{ickg} \\
& + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} d r_{mk} c r_{mk} T_{mqkg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} c d r_g T_{mqkg} \\
& - \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}
\end{aligned} \tag{2.21}$$

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} d r_{mk} c r_{mk} T_{mqkg}$ representam os custos de transporte do rejeito dos materiais gerados no beneficiamento nas CV_{mq} para AS_k . Neste estudo é considerado apenas o beneficiamento do papel e do plástico.

$\sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} c d r_g T_{mqkg}$ representam os custos de destinação do rejeito gerado em CV_{mq} destinado para os AS_k .

A Restrição 2.15 foi substituída pela Eq. 2.22 e foram inseridas as Eq. 2.23, Eq. 2.24 e Eq. 2.25:

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} W_{ickg} + \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} T_{mqkg} \leq cat_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G. \tag{2.22}$$

$$R_{icmqg} = Z_{icmqg} Rej_g \quad \forall g \in G, i \in I, c \in C, m \in M, q \in Q \tag{2.23}$$

$$\sum_{i \in I} T_{mqkg} = \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} R_{icmqg} \quad \forall g \in G, m \in M, q \in Q. \tag{2.24}$$

$$T_{mqkg}, R_{mqkg} \in \mathbb{R}^+ \tag{2.25}$$

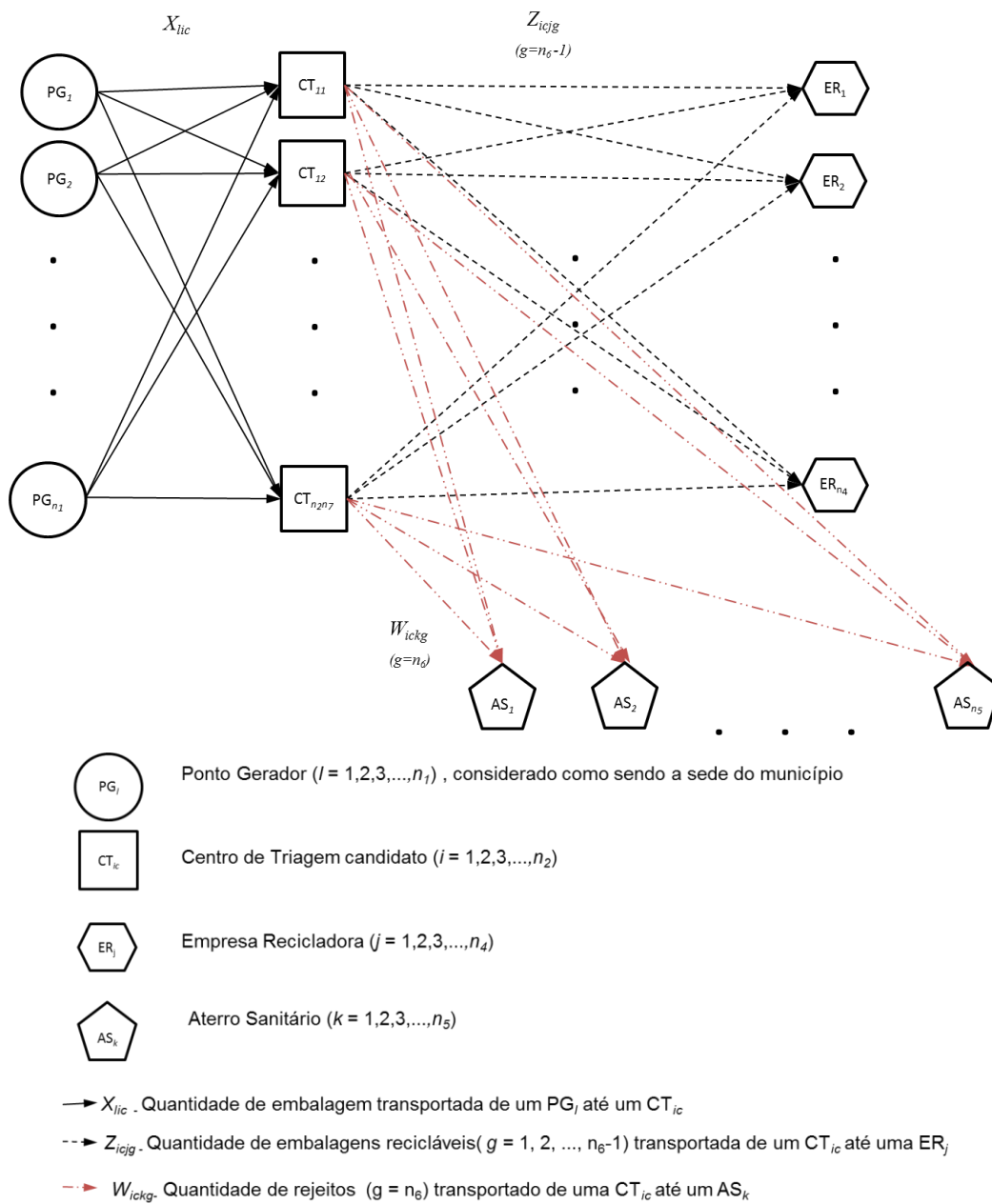
A Restrição (2.22) obriga que o total de rejeitos que é transportado de todos os CT_{ic} (W_{ickg}) somado ao total de rejeitos que é transportado de todos os CV_{mq} (T_{mqkg}) para um AS_k não exceda o limite da capacidade do AS_k . A Restrição (2.23) calcula a quantidade de material do tipo g que se torna rejeito na CV_{mq} em função do total do material transportado, Z_{icmqg} , e dos percentuais de rejeito, Rej_g ; a Restrição (2.24) exige que todo o rejeito gerado

em CV_{mq} seja destinado para uma AS_k . Além disso, tem-se as condições de não negatividade (2.25), que garante que as variáveis representem quantidades não negativas.

5.3 Modelo Atual

A fim de verificar a contribuição das CV no modelo, foi construído um modelo denominado de Modelo Atual. Ele representa a situação atual, onde as OCMR realizam a triagem e prensagem dos materiais recicláveis e comercializam diretamente com as ER sem a existência de CV. A Figura 2.5.4 apresenta o esquema do modelo proposto.

Figura 2.5.4: Esquema do Modelo Atual.



Para tanto, a Função Objetivo foi modificada com a retirada de todas as parcelas referentes às CV e com os fluxos ocorrendo diretamente dos CT para ER. A Função Objetivo do Modelo Atual é dada pela Eq. 2.26.

$$\begin{aligned}
\text{Minimizar } & \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} f_c Y_{ic} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} cof_c Y_{ic} + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} df_{li} cf_{li} X_{lic} + \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} ds_{ij} cs_{ij} Z_{icjg} + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} dt_{ik} ct_{ik} W_{ickg} \\
& + \sum_{i \in I} \sum_{c \in C} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} cd_g W_{ickg} - \sum_{m \in M} \sum_{q \in Q} \sum_{j \in J} \sum_{g \in G} r_g V_{mqjg}.
\end{aligned} \quad (2.26)$$

Quanto às restrições, foram retiradas aquelas relacionadas às CV (Eq. 2.11, 2.13, 2.17 e 2.19). Também foram modificadas as restrições relacionadas aos fluxos dos CT para as CV que passaram a ser dos CT para as ER. Para isso as restrições representadas pela Eq. 2.10 e Eq. 2.14 foram substituídas pelas Eq. 2.27 e Eq. 2.28.

$$\sum_{l \in L} P_{licg} = \sum_{j \in J} Z_{icjg} + \sum_{k \in K} W_{ickg} \quad \forall i \in I, c \in C, g \in G. \quad (2.27)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{c \in C} Z_{icjg} \leq cas_{jg} \quad \forall j \in J, g \in G. \quad (2.28)$$

5.4 Modelo Alternativo

Para ampliar a avaliação, foi desenvolvido um modelo denominado Modelo Alternativo. Nessa situação foi considerado que todos os CT candidatas são obrigatoriamente alocadas. Para tanto, a Função Objetivo não foi modificada, apenas as restrições dadas pelas Eq. 2.16 e 2.18 são substituídas pelas Eq. 2.29 e 2.30, que impõem que todos os CT candidatas sejam alocadas com uma faixa de capacidade a ser definida pelo modelo. Também é incluída a restrição representada pela Eq. 2.31 que garante que haja fluxo de embalagem para todos os CT. As novas restrições são:

$$Y_{ic} \in \{1\} \quad \forall i \in I, c \in C, \quad (2.29)$$

$$\sum_{c \in C} Y_{ic} = 1 \quad \forall i \in I, \quad (2.30)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{c \in C} X_{lic} \geq 0 \quad \forall i \in I. \quad (2.31)$$

5.5 Modelagem computacional do problema

O modelo matemático foi desenvolvido no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015). O primeiro passo na implementação do modelo foi declarar os conjuntos de dados, I, J, K, L, M e G , e seus índices descritos como i, j, k, l, m e g . Em seguida foram declarados os parâmetros que representam os valores de entrada e de saída.

Foram declaradas as Variáveis que são calculadas pelas rotinas de otimização. No modelo em questão elas são X_{lig} , Z_{img} , V_{mjpg} , W_{ikg} , Y_i e N_m . Finalmente o problema matemático foi declarado por meio da função objetivo e das equações de contorno do problema (restrições). A modelagem computacional desenvolvida no CPLEX é apresentada no Apêndice A.

6 CONCLUSÕES

Neste Capítulo foi desenvolvido um modelo logístico conceitual e matemático para um Sistema de Logística Reversa de embalagens pós-consumo que tem como objetivo a organização do espaço estudado em ATOS. O modelo logístico tem como objetivo a localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens, com alocação de CT e CV, com a possibilidade de diferentes tipos de materiais entrarem no sistema seguindo fluxos diferentes, em função das restrições das ER.

Um modelo matemático foi desenvolvido por meio de Programação Linear Inteira Mista, cujo objetivo foi minimizar os custos do SLR e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. A função-objetivo do problema é composta por cinco parcelas, divididas em 10 subparcelas, que representam os custos de instalação e operação dos CT e CV, custo de destinação dos rejeitos, custo de transporte entre os nós da rede e receita obtida com a venda dos materiais para indústrias recicladoras.

Para que o modelo se adeque mais precisamente à realidade são desenvolvidas 20 restrições que dão os contornos do problema. Estas restrições garantem que vários tipos de matérias possam entrar no sistema e seguirem fluxos diferenciados a partir da triagem em CT, que os CT e CV serão alocados, com faixas de capacidades diferenciadas, que todo material terá uma destinação, que todas as instalações, inclusive as empresas e os aterros não terão suas capacidades excedidas por tipo de matérias. Buscou-se, portanto, reproduzir de forma matemática, situações relacionadas à coleta, transporte e tratamento de materiais recicláveis e disposição final de rejeitos.

Para a construção do modelo foram elencados 20 parâmetros que estão relacionados com as características, as instalações como faixa de capacidades e custos de instalação e operação dos CT e CV, limites de capacidades dos AS e ER, quantidades de embalagens por tipo de material, distâncias e o custo de transporte entre os nós da rede.

Os modelos Atual e Alternativo permitirão uma análise comparativa, considerando outras possibilidades de funcionamento do SLR.

REFERÊNCIAS

- ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Logística Reversa de Equipamentos Eletroeletrônicos: Análise de Viabilidade Técnica e Econômica*. 2012.
- ABDI – Agencia Brasileira de Desenvolvimento Industrial. *Logística Reversa para o setor de Medicamentos*. 2013.
- ABINNE – Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. *Programa Abinne Recebe Pilhas*. 2014. Disponível em: <<http://www.gmcons.com.br/gmclog/admin/VisualizarPostosMapaCliente.aspx>>. Acesso em 20 set. 2014.
- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; AIDONIS, D.; MOUSSIOPOULOS, N.; IAKOVOU, E.; BANIAS, G. Optimising reverse logistics network to support policy-making in the case of Electrical and Electronic Equipment. *Waste Management*, v.30, p.2592-2600, 2010.
- ACHILLAS, C.; VLACHOKOSTAS, C.; MOUSSIOPOULOS, N.; PERKOULIDIS, G.; BANIAS, G.; MASTROPAVLOS, M. Electronic waste management cost: a scenario-based analysis for Greece. *Waste Management Research*, v 29 (9), p. 963-972, 2011.
- AGRAWAL, S.; RAJESH, K.; SINGH, R. K.; MURTAZA, Q. A literature review and perspectives in reverse logistics. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 97, p. 76–92, 2015.
- AITKEN, J.; HARRISON, A. Supply governance structures for reverse logistics systems. *International Journal of Operations & Production Management*, v 33, n. 6, p. 745-764, 2013.
- ALSALLOUMA, O. I.; RAND, G. K. Extensions to emergency vehicle location models. *Computers & Operations Research*, v.33, p. 2725–2743, 2006.
- ALUMUR, S. A.; NICKEL, S.; SALDANHA-DA-GAMA., F.; VERTER, V. Multi-period reverse logistics network design. *E. J. of Operational Research*, v. 220, n.1, p. 67-78, 2012.
- AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, 2009.
- BARCELOS, F. B., PIZZOLATO, N. D. LORENA, L. A. N. Localização de Escolas do Ensino Fundamental com Modelos Capacitado e Não-Capacitado: Caso de Vitória/ES. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, p.133-149, 2004.
- BAENAS, J. M. H.; CASTRO, R. de; BATTISTELLE, R. A. G.; GOBBO JUNIOR, J. A. A study of reverse logistics flow management in vehicle battery industries in the midwest of the state of São Paulo (Brazil). *Journal of Cleaner Production*, v. 19, p. 168-172, 2011.
- BALLOU, R. H. *Bussiness logistics: Supply chain management*. 5 ed. Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2004.
- BARROSO, A. P.; MACHADO, V. H. A Gestão da Logística Reversa dos resíduos em Portugal. *Investigação Operacional*, v. 25, 179-194, 2005.
- BOWERSOX, D. F.; CLOSS, D. J. *Logística Empresarial: o processo de integração da cadeia de suprimento*. São Paulo: Atlas, 2001.

- BRASIL. Lei nº. 12.305/ 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 03/08/2010*. 2010a.
- BRASIL. Decreto nº 7.404/2010. Regulamenta a Lei nº. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 23/12/2010*. 2010b.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento-SNIS. *Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2014*. Brasília. 2016.
- BRASIL. MMA – Ministério do Meio Ambiente. *Coleta de óleo lubrificante usado ou contaminado – dados de 2014*. Brasília, 2015. Disponível em:< http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/174D441A/Relatorio_Resol_CONAMA362_2005_MMA.pdf>. Acesso em 04 abril 2016.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. *Relatório de Pneumáticos - Resolução CONAMA nº 416/09*. Brasília, 2013. Disponível em < <https://servicos.ibama.gov.br/index.php/registros/relatorio-de-pneumaticos-resolucao-conama-no-41609>> . Acesso em 13 set. 2014.
- CAIXETA-FILHO, J. V.; BARTHOLOMEU, D. B. (Org). *Logística ambiental de resíduos sólidos*. São Paulo: Atlas, 2011.
- CARVALHO, L. A. V. *Datamining: a mineração de dados no marketing, medicina, economia, engenharia e administração*. 1. ed. São Paulo: Érica, 2001.
- COUTO, P. R. L. *Modelagem computacional do transporte de contaminantes com processos de biodegradação e sorção física em um meio poroso saturado*. Tese (Doutorado Modelagem computacional) - Laboratório Nacional de Computação Científica, LNCC. Petrópolis. 2006.
- DAT, L. Q.; TRUC, D.T. L.; CHOU, S.Y.; YU, V. F. Optimizing reverse logisticcosts for recycling end-of-life electrical and electronic products. *Expert Systems with Applications*, v.39, p.6380-6387, 2012.
- DUBKE, A. F. *Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja*. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Departamento de Engenharia Industrial. PUC, Rio de Janeiro, 2006.
- EUROPEAN COMMISSION. *Material prices for recyclates*. 2016. Disponível em: <: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/waste-related-topics/prices-for-recyclates>>. Acesso em 20 Jun 2016.
- EL KORCHI, A; MILLET, D. Designing a sustainable reverse logistics channel: the 18 generic structures framework. *Journal of Cleaner Production*, v. 19(6), p. 588-597, 2011.
- FERRI, G. L.; CHAVES, G. DE L. D.; RIBEIRO, G. M. Reverse logistic network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. *Waste Management*, v. 40, p. 173-191, 2015.
- FLEISCHMANN, M.; BEULLENS, P.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; VAN WASSENHOVE, L. N. The impact of product recovery on logistics network design. *Production and Operation Management*, v.10, n. 2, p. 156-173, 2001.
- GIANNETTI, B. F.; BONILLA, S. H.; ALMEIDA, C. M .V. B. An emergy-based evaluation of a reverse logistics network for steel recycling. *Journal of Cleaner Production*, v. 46, p. 48 - 57, 2013.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, v. 240(3), p. 603–626, 2015.

GRANT THORNTON. *Viabilidade técnica e econômica em logística reversa na organização da coleta e reciclagem de resíduos de lâmpadas no Brasil*. [online]. 2011. Disponível em: http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LAMPADAS/>. Acesso em 12 set. 2014.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo*. [online]. 2012. Disponível em: < http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_PO_S_CONSUMO/>. Acesso em 13 set. 2014.

HAMAD, R. *Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de sistemas logísticos). Escola politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 69p. 2006.

IBM. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Inc. *CPLEX 12.6 User Manual*. 2015

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012.

INPEV - Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias. *Relatório de Sustentabilidade 2013*. [online]. Disponível em < <http://relatoweb.com.br/inpev/2013/>>. Acesso em 15 set. 2014.

JIA, H.; ORDÓÑEZ, F.; DESSOUKV, M. M. Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies. *Computers & Industrial Engineering*, v. 52, p. 257–276. 2007.

KIZILBOGA, G.; MANDIL, G.; GENEVOIS, M.E.; ZWOLINSKI, P. Remanufacturing Network Design Modeling: A Case of Diesel Particulate Filter. *Procedia CIRP*, v.11, p.163–168, 2013.

KLOSE, A. DREXL, A. Facility location models for distribution system design. *European Journal of Operational Research*, v. 162, p. 4 –29, 2005.

LACERDA, L. Considerações sobre o estudo de localização de instalações. In. FLEURY, P. F.; WANKE, P.; FIGUEIREDO, K. F. (Org). *Logística empresarial: a perspectiva brasileira*. São Paulo: Atlas, 2000.

MAPA, S. M. S, LIMA, R. S.; MENDES, J. F. G. M. Localização de instalações com o auxílio de Sistema de informações Geográficas (SIG) e modelagem matemática. In: *XXVI ENEGEP*, Fortaleza – CE, 2006.

MARIANOV, V.; RÍOS, M.; ICAZA, M. J. Facility location for market capture when users rank facilities by shorter travel and waiting times. *European Journal of Operational Research*, v. 191, p. 32 – 44, 2008.

MELO, T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. Facility location and supply chain management - A comprehensive review. *Berichte des Fraunhofer ITWM*, n. 130, 2007

MORABITO, R.; ARENALES, M.; ARMENTANO, V. A.; YANASSE, H. H. *Pesquisa operacional*. 2. Ed. Rio de Janeiro. Elsevier, 2015.

- PISHVAEE, M. S.; KIANFAR, K.; KARIMI, B. Reverse logistics network design using simulated annealing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 47, n. 1- 4, p. 269-281, 2010.
- PIZZOLATO, N. D.; BARROS A. G.; BARCELOS, F. B.; CANEN, A. G. Localização de escolas públicas: Síntese de algumas linhas de experiências no Brasil. *Pesquisa Operacional*, v.24, n.1, p.111-131, 2004.
- RAMEZANIA, M.; BASHIRI,M.; TAVAKKOLI-MOGHADDAM, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, v. 37, p. 328–344, 2013.
- RECICLANIP - Programa Nacional de Coleta e Destinação de Pneus Inservíveis da Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos. *Pontos de Coleta no Brasil*. Disponível em < <http://www.reciclanip.org.br/v3/pontos-coleta/brasil> > . Acesso em 10 set. 2014.
- REVELLEA, C.; MURRAVB, A. T.; SERRAC D. Location models for ceding market share and shrinking services. *The International Journal of Management Science – Omega*, v. 35, p. 533 – 540, 2007.
- SALEMA, M. I. G.; POVOA, A. P. B.; NOVAIS, A. Q. An optimization model for the design of a capacitated multi-product reverse logistics network with uncertainty. *European Journal of Operational Research*, v. 179, n. 3, p. 1063-1077, 2007.
- SCHULTMANN, F.; ZUMKELLER, M.; RENTZ, O. Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry. *European Journal of Operational Research*, v. 171, p. 1033–1050, 2006.
- SILVA, D. A. L.; RENÓ, G. W. S.; SEVEGNANI, G.; SEVEGNANI, T. B.; TRUZZI, O. M. S. Comparison of disposable and returnable packaging: a case study of reverse logistics in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 47, p. 377- 387, 2013.
- SINDICOM - Sindicato Nacional das Empresas Distribuidoras de Combustíveis e de Lubrificantes. *Elaboração de Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica da Implantação da Logística Reversa para a Cadeia Produtiva do Setor de Distribuição de Combustíveis e de Lubrificantes*. 2012. Disponível em: < http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LUBRIFICANTES/ >. Acesso em 12 set. 2014.
- SOLEIMANI, H.; SEYYED-ESFAHANI, M.; SHIRAZI, M. A. A new multi-criteria scenario-based solution approach for stochastic forward/reverse supply chain network design. *Annals of Operations Research*, p.1-23, 2013.
- SOTO, M. M. T. *Análise e formação de redes de cooperativas de catadores de materiais recicláveis no âmbito da economia solidária*. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.
- SRIVASTAVA S. K. Network design for reverse logistics. *Omega*, v. 36, p. 535-548, 2008.
- STAMM, C.; PIFFER, M.; PIACENTI, C. A. *Análise dos Fatores que Influenciaram a Localização das Indústrias no estado do Paraná*. Federação das Indústrias do estado do Paraná, 2004.
- STUMMER, C.; DOERNER, K.; FOCKE, A.; HEIDENBERGER, K. Determining location and size of medical departments in a hospital network: A multiobjective decision support approach. *Health Care Management Science*, v. 7, p. 63–71, 2004.

- TEIXEIRA, J. C.; ANTUNES, A. P. A hierarchical location model for public facility planning. *European Journal of Operational Research*, v. 185, p. 92–104, 2008.
- TRAPPEY, A. M. Y.; CHARLES V. TRAPPEY, C. V.; WU, C. R. Genetic algorithm dynamic performance evaluation for RFID reverse logistic management. *Expert Systems with Applications*, v. 37, p. 7329–7335, 2010.
- VILHENA, A. *Guia da Coleta Seletiva de Lixo*. São Paulo, CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1999.
- WANG, H. F.; CHEN, Y. Y. A coevolutionary algorithm for the flexible delivery and pickup problem with time windows. I. *Journal of Production Economics*, v. 141, p.4-13, 2013.
- WANKE, P. F.; MONTEBELLER JÚNIOR, E. J.; TARDELLI, R. V. *Introdução ao planejamento de redes logísticas: aplicações em AIMMS* (Optimization Software for operations applications). São Paulo: Atlas, 2009.
- XANTHOPOULOS, A.; IAKOVOU, E. On the optimal design of the disassembly and recovery processes. *Waste Management*, v. 29, p.1702-1711, 2009.
- ZSIGRAIOVA, Z.; SEMIAO, V.; BEIJOCO, F. Operation costs and pollutant emissions reduction by definition of new collection scheduling and optimization of MSW collection routes using GIS. *Waste Management*, v. 33, p. 793–806, 2013.

OBTENÇÃO DOS PARÂMETROS DO MODELO MATEMÁTICO

Estudo de caso – Espírito Santo/Brasil

1 INTRODUÇÃO

Uma aplicação prática do modelo matemático apresentado foi realizada, tendo como área de estudo o estado do Espírito Santo (ES), localizado na Região Sudeste do Brasil. Com população de 3.514.952 habitantes, o estado ocupa uma área de 46.098,1 km² e apresenta densidade demográfica de 76,2 hab./km² (IBGE, 2012). O ES possui 1,81% da população brasileira (BRASIL *et al.*, 2013) e 73% dos municípios são considerados de pequeno porte, com população inferior a 30 mil habitantes (BRASIL, 2016). No ES o Sistema de Logística Reversa (SLR) de embalagens ainda não foi implantado. Portanto, é um Estado representativo da realidade brasileira, o que permitirá que os resultados sejam replicados para cenários mais amplos no Brasil, bem como a outros países com semelhanças em termos de área territorial.

A obtenção dos dados reais teve como objetivo possibilitar a aplicação no modelo matemático apresentado no Capítulo 2. Neste estudo os quatros nós da SLR representado pelo modelo são: 78 Pontos de Geração (PG), que representam todos os municípios do estado do ES; 54 locais candidatos a Centros de Triagem (CT), correspondente às Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no estado em 2015; 24 locais candidatos a Centros de Valorização (CV), representando às áreas do projeto “ES sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes; 14 Empresas de Reciclagem (ER), que representam os polos industriais instalados no ES e 8 Aterros Sanitários (AS) existentes no estado.

Para o modelo matemático proposto, foram definidos 20 parâmetros de entrada, relacionados aos nós do SLR e aos materiais recicláveis. Estes parâmetros foram obtidos por meio de coleta de dados de campo e análise de dados secundários específicos para a região de estudo. Desta forma, o modelo aplicado pode representar o mais próximo possível à realidade.

Neste Capítulo, portanto, são apresentados os dados obtidos em relação à quantidade de embalagens pós-consumo devolvidas pelos consumidores referentes ao ponto de geração PG, à composição gravimétrica das embalagens pós-consumo devolvidas pelos consumidores, aos custos fixos de instalação e de operação dos CT e CV juntamente com suas capacidades operacionais, aos custos de transporte entre os nós da rede, às distâncias entre os nós da rede, às capacidade das empresas recicladoras e às receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis para a ER pela CV, às capacidades e aos custos de disposição final dos rejeitos no AS.

2 OBJETIVOS

2.1 *Objetivo geral*

Validar o modelo logístico para logística reversa de embalagens pós-consumo tendo como área de estudo o estado do Espírito Santo/Brasil.

2.2 *Objetivos específicos*

- Caracterizar o Estado do Espírito Santo como a área de estudo;
- Estimar a origem e a quantidade de embalagens pós-consumo gerada no estado do ES;
- Identificar os locais candidatos a Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) para um SLR de embalagens;
- Identificar as empresas recicladoras de embalagens e de disposição final de rejeitos do ES;
- Calcular os custos de instalação e de operação dos CT e CV;
- Calcular as distâncias e os custos de transporte entre os nós da rede;
- Estimar receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis.

3 REVISÃO DA LITERATURA

A revisão de literatura desta etapa teve o objetivo de conhecer a realidade brasileira e as características do local de estudo em relação aos parâmetros de entrada do modelo logístico apresentado no Capítulo 2. São apresentadas informações relacionadas à geração de embalagens pós-consumo, Centrais de triagem e Centros de Valorização de materiais recicláveis e Mercado de reciclagem de resíduos.

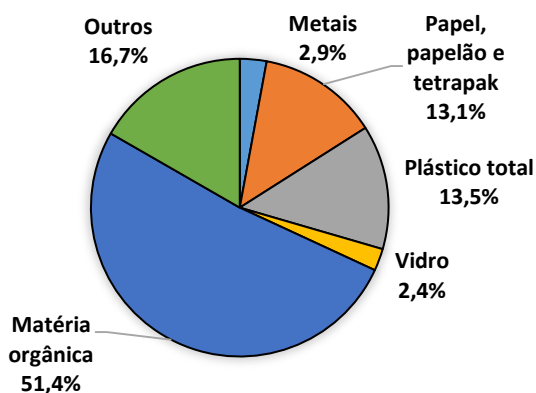
3.1 Geração de embalagens pós-consumo

A composição gravimétrica média dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD) coletados no Brasil é bastante diversificada nas diferentes regiões, uma vez que está diretamente relacionada com características, hábitos e costumes de consumo e descarte da população local (ABRELPE, 2015). Esta é uma informação importante para estudos de aproveitamento dos resíduos recicláveis e de compostagem, uma vez que traduz o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada.

Neste estudo são utilizados dados secundários de abrangência nacional e de estudos específicos realizados no ES, visto que se trata de um instrumento de planejamento sem detalhamento de infraestruturas.

Os estudos que embasaram o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) apontam uma composição média nacional de 31,9% de resíduos secos e 51,4% e de resíduos úmidos e 16,7% de rejeitos (IPEA, 2012a). A Figura 3.3.1 apresenta esta composição gravimétrica.

Figura 3.3.1: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.



Fonte: Adaptado de IPEA (2012a).

A maior parte dos municípios do ES não possui caracterização gravimétrica dos RSD. Alguns estudos de composição gravimétrica são apresentados na Tabela 3.3.1.

Tabela 3.3.1: Composição gravimétrica de RSD no ES.

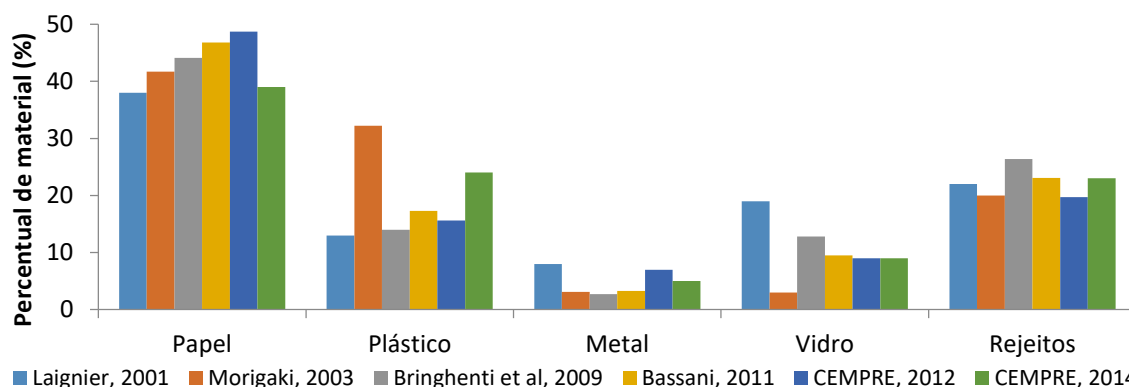
Município / Tipo de material	Venda Nova do Imigrante		São Gabriel da Palha	Vitória
	Área urbana	Área rural		
Matéria orgânica	58,5 %	77,2 %	56,57	53,10
Plástico maleável	8,0 %	7,5 %	9,90	11,77
Plástico rígido	4,9 %	3,3 %		
Papel	2,5 %	2,6 %	10,21	19,12
Papelão	7,4 %	5,1 %		
Vidros	2,3 %	2,9 %	1,69	2,69
Tetrapak	-	-	0,66	-
Metais	2,0 %	1,2 %	1,03	3,25
Rejeitos	14,5%	0,3 %	9,48	10,07
Isopor	1,6 %	-	-	-
Fonte	PMVNI (2014).		Barbosa <i>et al.</i> (2012)	Braga (2000)

3.1.1 Composição gravimétrica

No âmbito nacional, a composição gravimétrica dos resíduos provenientes da coleta seletiva tem sido registrada pelo Compromisso Empresarial para a Reciclagem (CEMPRE), por meio de publicações bianuais, a partir do levantamento de dados de vários Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS). No âmbito estadual os estudos de composição gravimétrica da coleta seletiva foram encontrados apenas para o município de Vitória, capital do ES.

A comparação entre os quatro estudos realizados em Vitória e os dados publicados pelo CEMPRE nos anos de 2012 e 2104, para os quatros grandes grupos de materiais recicláveis, é apresentado na Figura 3.3.2.

Figura 3.3.2: Composição gravimétrica encontrados na coleta seletiva de Vitória-ES.



Considerando apenas os percentuais de materiais recicláveis encontrados nos quatro estudos realizados em Vitória/ES têm-se os valores conforme apresentado na Tabela 3.3.2.

Tabela 3.3.2: Composição gravimétrica da coleta seletiva em Vitória-ES.

Autor	Papeis	Plásticos	Vidros	Metais	Rejeitos
Laignier, 2001	38,0	13,0	19,0	8,0	22
Morigaki, 2003	41,7	32,2	3,0	3,1	20
Bringhenti <i>et al.</i> , 2009	44,1	14,0	12,8	2,7	26,4
Bassani, 2011	46,8	17,3	9,5	3,3	23,1
Média	42,7	19,1	11,1	4,3	22,9
Mediana	42,9	15,7	11,2	3,2	22,6
Desvio Padrão	3,2	7,7	5,8	2,2	2,3

Nota: Foram considerados como rejeito todos os demais materiais encontrados na pesquisa como trapo, madeira, espuma, porcelana, etc. que não compõe os quatro grupos de materiais em estudo.

Os valores mostraram-se divergentes entre os diferentes autores, o que pode ser motivado pela diferença temporal entre as pesquisas e também pela metodologia aplicada. Laignier (2001) considerou os resíduos da coleta seletiva municipal e Morigaki (2003) incorporou aos resíduos da coleta seletiva os advindos do comércio, o que elevou a quantidade de papeis e plásticos. Bassani (2011) e Bringhenti *et al.* (2009) realizaram as pesquisas em condomínios.

Para o grupo de plástico o que tem maior representatividade em todos os estudos em peso foi o Polietileno tereftalato (PET), com 25,7%, Polietileno de Alta Densidade (PEAD) com 16,8% e Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) com 15,3% (Bassani, 2011), Para (Laignier, 2001) os percentuais foram 33,08%, 30,44% e 13,97%, respectivamente para esses materiais.

3.1.2 Geração *per capita* de resíduos

A geração *per capita* determina a quantidade de resíduos urbanos gerada diariamente em relação ao número de habitantes de determinada localidade. Esta informação é muito importante para determinar a taxa de coleta, bem como para o correto dimensionamento de todas as unidades que compõem o Sistema de Limpeza Urbana (IBAM, 2009).

O Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (SNSA) do Ministério das Cidades (MCidades), apresenta anualmente informações quanto ao manejo de resíduos nos municípios brasileiros. O SNIS classifica os municípios de acordo com faixa populacionais pré-estabelecidas conforme Tabela 3.3.3. Essa classificação permite uma comparação de dados de municípios com realidades mais próximas (BRASIL, 2016a).

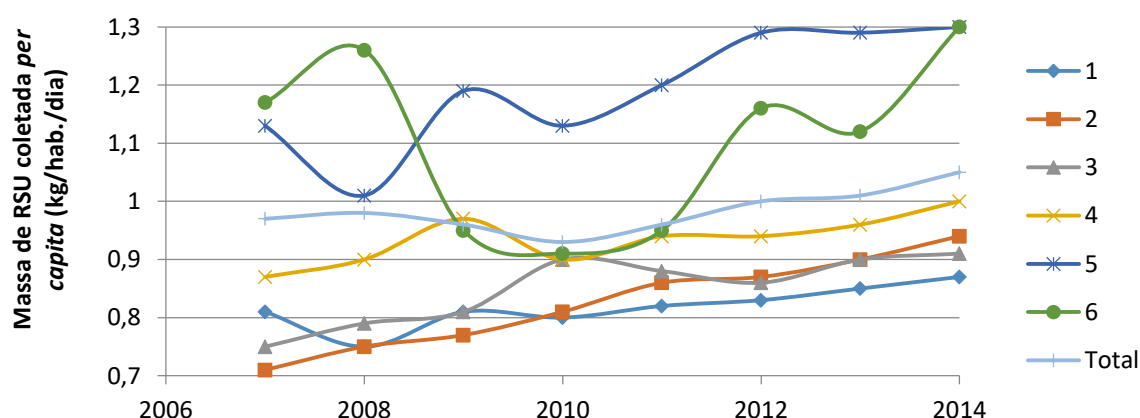
Tabela 3.3.3: Faixas populacionais dos municípios participantes do SNIS, segundo a população total.

Faixa	Intervalo da faixa	Municípios no Brasil		Municípios no ES	
1	Até 30 mil habitantes	4439	79,69%	54	69,23%
2	De 30.001 a 100.000 habitantes	831	14,92%	15	19,23%
3	De 100.001 a 250.000 habitantes	190	3,41%	5	6,41%
4	De 250.001 a 1.000.000 habitantes	93	1,67%	4	5,13%
5	De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	15	0,27%	-	0,00%
6	Acima de 3.000.001 habitantes	2	0,04%	-	0,00%
Total		5570	100%	78	100,00%

Fonte: Brasil (2016a, 2016b)

A massa coletada de RSD *per capita* em relação à população urbana dos municípios é um dos indicadores mapeados pelo SNIS, conforme apresentado na Figura 3.3.3 que foi elaborada com a base de dados das séries históricas do período de 2007 a 2014 (BRASIL, 2016b).

Figura 3.3.3: Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios.



Fonte: Brasil (2016b).

Nota: Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

A maior parte das informações sobre a quantidade de RSD informada ao SNIS é estimada pelos responsáveis municipais, já que o uso de balança para a pesagem rotineira dos resíduos se restringe a pouco mais de 30% do conjunto amostrado. No entanto, o SNIS também analisa esta informação de forma diferenciada, considerando apenas os municípios que tem balança e pesam seus resíduos, o que torna o dado mais confiável. A Tabela 3.3.4 apresenta o percentual de municípios que respondem ao SNIS que possuem balança por faixa populacional.

Tabela 3.3.4: Percentual de municípios que possuem balança por faixa populacional.

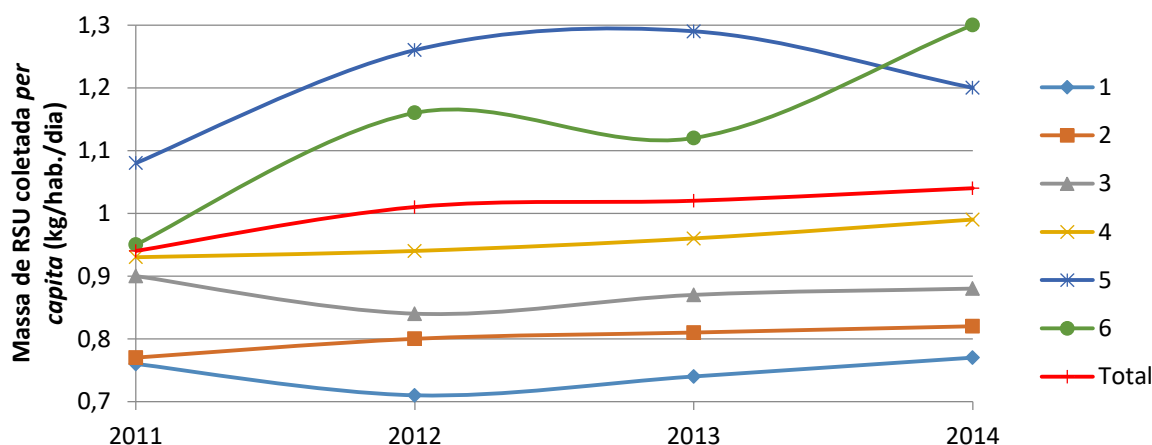
Faixa Populacional	2011	2012	2013	2014
1	21%	21%	21%	24%
2	39%	43%	43%	41%
3	74%	75%	75%	80%
4	88%	96%	96%	96%
5	86%	100%	100%	93%
6	100%	100%	100%	100%

Fonte: Brasil (2016b).

Nota: Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

Na Figura 3.3.4 são apresentados os valores da massa de RSD coletada *per capita* por faixa populacional, considerando apenas para os dados dos municípios que possuem balança.

Figura 3.3.4: Massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS que utilizam balança, segundo faixa populacional.



Fonte: Brasil (2016b).

Nota: Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

Antes de 2011 o SNIS não divulgava este indicador de forma sistematizada.

Observa-se um crescimento na massa de coleta de RSD *per capita* para todas as faixas, sendo que as faixas populacionais menores apresentam taxas menores, apenas com divergência para as faixas 5 e 6 no ano de 2014. O valor médio para o Brasil está acima dos valores observados para as faixas de 1 a 4. Desta maneira, assumir um único valor nacional para pequenos municípios pode levar a erros de superdimensionamento e gastos desnecessários frente a real demanda.

Em 2014, 59 dos 79 municípios do Espírito Santo responderam ao SNIS em relação a este item. O valor máximo respondido foi de 2,02 kg/hab./dia e o valor mínimo foi de 0,11 kg/hab./dia. Nesta edição de 2014, para o processamento e análise dos dados, foram admitidos

valores extremos de 0,10 kg/hab./dia a 2,71 kg/hab./dia. Portanto todos os municípios do ES foram considerados na análise desse indicador (BRASIL, 2016a, 2016b).

Outra informação importante para a projeção dos dados e proposição de cenários futuros é a evolução da taxa coletada *per capita* ao longo dos anos. A Tabela 3.3.5 apresenta a taxa de crescimento anual da massa coletada de RSU *per capita* em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, segundo faixa populacional, para os municípios que utilizam balança.

Tabela 3.3.5: Evolução das taxas da massa coletada de RSD em relação à população urbana dos municípios participantes do SNIS, que utilizam balança.

Faixa	2011	2012	2013	2014
1	-	-7%	4%	4%
2	-	4%	1%	1%
3	-	-7%	4%	1%
4	-	1%	2%	3%
5	-	17%	2%	-7%
6	-	22%	-3%	16%
Total	-	7%	1%	2%

Fonte: Brasil (2016b).

Nota: Elaborado com a base de dados dos SNIS de 2007 a 2014.

Antes de 2011 o SNIS não divulgava este indicador de forma sistematizada.

Considerando que no ES os municípios se encontram nas faixas populacionais de 1 a 4, e calculando a média dos percentuais de crescimento destas taxas para as faixas de 1 a 4, nos anos de 2013 a 2014, tem-se um valor de 2,6% ao ano.

Logo, neste estudo, são consideradas como valores de taxa de geração *per capita* de embalagens os valores referentes às taxas da massa coletada de RSU *per capita* apresentada pelos SNIS - 2014, por faixa populacional, considerando apenas os dados dos municípios que utilizam balança. Foi considerado o valor de 2,6% ao ano como a taxa de crescimento anual de geração de embalagens pós-consumo.

3.2 Centrais de triagem de resíduos - Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis

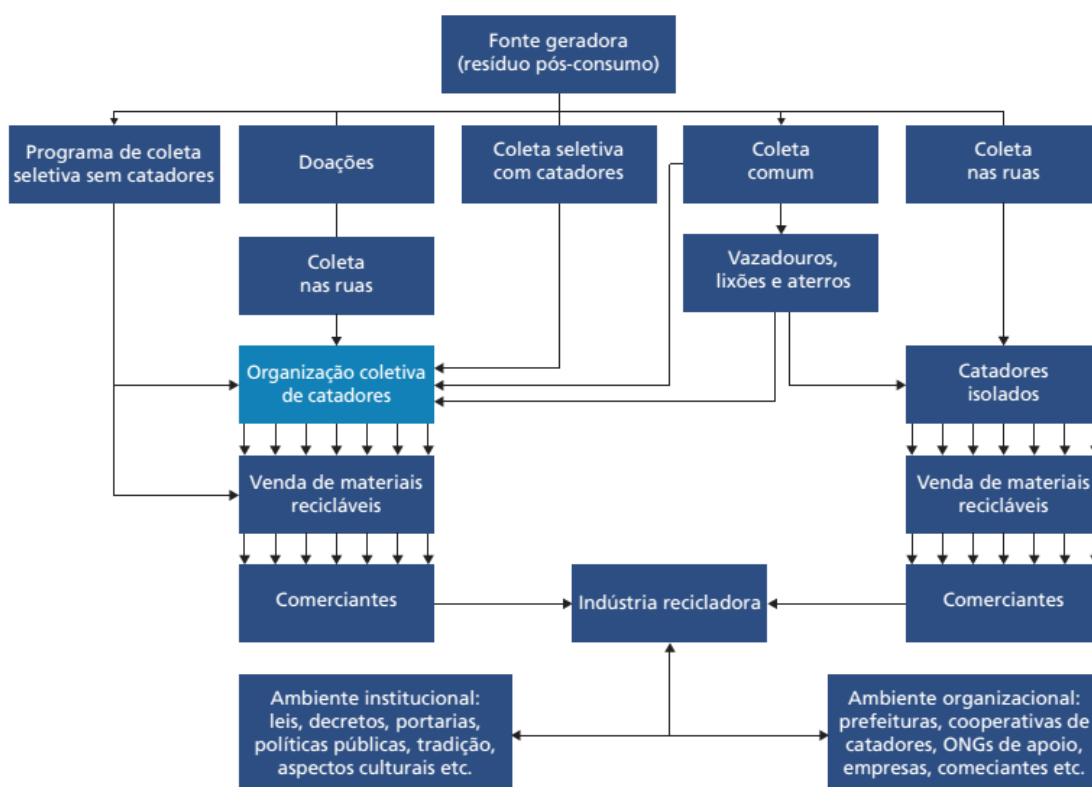
No contexto brasileiro existe a previsão legal, a partir da Lei 12.305/2010 de que os catadores de materiais recicláveis sejam incorporados aos SMCS e SLR, principalmente de embalagens em geral (BRASIL, 2010 a, 2010b). O grande desafio, no entanto, é profissionalizar e

melhorar a eficiência dos Centros de Triagem (CT) já operados por catadores, com ou sem parcerias das prefeituras municipais, ou mesmo criar novas organizações de catadores, de forma a absorver os resíduos coletados seletivamente pelo município ou pelos operadores dos SLR.

As Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) geralmente possuem infraestrutura e equipamentos para a pesagem, triagem, prensagem e armazenamento, sendo que algumas realizam coleta e transporte. Os materiais recicláveis geralmente comercializados são o papel, papelão, plástico, vidro, materiais ferrosos e não ferrosos, entre outros.

Na Figura 3.3.5 é apresentado um fluxograma da cadeia de valor reciclagem onde os catadores, de forma coletiva ou isolada, são fundamentais para o processo de restituição dos resíduos à indústria recicladora (IPEA, 2012b).

Figura 3.3.5: Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem.



Fonte: IPEA (2012b)

3.2.1 Infraestruturas

Os CT compõem-se de um conjunto de estruturas físicas edificadas como galpão de recepção e triagem de resíduos, galpão para armazenamento de recicláveis e unidades de apoio (escritório, almoxarifado, instalações sanitárias, vestiários, copa, cozinha, etc.), e em alguns casos, pátio de compostagem de resíduos orgânicos.

Os CT são locais onde ocorre a separação dos resíduos sólidos. Essa separação pode ser feita totalmente manual, semiautomática ou automática. O galpão de triagem normalmente é composto por uma prensa vertical, balança, esteira, fardos e empilhadeiras, sendo que todos os equipamentos devem seguir as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (VILHENA, 1999).

No entanto, com base na literatura consultada constata-se que ainda não há normas da ABNT e são poucas as recomendações técnicas para parâmetros a serem adotados em projetos de CT. O Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do manual "Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem" propôs recomendações técnicas para construção de galpões de separação de RSU (BRASIL, 2011). Foram abordados critérios desde o planejamento a operação, como:

- Fundação: adequação do terreno (verificando a legislação de uso do solo no local escolhido e as características hidrológicas) e a execução de sondagens no solo;
- Estruturas e disposição: preferência ao uso de materiais pré-fabricados de concreto e metal com ventilação necessária e utilização de mezanino para escritório, sanitários e vestiários, pequeno refeitório e outros espaços necessários;
- Instalações: o galpão deve ser composto de uma área de descarga, silo com área para armazenar um dia e meio a dois dias da coleta diária prevista, uma área para triagem primária e secundária, área para prensagem, uma para estoque dos fardos e expedição com capacidade para armazenar em média uma semana de cargas fechadas;
- Tipos de triagem e equipamentos: galpão de pequeno porte: em média 300 m² edificados, uma prensa enfardadeira com capacidade para 20 toneladas, uma balança com capacidade para 1.000 quilogramas e um carrinho plataforma. Galpões de porte médio: cerca de 600 m² edificados, equipamentos do galpão de pequeno porte, mais uma empilhadeira com

capacidade de 1.000 quilogramas; galpões de grande porte: cerca de 1200 m² edificadas, duas prensas e dois carrinhos, balança e empilhadeira;

- Instalações de apoio: podem ser localizadas em pavimento superior (mezanino) ou numa edificação anexa ao galpão, deixando-se o piso deste o mais livre possível para a realização das tarefas específicas de triagem e processamento dos materiais. Deve-se prever área suficiente para escritório, sanitário, vestiário e refeitório, de acordo com normas vigentes.

O MCidades ao publicar um Termo de Referência Técnico para elaboração do projeto básico e executivo completo de galpão/unidade de triagem para coleta seletiva, apresenta diretrizes gerais para seu dimensionamento (BRASIL, 2008). As Unidades de Triagem (UT) são escalonadas em quatro portes, com áreas específicas e destinadas à operação dos resíduos recicláveis, de acordo com os seguintes critérios:

- UT (1) - até 0,25 t/dia – área operacional do galpão de 55 a 75 m²;
- UT (2) - de 0,25 a 0,6 t/dia – área operacional do galpão de 80 a 100 m²;
- UT (3) - de 0,6 a 1 t/dia – área operacional do galpão de 180 a 200 m²;
- UT (4) - de 1 a 2 t/dia – área operacional do galpão de 400 a 450 m².

Na concepção do projeto arquitetônico dessa instalação, no dimensionamento dos espaços que a irão compor e na definição de suas inter-relações, deverão ser fundamentalmente consideradas etapas básicas do processamento como, recebimento e estocagem dos materiais a triar; triagem primária dos recicláveis e descarte de rejeitos inaproveitáveis; transporte interno dos materiais triados para a área de acondicionamento; retriagem (triagem secundária) de alguns materiais; condicionamento temporário de materiais triados; prensagem e enfardamento dos recicláveis triados; estocagem final dos fardos de recicláveis em pilhas; e transporte interno e carregamento dos fardos para expedição (BRASIL, 2008).

3.2.2 Operação

Estudos realizados por alguns autores sobre organizações associativas de catadores mostram que a comercialização é prioritariamente realizada por meio de aparistas e atravessadores sem relação direta com a indústria. Constatam também que a organização em rede favorece a melhoria na comercialização, como apresentado no Quadro 3.3.1.

Quadro 3.3.1: Organização logística de comercialização de materiais recicláveis.

Formas de organização logística das organizações associativas de catadores	Referências
Associação de Recicladores Esperança em Florianópolis, no ano de 2002, com apoio da prefeitura local e compradores comercializavam diretamente com aparistas, solucionando o conflito entre catadores e atravessadores e melhorando os preços da comercialização.	Bringhenti (2004)
Associações de Florianópolis organizadas em rede possuem maiores condições de comercialização diretamente para indústrias e facilidade de atendimento das exigências em relação à quantidade e qualidade de material.	Aquino, Castilho Junior e Pires (2009)
A estrutura da cadeia de reciclagem é piramidal. No topo encontram-se poucas indústrias de reciclagem, abaixo há os intermediários que articulam a rede de atravessadores e na base da pirâmide encontram-se os catadores. Quanto mais no topo da pirâmide, maior é o valor agregado ao produto.	Pepinelli (2011)
Cooperativa de Valorização de MR Cataparaná em Pinhais possui o objetivo de incluir o catador na cadeia de reciclagem, pois possibilita o acúmulo de material num grande galpão, o beneficiamento para agregar valor e venda diretamente para a indústria, e conseqüentemente o aumento da renda.	Cerqueira, Speck e Murata (2014)

3.2.3 Eficiência

A eficiência das organizações associativas de catadores tem sido medida por meio da produtividade na triagem e beneficiamento de resíduos. Neste sentido, alguns autores têm sugerido valores para produtividade. SEBRAE (2003) indica uma produtividade que varia de 150 kg/dia a 330 kg/dia, com a média de 225 kg/dia. Brasil (2008) e Brasil (2012) adotam indicadores de produtividade para catadores em galpão por atividade realizada, sendo coleta: 160 kg/dia; triagem: 200 kg/ dia e prensagem: 600 kg/dia. Esta produtividade é adotada por e IBAM (2012) nos Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para LR de embalagens.

Um estudo mais detalhado é apresentado por Damásio (2008, 2010), em pesquisa realizada em uma amostra de 83 unidades de trabalho de catadores de recicláveis distribuídas em todas as grandes regiões brasileiras, à exceção da região Norte. Os quatro degraus de eficiência identificados na pesquisa foram definidos conforme exposto a seguir.

- *Degrau 1 - alta eficiência:* grupos formalmente organizados, com prensas, balanças, carrinhos e galpões próprios, com capacidade de ampliar suas estruturas físicas e de equipamentos a fim de absorver novos catadores e criarem condições para implantar unidades industriais de reciclagem. Detêm elevados conhecimentos adquiridos, passíveis

de difusão. Neste degrau de eficiência, já estão aptas para a verticalização da produção de materiais recicláveis.

- *Degrau 2 - média eficiência:* grupos formalmente organizados, contando com alguns equipamentos, porém precisando de apoio financeiro para a aquisição de outros equipamentos e/ou galpões. Detêm algum conhecimento adquirido, e seriam os beneficiários imediatos da difusão de produtividade do degrau 1.
- *Degrau 3 - baixa eficiência:* grupos em organização, contando com poucos equipamentos, alguns de sua propriedade, precisando de apoio financeiro para a aquisição de quase todos os equipamentos necessários, além de galpões próprios. Eles detêm pouco capital e necessitam de forte apoio para treinamento e aprendizado. Estes grupos, em geral, sequer têm conhecimento dos meios e das fontes para solicitar financiamento e apoio técnico.
- *Degrau 4 - baixíssima eficiência:* grupos desorganizados, em ruas ou lixões, sem possuírem quaisquer equipamentos, e frequentemente trabalhando em condições de extrema precariedade para atravessadores e donos de depósitos. Faltam quase todos os conhecimentos, excetuando-se aqueles mais básicos referentes à coleta e à seleção de materiais. É necessário apoio financeiro para a montagem completa da infraestrutura e de equipamentos.

A Tabela 3.3.6 relaciona as eficiências físicas, em termo de produção mensal por catador, de acordo com os agrupamentos por degrau de eficiência sugerido por Damásio (2010).

Tabela 3.3.6: Eficiência física e econômicas de organizações associativas de catadores.

Produtividades relativas	Nº de organizações		Eficiência física (kg/catador.mês)		Eficiência econômica (R\$/catador.mês)	
			Média Simples	Desvio Padrão	Média Simples	Desvio Padrão
Alta eficiência	12	14%	2.311,9	490,9	855,60	209,86
Média eficiência	22	27%	1.592,1	501,7	504,55	152,68
Baixa eficiência	29	35%	957,9	326	313,68	118, 81
Baixíssima	20	24%	304	240,3	115,52	95,15

Fonte: Adaptado de Damásio (2010).

Observa-se que a produtividade utilizada pelos autores que tratam de dimensionamento de CT é superior a produtividade superior à média encontrada por Damásio (2010) até mesmo para a faixa de alta eficiência, pois considerando uma produção mês de 200 kg/dia em 26 dias de trabalho, teremos 5.200 kg/mês.

3.2.4 Custos de implantação e operação de CT

A mensuração de custos de implantação e operação de unidades de triagem no Brasil tem sido baseada em concepções definidas por Brasil (2008) e Brasil (2012) as quais indicam uma padronização em termos de área, obras, equipamentos e recursos humanos.

A base de cálculo para a definição do quantitativo de resíduos processados nestas unidades tem como pressuposto taxas de geração *per capita* da ordem de 0,8 kg/hab./dia (BRASIL, 2008; BRASIL, 2012; BNDES, 2013; IBAM, 2012). A Tabela 3.3.7 e Tabela 3.3.8 apresentam os custos de implantação e operação de CT, respectivamente.

Tabela 3.3.7: Custo de Implantação de Centrais de Triagem de Resíduos.

Pop. atendida	Área do galpão (m ²)	Capacidade (t/dia)	Custo unitário (R\$/t.dia)		Referência
			Data base do estudo	Atualizado para 2015	
20.000-30.000	300	1,00	29,615	47,75	Brasil (2008)
40.000-50.000	600	2,00	28,49	45,93	
75.000	1200	4,00	28,02	45,19	
30000	1000	1,94	64,71	83,75	IBAM (2012)
100000	1500	6,47	31,61	40,91	
250000	2500	16,19	21,15	27,38	
>30.000	-	1,00	33,00	42,71	BNDES (2013)
30.000-100.000	-	2,00	16,00	20,71	
100.000-250.000	-	16,00	17,00	22,00	
250.000-1.000.000	-	80,00	12,00	15,53	
>100.000	-	325,00	6,00	7,76	

Tabela 3.3.8: Custo de operação de Centrais de Triagem de Resíduos.

Pop atendida	Área do galpão (m ²)	Capacidade (t/dia)	Custo unitário (R\$/t.dia)		Referência
			Data base do estudo	Atualizado para 2015	
20.000-30.000	300	1,00	-	-	Brasil (2008)
40.000-50.000	600	2,00	-	-	
75.000	1200	4,00	-	-	
30.000	1000	1,94	292,39	364,03	IBAM (2012)
100.000	1500	6,47	252,59	314,48	
250.000	2500	16,19	232,38	289,33	
>30.000	-	1,00	490,00	552,27	BNDES (2013)
30.000-100.000	-	2,00	470,00	529,73	
100.000-250.000	-	16,00	500,00	563,54	
250.000-1.000.000	-	80,00	100,00	112,71	
>100.000	-	325,00	80,00	90,17	

3.3 Centrais de Valorização

O armazenamento dos materiais recicláveis por um período maior de tempo pode vir a permitir a otimização nos processos de comercialização dos materiais triados. Estes locais de armazenamento temporário são denominados neste estudo como CV.

As etapas de separação, triagem e enfardamento podem agregar valor aos materiais recicláveis. No entanto, as etapas posteriores de beneficiamento podem gerar maior renda para as OCMR. Este beneficiamento pode ser trituração, moagem, flocagem, entre outros. Para que possam atender diretamente às exigências das indústrias as mesmas devem ter condições de garantir quantidade, qualidade e regularidade do fornecimento, o que acaba sendo muitas vezes inviável pelas centrais de triagem, devido à falta de espaço para o armazenamento de grandes quantidades de materiais. Quando as associações e cooperativas não conseguem armazenar grandes volumes, pode ocorrer a venda de seus produtos a atravessadores por preços inferiores ao valor real de mercado (SOTO, 2011).

Para as CV deste estudo foi considerada a organização logística em rede, com recebimento de materiais advindos de CT participantes da SLR, objetivando a comercialização direta de seus produtos às indústrias recicladoras. O ganho principal propiciado pela CV é a oportunidade de melhoria de preço de comercializada pelo estoque de materiais. Nestas CV poderão também ser realizadas atividades de beneficiamento primário para agregação de valor aos materiais com melhoria no preço de venda e aumento do mercado. Neste caso, devem ser considerados os custos de implantação e operação referentes às estas atividades, bem como os custos referentes aos controles ambientais dos respectivos processos.

Para a escolha dos equipamentos utilizados nas CV deve-se analisar o mercado local de compradores de materiais recicláveis para avaliar quais tipos de beneficiamento agregam maior valor (MARTINS *et al.*, 2016).

Assim como centrais de triagem, as CV também precisarão de local de recepção (com depósito, banheiros, escritório e cozinha), depósitos e baias para estocar os materiais a serem comercializados. Em relação à estrutura indica-se a construção de galpão de materiais de concreto e metal, semelhante aos galpões de associações de triagem e deve haver baias em número suficiente para o armazenamento dos diferentes tipos de materiais recicláveis. Devem ser previstas áreas cobertas, adequadamente dimensionadas e equipadas para o

desenvolvimento das atividades de recepção, pesagem, armazenamento, beneficiamento e comercialização (MARTINS *et al.*, 2016).

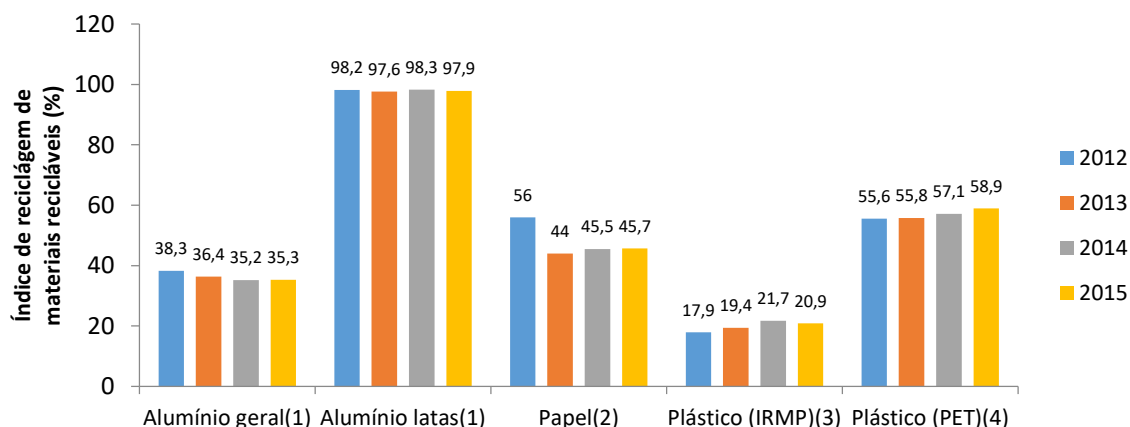
3.4 Mercado de reciclagem de resíduos

A cadeia produtiva de materiais recicláveis identifica um fluxo de processos, que após o consumo, funciona no sentido da reinserção destes em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, com o objetivo da redução de rejeitos, seja através da reutilização ou da reciclagem (IBAM, 2009).

O mercado da reciclagem tem como principais produtos as embalagens fabricadas a partir de plásticos, papéis, vidros e metais diversos, ocorrendo também produtos compostos como as embalagens conhecidas como “tetrapak” ou “longa vida”, dentre outros. Sendo que os três setores industriais que possuem considerável participação nas atividades de reciclagem no Brasil são o alumínio, o papel e o plástico.

A Figura 3.3.6 apresenta os índices de reciclagem para esses materiais, os quais mostram, de maneira geral, uma estabilidade no período analisado.

Figura 3.3.6: Índices de reciclagem do alumínio, papel e plástico.



Fonte: Adaptado ABRELPE (2015).

Nota: IRPM – Índice de Reciclagem Mecânica de Plásticos.

(1) ABAL - Associação Brasileira de Alumínio;

(2) BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel;

(3) ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria de Plástico;

(4) ABIPET - Associação Brasileira de indústria de PET.

3.4.1 Papel

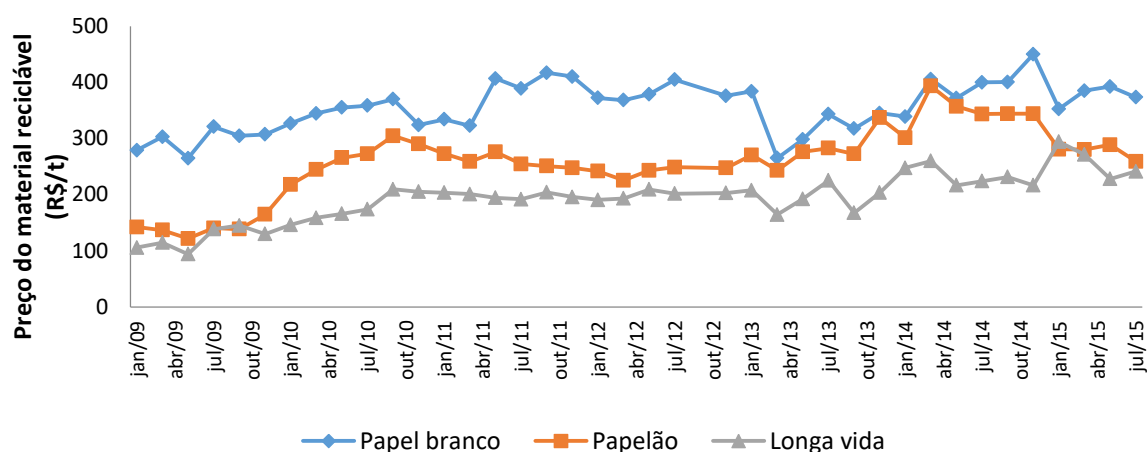
A reciclagem do papel significa fazer papel empregando como matéria-prima papéis, cartões, cartolina e papelões provenientes de sobras geradas no processo de fabricação destes materiais e de artefatos pré e pós-consumo (CEMPRE, 2010).

Observa-se uma tendência mundial para o aumento do consumo de papel reciclado e também da atividade de reciclagem do papel. Em alguns países, como a China, as taxas de consumo de papel reciclado são muito mais elevadas do que a própria atividade de reciclagem. Em outros países, tais como a França, o Japão e os Estados Unidos, a produção de material reciclado chega mesmo a ser superior ao consumo nacional desse material (VIDAL; HORA, 2011).

Como o processo de reciclagem do papel é função do tipo de papel a ser processado é necessária sua triagem nos diversos tipos de papeis (embalagens, papeis de imprimir e escrever, especiais, cartões e cartolinas, entre outros) o que torna as associações de catadores atores importantes no processo de reciclagem por fazerem exatamente essa segregação dos materiais. No Brasil a maior parte dos resíduos de papeis reciclados é utilizada na produção de novas embalagens (80%), papeis sanitários (18%) e impressão (2%) (VIDAL; HORA, 2011).

A Figura 3.3.7 apresenta uma série histórica do preço médio de venda de algumas tipologias de papel em algumas cidades do Brasil.

Figura 3.3.7: Valores médios de venda do papel branco, papelão, e embalagem longa vida.



Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

A Tabela 3.3.9 apresentam os valores médios de venda do papel branco, papelão e embalagem longa vida.

Tabela 3.3.9: Valores médios de venda do papel e embalagem longa vida (2009-2015).

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Papelão	Média (R\$/t)	139,84	268,48	259,56	241,24	280,00	348,15	276,63
	Desvio Padrão (R\$/t)	55,51	97,30	75,01	65,29	77,10	102,06	71,71
	N	74	79	91	85	64	54	38
Papel Branco	Média (R\$/t)	297,43	346,96	380,07	380,00	327,62	395,09	376,75
	Desvio Padrão (R\$/t)	137,99	141,31	159,37	176,55	105,76	125,11	99,06
	N	74	79	91	85	63	54	36
Embalagem longa vida	Média (R\$/t)	120,68	170,55	203,75	211,24	199,11	226,17	237,36
	Desvio Padrão (R\$/t)	49,67	81,83	94,41	82,41	83,56	78,87	126,22
	N	59	60	81	75	56	47	36

Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

3.4.2 Plástico

O consumo brasileiro de plástico gira em torno de 6,2 milhões de toneladas e cresce em média de 5% ao ano. Desse total, 26% são embalagens para indústria alimentícia; 15% são peças e produtos para uso na construção civil; 10% são utilidades domésticas e bens de consumo; 8% são embalagens para produtos de higiene e limpeza; 4% são destinados aos produtos utilizados no setor agrícola, como mangueiras, lonas, etc. (SINPLAST, 2011). O Quadro 3.3.2 apresenta os três tipos de reciclagem do plástico e seus respectivos conceitos.

Quadro 3.3.2: Tipos de reciclagem do plástico.

Tipos de Reciclagem	Conceito
Mecânica	É o método mais comum. Consiste em transformar os plásticos em pequenos granulados, que podem ser utilizados na produção de novos materiais, como saco de lixo, mangueiras, embalagens não alimentícias, peças de automóveis etc.
Química	Trata-se do modelo mais elaborado, que processa os plásticos para transforma-los em matéria-prima para a criação de produtos de elevada qualidade.
Energética	Consiste na tecnologia que transforma o plástico em energia térmica e elétrica, aproveitando, por meio da incineração, o poder calorífico armazenado neles. Além disso, esse tipo de reciclagem permite também que os plásticos sejam aproveitados como combustível.

Fonte: Adaptado Forlin e Faria (2002).

A reciclagem mecânica é o método de reciclagem mais utilizado, entretanto só pode ser realizado em produtos que possuem apenas um tipo de resina, quanto mais misturado e

contaminado, mais complicada se torna a reciclagem mecânica (FORLIN; FARIA, 2002). O Quadro 3.3.3 apresenta algumas possíveis destinações por tipologia de plástico.

Quadro 3.3.3: Destinação do plástico reciclado por tipologia.

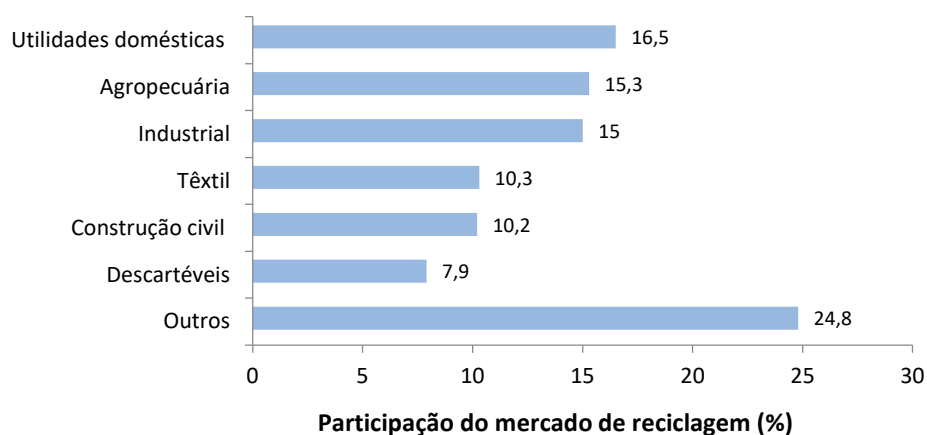
Tipo de plástico reciclado	Principal destinação
PET	Indústria têxtil;
PEBD e PEBDL	Agropecuária e construção civil
PEAD	Sacolas
PVC	Tubulações (água)

Fonte: Adaptado de Coltro *et al.* (2008).

Nota: PET – Politereftalato de etileno; PEBD – Polietileno de baixa densidade; PEBDL - Polietileno linear de baixa densidade; PEAD – Polietileno de Alta Densidade; PVC – Policloreto de Vinila.

No Brasil o mercado de consumo de plásticos reciclados é diverso como mostra a Figura 3.3.8.

Figura 3.3.8: Mercados consumidores do plástico reciclado em 2011 no Brasil.

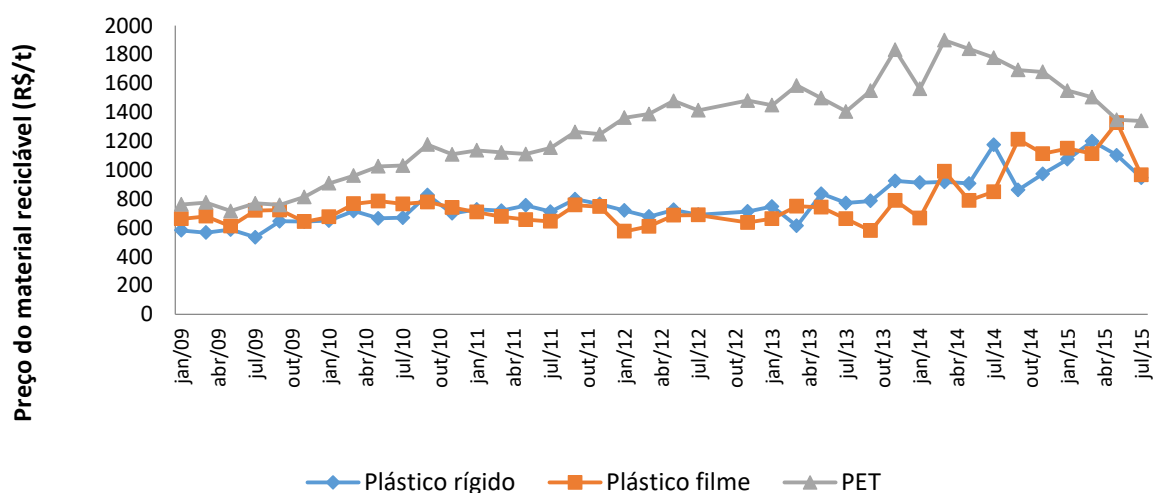


Fonte: Adaptado de Plastivida (2014).

Nota: Outros: Infraestruturas, limpeza doméstica, eletroeletrônico, automobilístico, móveis, brinquedos, calçados, materiais escolar/escritórios.

A Figura 3.3.9 apresenta o preço médio de venda de plástico em algumas cidades do Brasil.

Figura 3.3.9: Valores médios de venda do plástico rígido, plástico filme e PET.



Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

A Tabela 3.3.10 apresenta os valores médios de venda do plástico rígido, PET e plástico filme em algumas cidades brasileiras.

Tabela 3.3.10: Valores médios de venda de plástico (2009-2015).

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Plástico rígido	Média (R\$/t)	620,89	706,97	770,62	712,74	779,76	909,94	982,61
	Desvio Padrão (R\$/t)	278,44	264,18	316,16	300,20	288,86	480,45	410,28
	N	71	79	91	84	63	53	36
Plástico filme	Média (R\$/t)	651,37	719,34	704,10	637,05	667,46	908,07	1041,94
	Desvio Padrão (R\$/t)	277,01	255,38	293,21	258,84	295,65	325,54	342,47
	N	73	73	89	83	57	54	36
PET	Média (R\$/t)	701,35	893,16	1105,49	1318,59	1430,64	1608,42	1296,32
	Desvio Padrão (R\$/t)	183,19	311,62	424,71	420,11	392,67	379,23	412,62
	N	74	79	91	85	64	55	38

Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

3.4.3 Vidro

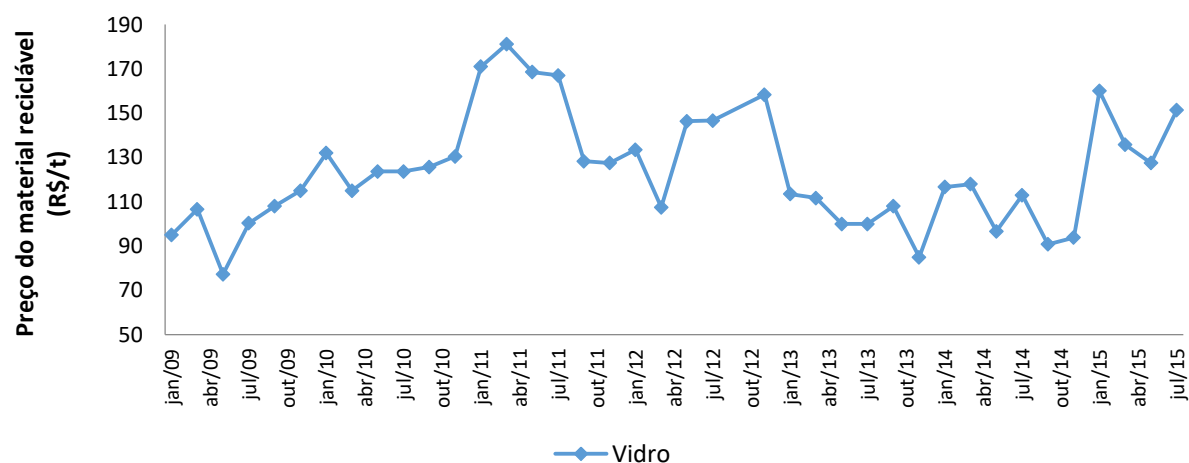
O vidro é 100% reciclável, não ocorrendo perda no processo de reciclagem. Entretanto alguns produtos de vidro não são recicláveis por conterem em sua composição elementos que impedem a reciclagem como, espelhos, ampolas de medicamentos, entre outros. (CEMPRE, 2010). Para municípios localizados próximos às fabricas de vidro, a melhor forma encontrada para a reciclagem é quebrá-los e vende-los na forma de cacos diretamente para as fábricas. Já

para municípios distantes das fábricas os vidros podem ser vendidos na forma de cacos para outras funcionalidades como (CEMPRE, 2010):

- Material de enchimento;
- Material abrasivo;
- Matéria-prima para fitas cerâmicas;
- Fabricação de tijolos de vidro;
- Fabricação de microesferas de vidro; e
- Entre outros.

A Figura 3.3.10 apresenta os valores médios de venda do vidro incolor.

Figura 3.3.10: Valores médios de venda do vidro incolor.



Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

A Tabela 3.3.11 apresenta os valores médios de venda de vidros em cidades brasileiras.

Tabela 3.3.11: Valores médios de venda de vidros (2009-2015).

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Vidro	Média (R\$/t)	94,37	141,23	151,69	129,60	94,80	91,12	123,17
	Desvio Padrão (R\$/t)	46,26	108,81	139,66	67,77	48,86	63,10	86,33
	N	57	66	80	75	49	41	30

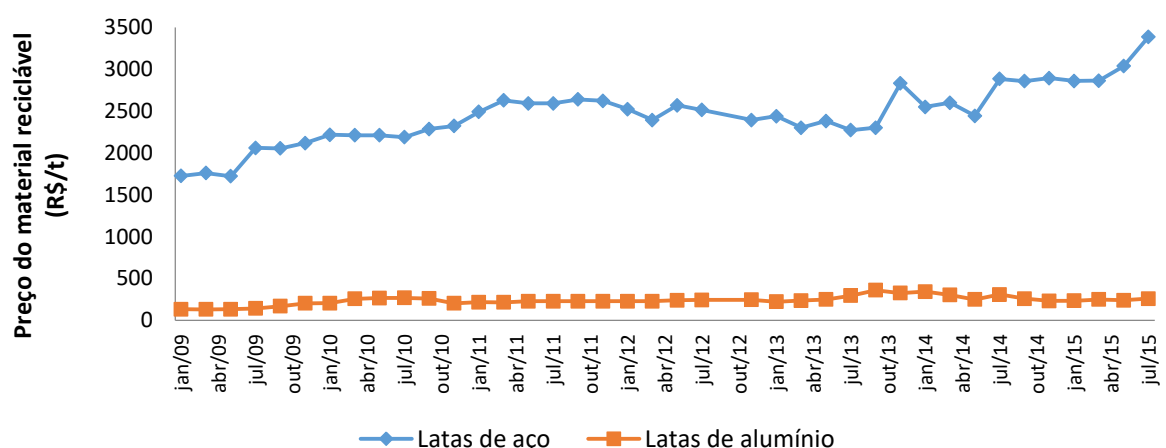
Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

3.4.4 Metal

Segundo a CEMPRE (2010) a maior parte dos metais presentes nos RSU é aquela proveniente de embalagens, principalmente as alimentícias, como latas e tampas de recipientes de vidro. Em menor quantidade, encontram-se no resíduo urbano metais provenientes de utensílios e equipamentos como panelas, esquadrias, peças de eletrodomésticos, etc.

Um fator que impulsiona o mercado de sucatas metálicas é o fato que seu uso economiza uma grande quantidade de energia que seria necessária no uso de metais primários. Segundo o CEMPRE (2010), consome-se 20 vezes mais energia para processar alumínio primário e 3,7 vezes mais para processar o aço quando comparados com o gasto utilizando-se materiais reciclados. A Figura 3.3.11 apresenta os valores médios de venda de latas de aço e alumínio em algumas cidades do Brasil.

Figura 3.3.11: Valores médios de venda de latas aço e alumínio.



Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

A Tabela 3.3.12 apresentam os valores médios de venda de latas de alumínio e latas de aço em algumas cidades brasileiras.

Tabela 3.3.12: Valores de venda das latas de aço e latas de alumínio (2009-2015).

Material	Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Latas de aço	Média (R\$/t)	153,65	232,36	233,26	250,39	255,00	259,31	228,94
	Desvio Padrão (R\$/t)	81,32	94,32	82,04	80,40	115,60	92,04	85,68
	N	74	72	86	77	60	51	35
Latas de alumínio	Média (R\$/t)	1772,86	2130,14	2510,99	2448,47	2375,71	2646,36	2953,19
	Desvio Padrão (R\$/t)	459,02	295,19	384,84	287,19	376,00	535,66	651,81
	N	70	73	91	85	63	55	36

Fonte: Base de dados CEMPRE (2016).

4 METODOLOGIA

Este Capítulo refere-se à Etapa 3 da pesquisa e consiste na coleta de dados utilizados como parâmetros de entrada para o modelo matemático. A pesquisa de campo foi realizada no Estado do Espírito Santo no período de 15 de março de 2015 a 15 de dezembro de 2015 e foi dividida em sete fases. Quando não foi possível se obter os dados reais em campo, ou quando os dados se mostraram muito frágeis, foram utilizados dados da literatura.

Os dados coletados foram tabelados, para realização de análise estatística descritiva, teste de hipóteses utilizando o Software Statistica 10. Posteriormente estes dados foram exportados para o ArcGis 10.1, onde foram elaborados mapas temáticos

As Fases 2 e 3 desta Etapa 3 foram realizadas juntamente com apoio e participação do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (LAGESA/UFES).

4.1 Fase 1: Estimativa de dados sobre geração das embalagens pós-consumo no Espírito Santo

Para a estimativa do quantitativo de embalagens pós-consumo gerado no ES, foram assumidas algumas premissas descritas a seguir:

4.1.1 Local de geração

Para este estudo foi considerando que os SLR de embalagens têm como ponto de partida os Pontos de Entrega Voluntária (PEV) que são utilizados pelo consumidor/gerador para entrega voluntária das embalagens pós-consumo. No entanto, a localização dos PEV, e as rotas de coleta não fazem parte deste estudo. Foi considerado que as embalagens, após coletadas nos PEV, convergirão para um ponto comum, denominado Ponto de Geração (PG). O PG de cada município tem com coordenada geográfica a sede municipal, definida utilizando a Base de dados do IBGE, por meio dos arquivos Shapafiles (IBGE, 2014).

4.1.2 Quantidade gerada

Para o cálculo do quantitativo de embalagens pós-consumo gerada em cada município, foram levantados dados sobre a população, taxa de geração *per capita* e composição gravimétrica.

4.1.2.1 População

Para o cálculo da população de cada município foi considerada a população medida no censo 2010 (IBGE, 2012), atualizada para 2015 com base nas Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TMGCA) propostas para as microrregiões do ES por Brasil *et al.* (2013). As TMGCA das microrregiões foram aplicadas aos municípios que as compõem.

Para mensurar a quantidade de resíduos que chegam aos SLR foi considerada apenas a população urbana do município. O cálculo da população urbana considerou os percentuais estimados pelo censo 2010 do IBGE (2012).

4.1.2.2 Taxa de geração *per capita*

Para este estudo foi considerado que a quantidade de embalagem pós-consumo gerada é a parcela de recicláveis dos RSD. O que leva a um valor superestimado, visto que nos materiais recicláveis também se encontra materiais que não são embalagens. Para o cálculo deste quantitativo foi considerada como Taxa de Geração *Per Capita* (TGP) de RSD a massa coletada de RSD *per capita* do SNIS ano Base 2014, por faixa populacional, considerando apenas os municípios que pesam seus resíduos (BRASIL, 2016a, 2016b).

Além disso, os valores de TGP foram corrigidos para o ano de 2015 utilizando uma taxa de crescimento anual *per capita* no valor de 2,6% ao ano, obtido a partir da média dos percentuais de crescimento das taxas da massa coletada de RSD *per capita* em relação à população urbana para as faixas de 1 a 4, nos anos de 2013 a 2014, conforme já apresentado na Tabela 3.3.5. Portanto, são utilizados os valores de TGP por faixa populacional conforme Tabela 3.4.1

Tabela 3.4.1: Taxa de geração *per capita* por faixa populacional

Faixa	Intervalo da faixa	TGP geral	TGP c/ balança	TGP projetada c/ balança			
		2014		2015	2020	2025	2030
1	Até 30 mil habitantes	0,87	0,77	0,79	0,90	1,02	1,16
2	De 30.001 a 100.000 habitantes	0,94	0,82	0,84	0,96	1,09	1,24
3	De 100.001 a 250.000 habitantes	0,91	0,88	0,90	1,03	1,17	1,33
4	De 250.001 a 1.000.000 habitantes	1,00	0,99	1,02	1,15	1,31	1,49
5	De 1.000.001 a 3.000.000 habitantes	-	-	-	-	-	-
6	Acima de 3.000.001 habitantes	-	-	-	-	-	-

Nota: TGP : Taxa de Geração *Per Capita*.

4.1.2.3 Composição gravimétrica

Para este estudo foram considerados os quatro principais grupos de materiais que compõem as embalagens pós-consumo: plástico, papel, metal, e vidro. Apesar de a comercialização desses materiais ser realizada a partir da reclassificação que sofrem durante o processo de triagem, foi realizada esta simplificação para efeitos de avaliação do modelo matemático. Para este estudo foi utilizada o percentual de materiais recicláveis do PLANARES, aplicado uma taxa de rejeitos de 16,7% para cada material (IPEA, 2012a). A Tabela 3.4.2 apresenta as composições gravimétricas utilizadas no modelo logístico proposto.

Tabela 3.4.2: Composição gravimétrica dos materiais recicláveis utilizada na aplicação do modelo matemático.

Composição	Papeis	Plásticos	Vidros	Metais	Rejeitos
ES ^(a)	42,7	19,1	11,1	4,3	22,9
PLANARES ^(b)	41,1	42,3	7,5	9,1	16,7 ^(c)
Valor adotado ^(d)	34,2	35,2	6,2	7,6	16,7

Nota:

(a) Os valores dos estudos do ES foram obtidos por meio da média simples dos resultados obtidos nos estudos de Laignier (2001), Morigaki (2003), Bringhenti *et al.* (2009) e Bassani (2011);

(b) Os dados do Brasil foram os publicados no Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) (IPEA, 2012a) e no Estudo de Viabilidade Técnica e econômica para embalagens pós-consumo - EVTE (IBAM, 2012).

(c) Taxa de rejeitos para o total de resíduos. Este valor foi aplicado a cada parcela de matérias resultando nos percentuais adotados neste estudo.

(d) Valor corrigido em relação ao do PLANARES com a retirada de 16,7% de rejeito.

4.1.3 **Taxa de retorno de embalagens para o SLR**

Considerando que o Acordo Setorial de embalagens pós-consumo, firmado em 25 de novembro de 2015 e publicado no Diário Oficial da União Nº 227, em 27 de novembro de 2015 não apresenta metas para eficiência do SLR, o modelo foi aplicado para taxa de retorno de 5%, 20%, 40% e 60% (FERRI *et al.*, 2015).

4.2 **Fase 2: Levantamento de dados sobre os locais candidatos a CT**

Para este estudo foi considerado que as OCMR existentes no ES são os locais candidatos à localização de CT. Estas OCMR já realizam a triagem de RSU advindos da coleta seletiva municipal, doação de empresas e catação nas ruas. Neste sentido, o modelo logístico para o SLR de embalagens atende à exigência legal, definida na Lei 12.305/2010, de que os catadores sejam inseridos nos SLR.

Inicialmente foi realizado um levantamento de informações quanto à existência de OCMR junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IEMA), Cáritas - ES, Agência de Desenvolvimento do Estado do Espírito Santo (ADERES) e Instituto Sindimicro.

Este levantamento resultou na identificação de 69 registros sobre a existência de organizações associativas de catadores localizadas em 57 dos 78 municípios do ES. Destes 69 registros, foram confirmadas que 54 operavam efetivamente em 2015. Esta confirmação ocorreu por meio de contato telefônico direto com as organizações; informações do Instituto Sindimicro que realizava visita de campo de forma rotineira às associações participantes do projeto e questionamentos junto às secretarias municipais de meio ambiente dos municípios do ES.

Para as 54 associações/cooperativas de catadores que se encontravam em operação, foi elaborado um questionário para levantamento de dados quantitativos sobre resíduos coletados, triados e comercializados e sobre a infraestrutura dos galpões de triagem. Este questionário foi aplicado em parcerias um grupo de pesquisa do Departamento de Engenharia Ambiental do LAGESA/UFES -, e o Instituto Sindimicro.

O questionário foi aplicado em 35 das 54 organizações, totalizando 64,3%. O questionário foi aplicado de forma presencial em 30 associações e cinco por telefone. Não foi possível aplicar os questionários nas demais associações por dificuldades logísticas. O questionário é apresentado no Apêndice B.

4.3 Fase 3: Levantamento de dados sobre os locais candidatos a CV

Para a localização de áreas candidatas a CV foram analisadas 19 áreas que fazem parte do projeto “ES sem Lixão”. Estas áreas foram escolhidas pelo Governo do Estado do ES para construção de 17 Estações de Transbordo (ET) e duas Centrais de Tratamento e de Disposição Final de RSU (CTDR) regionais. Também foram consideradas cinco áreas que são licenciadas como CTDR privadas existentes no estado. O que totalizada 24 áreas.

Estas áreas foram escolhidas como candidatas hipotéticas a CV, pois todas já foram avaliadas quanto aos critérios técnicos e ambientais, inclusive de acesso para caminhões. Todas as áreas já possuem licenças ambientais para atividades de transbordo, ou CTDR, que tem impactos semelhantes e superiores a uma CV.

Para levantamento de dados sobre estas áreas, foram consultados os processos de licenciamento ambiental do IEMA (IEMA, 2015) e Publicações do Diário Oficial do ES (DIO-ES, 2015). Os dados analisados foram referentes à localização, à abrangência, às capacidades de projeto, às áreas totais e úteis ainda não ocupadas. As localizações destas áreas já contavam com coordenadas utilizando o Sistema Projetado de coordenadas UTM WGS 84/24S. Estes dados foram exportados para o ArcGis 10.1, permitindo uma melhor visualização das informações das áreas em estudo.

4.4 Fase 4: Levantamento de dados sobre empresas receptoras de resíduos

4.4.1 Empresas Recicladoras

Foi realizado um levantamento de informações quanto à existência de empresas recicladoras no estado do ES junto ao Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do ES (IEMA), órgão do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) responsável pelo licenciamento das atividades de reciclagem e beneficiamento de resíduos e disposição final de rejeitos no ES, e junto aos municípios que municipalizaram o licenciamento ambiental.

Junto ao IEMA foram identificados 88 empreendimentos com licença ou em fase de licenciamento, cuja atividade cadastrada era reciclagem de resíduos/ beneficiamento de resíduos. Para 18 municípios que realizavam o licenciamento em 2015, foram solicitadas as mesmas informações. No entanto, apenas seis municípios encaminharam as informações.

Foram consultados os bancos de dados de três organizações não governamentais que disponibilizam seus dados em sites na internet: ABIPLAST (2015), CEMPRE (2015) e Rota da reciclagem (2015), conforme apresentado na Tabela 3.4.3.

Tabela 3.4.3: Base da dados consultadas sobre empresas recicladoras no ES.

Fonte	Nº de empresas
ABIPLAST (2015)	5
CEMPRE (2015)	21
Rota da Reciclagem (2015)	42
IEMA ^(a)	88
Municípios ^(b)	6
Total	162

Nota:

(a) Informação cedida pela Gerência de Qualidade Ambiental do IEMA.

(b) Informação decidida pelos municípios que realizam o licenciamento ambiental.

Após a junção das informações das diferentes fonte e refinamento dos dados foram identificadas 89 empresas com possibilidade de exercer a atividade de reciclagem de resíduos.

Para avaliar os tipos de atividades realizadas por estas empresas, bem como sua capacidade produtiva, foi elaborado e aplicado um questionário. Previamente ao envio do questionário, houve contato telefônico com objetivo de obter o endereço eletrônico para envio do questionário, bem como explicar sobre a pesquisa. O detalhamento do levantamento das informações é apresentado na Tabela 3.4.4.

Tabela 3.4.4: Detalhamento dos levantamento de dados sobre as empresas recicladoras de resíduos no ES.

Aplicação do questionário	Nº de empresas
Empresas com contato telefônico	48
Aceitaram responder o questionário (questionário enviado)	34
- Responderam ao questionário	20
- Não responderam ao questionário	14
Não quiseram participar da pesquisa (não foi enviado questionário)	5
Empresas que não trabalhavam com resíduos (não foi enviado questionários)	9
Empresas que não foi possível contato telefônico	41
Total de empresas após junção de banco de dados	89

Na Tabela 3.4.5 são apresentadas as informações quanto aos motivos para impossibilidade de contato telefônico com as empresas identificadas como possíveis recicladoras de resíduos.

Tabela 3.4.5: Motivos para impossibilidade de contato telefônico.

Motivos registrados quando não foi possível o contato telefônico	Nº de empresas
Não atendeu às ligações	11
Caia na Caixa Postal	1
Número errado	9
Número não existente	19
Sem número no cadastro	1
Total	41

Foi possível realizar contato telefônico com apenas 48 empresas, sendo que 34 se disponibilizaram a participar da pesquisa, 9 informaram que não trabalham mais com reciclagem e 5 não aceitaram participar da pesquisa.

Um questionário foi elaborado e aplicado as 34 empresas que se disponibilizaram a participar da pesquisa, para o levantamento de dados quantitativos sobre a localização, materiais

comercializados pelas empresas e sobre a infraestrutura atual. Vinte questionários foram respondidos, o que representa 58,8% da amostra. No entanto, algumas empresas representativas não responderam ao questionário.

O questionário foi aplicado por meio de contato telefônico e posterior envio de correspondência eletrônica com um *Survey*, desenvolvido no aplicativo do *Google*. O questionário é apresentado no Apêndice B.

4.4.2 Aterros Sanitários

Neste estudo, é considerado como local de destinação ambientalmente adequada de rejeitos apenas os devidamente licenciados pelo órgão ambiental responsável. Foram identificados oito CTDR que operam com Aterros Sanitários (AS), sendo que cinco possuem Licença de Operação (LO), dois estão em fase de Licença de Instalação (LI) e um de Licença Prévia (LP), incluindo os dois aterros do Projeto "ES sem Lixão".

4.5 Fase 5: Levantamento dos custos logísticos

Nesta fase foi realizado um levantamento de dados primários e secundários sobre os custos da cadeia de logística reversa de embalagens pós-consumos, incluindo os custos de instalações dos CT e CV, os custos para disposição de rejeitos, bem como os custos de transporte entre os nós da rede do modelo, sendo estas: PG até CT, CT até CV, CV até ER e CT até AS.

As informações disponíveis sobre os custos logísticos para manejo de resíduos apresentam, em sua maioria, alguma defasagem temporal, sendo provável que os valores não sejam mais os mesmos, ou ainda que as datas de publicações apresentem-se diferentes, o que dificulta a comparação dos resultados. Dessa forma, optou-se por fazer uso de um método de correção dos valores monetários defasados, utilizando o Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA), Tabela 3.4.6.

Tabela 3.4.6: Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) de 2008 a 2015.

Ano	IPCA	Ano	IPCA
2008	5,90%	2012	5,83%
2009	4,31%	2013	5,91%
2010	5,90%	2014	6,40%
2011	6,50%	2015	8,52%

Fonte: IBGE (2015).

4.5.1 Custo de implantação e operação dos CT e das CV

Para a obtenção dos custos de implantação dos CT e das CV foram analisados alguns estudos como Brasil (2011), Brasil (2008), IBAM (2012), ABRELPE (2015) e BNDES (2013). Foram elaboradas planilhas de composição de custos, com coleta de preços de mercado quando não encontrado em literatura. Para os custos de manutenção das estruturas foram assumidos como premissa uma vida útil de 20 anos. Para os custos de manutenção dos equipamentos uma vida útil de 10 anos. Para a mão de obra foram considerados o valor de um salário mínimo e os encargos de Instituto Nacional do Seguro Social (INSS), férias e décimo terceiro. O que difere dos estudos consultados, que considera a renda do catador como sendo o rateio da receita obtida com a venda dos materiais.

4.5.2 Custos de transporte de embalagens pós-consumo

Para o cálculo do custo de transporte entre os nós da rede foi considerado o Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação (INCT-L) de dezembro de 2015. O INCT - L mede a evolução de todos os custos da carga fracionada, incluindo transferência, administração, gerenciamento de riscos e custo valor o qual é elaborado pela Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística (NTC) (NTC, 2015). A Tabela 3.4.7 apresenta dos custos de médio de transporte de carga lotação para o mês de dezembro de 2015.

Tabela 3.4.7: Índice Nacional de custos de transporte de carga lotação - Dez 2015.

Percurso	Faixa	R\$/t	R\$/t.km
Muito Curto	0-50	56,65	1,13
Curto	51-400	109,2	0,27
Médios	401-800	171,84	0,21
Longos	801-2400	407,36	0,17
Muito Longos	2401-6000	926,01	0,15

Fonte: NTC (2015).

4.5.2.1 Taxa de cubagem

As tarifas por tonelada são calculadas levando-se em conta cargas cuja densidade permita ao veículo completar o seu limite de peso bruto antes que se esgote a sua capacidade volumétrica. Caso a densidade seja menor, o veículo completa sua lotação volumétrica antes que sua capacidade em peso seja alcançada. Portanto, cargas de baixa densidade, que lotam a carroçaria antes de completar o limite de peso, sofrerão acréscimo no frete-peso. O

Coeficiente de Acréscimo de Cubagem (CAC) é multiplicado pelo valor do frete normal, quando necessário (NTC, 2015).

Portanto, os custos de transporte foram obtidos conforme o INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). A densidade considerada para os materiais transportados de PG e CT foi de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), entre CT e CV e entre CV e ER; de 200 kg/m^3 (BRASIL, 2008) e de 230 kg/m^3 para o rejeito transportado para os AS (IBAM, 2009). Desta forma os CAC adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

4.5.2.2 Matrizes de distâncias

As coordenadas geográficas UTM dos nós da rede foram utilizadas para calcular as matrizes de distâncias utilizadas no modelo logístico. As distâncias retas foram acrescidas de 10% conforme metodologia adotada por Ferri *et al.* (2015).

4.5.3 **Custo de disposição final dos rejeito**

As informações referentes aos custos de disposição final de rejeitos são escassas nas pesquisas existentes no Brasil. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico realizadas pelo IBGE, cujo levantamento mais recente data de 2008, não faz esta avaliação (IBGE, 2010). A pesquisa da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), publicada anualmente, apresenta apenas com o indicador “despesas municipais anuais com coleta e demais serviços de limpeza urbana”, sendo que os demais serviços de limpeza urbana compreendam, além das despesas com a disposição final dos RSU, os gastos com serviços de varrição, capina, limpeza e manutenção de parques e jardins, limpezas de córregos etc. (ABRELPE, 2015).

Assim, para o levantamento dos custos com a disposição final dos resíduos de embalagem foi utilizada a base de dados do SNIS para os RSU. Para construção do modelo logístico foram considerados os valores médios praticados no ES para o ano de 2014 (BRASIL, 2016b).

4.6 Fase 6: Levantamento das receitas previstas com a comercialização de materiais reaproveitáveis

Para os preços de venda dos materiais foram considerados os obtidos a partir do levantamento realizado junto as organização associativas de catadores de materiais reaproveitáveis do ES.

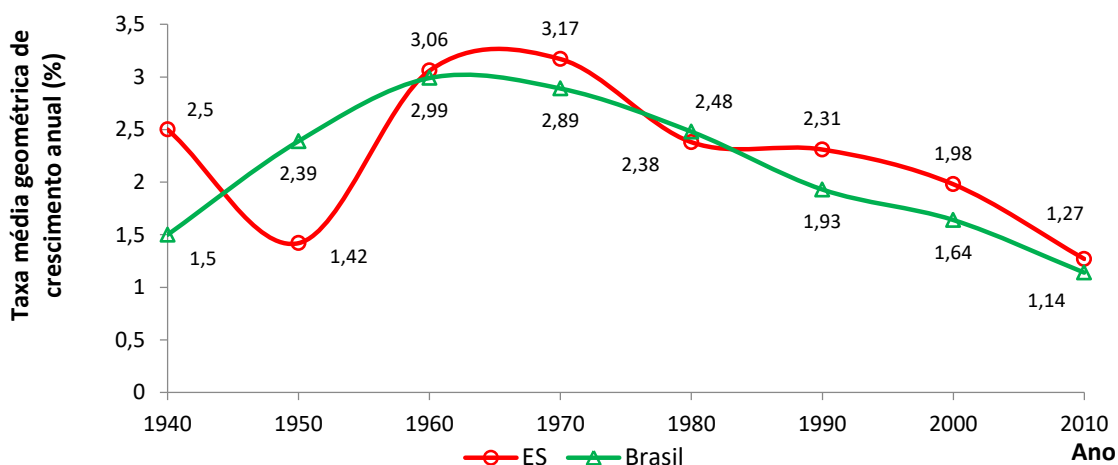
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Caracterização da área de estudo - estado do Espírito Santo (ES)

O Estado do Espírito Santo (ES) situa-se na Região Sudeste do país e constitui-se no menor e menos populoso estado da região. Com população de 3.514.952 habitantes, o estado ocupa uma área de 46.098,1 km² e apresenta densidade demográfica de 76,2 hab./km² (IBGE, 2012).

Desde 1960 o crescimento populacional do ES, medido pela Taxa Média Geométrica de Crescimento Anual (TMGCA) tem sido ligeiramente superior ao da média brasileira, conforme a Figura 3.5.1. A participação da população tem ficado em torno de 1,81% da população brasileira desde o censo de 1990 (BRASIL *et al.*, 2013).

Figura 3.5.1: Evolução da taxa média geométrica de crescimento anual do Espírito Santo e do Brasil (1940-2010).



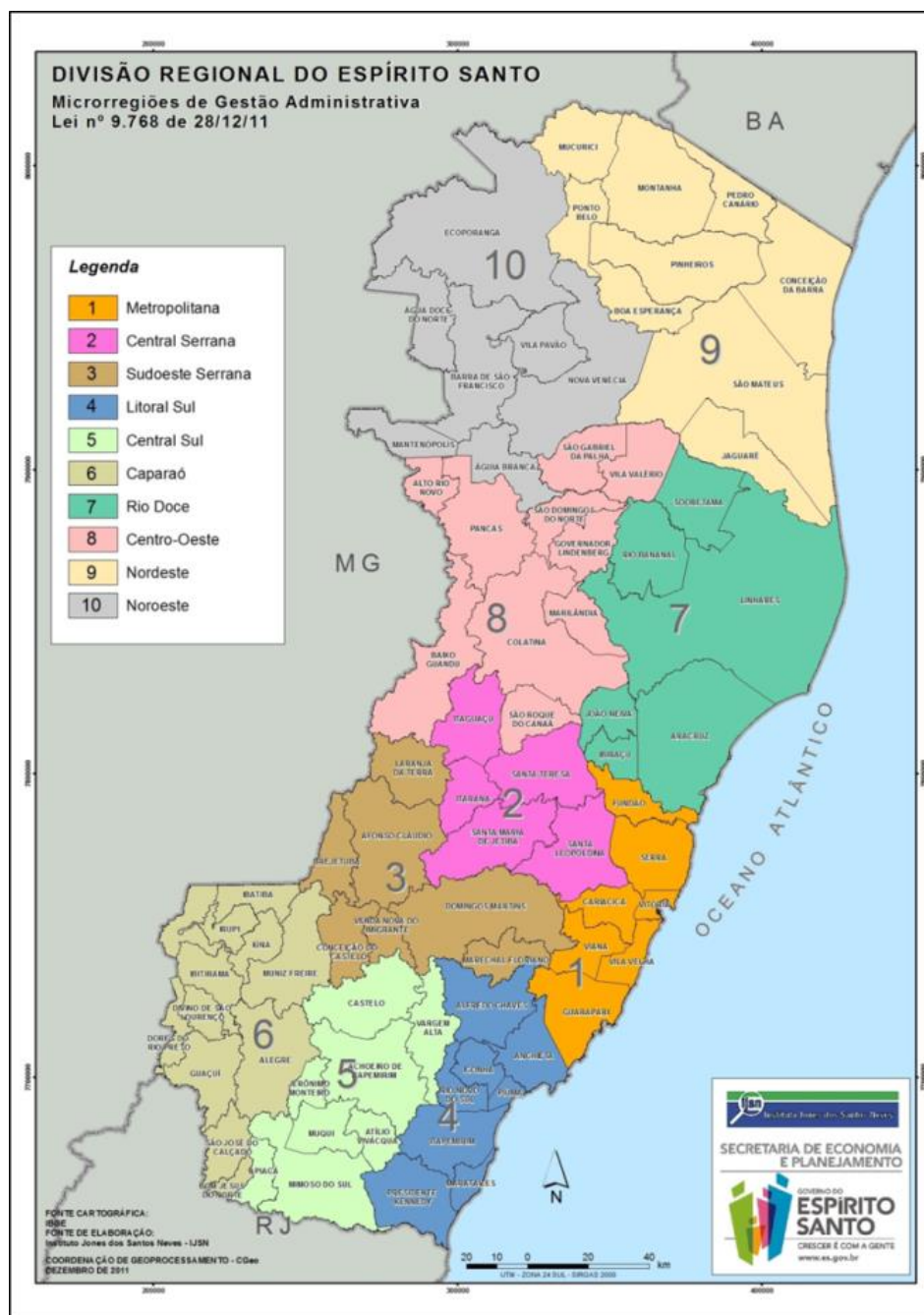
Fonte: Adaptado de Brasil *et al.* (2013)

O Estado do ES é dividido territorialmente em 10 microrregiões de planejamento, conforme a Lei 9.768 de 28/12/2011. Estas 10 microrregiões, por sua vez, são agrupadas em quatro macrorregiões (ESPÍRITO SANTO, 2011), sendo elas:

- Macrorregião Metropolitana, que compreende as microrregiões 1, 2, e 3;
- Macrorregião Norte, que agrega as microrregiões 9 e 10;
- Macrorregião Central, que agrega as microrregiões 7 e 8;
- Macrorregião Sul, que agrega as microrregiões 4, 5 e 6.

A Figura 3.5.2 apresenta a divisão microrregional do Estado do ES.

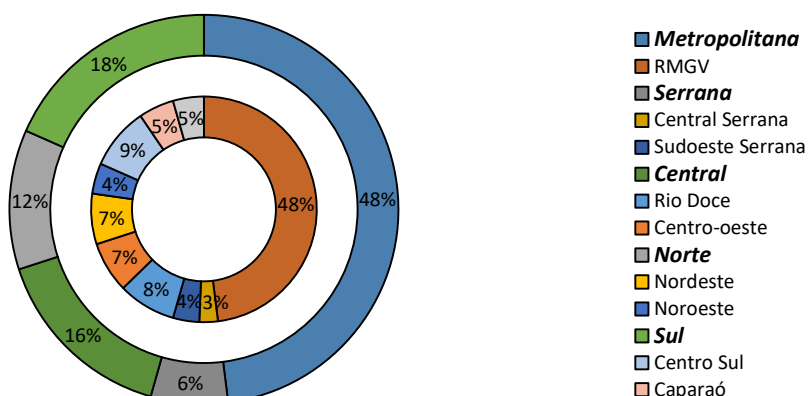
Figura 3.5.2: Divisão regional do Espírito Santo.



Fonte: IJSN (2015).

Neste estudo a macrorregião Metropolitana foi analisada de forma segregada em Metropolitana e Serrana, onde a Metropolitana compreende a Região Metropolitana da Grande Vitória (RMGV) e a Serrana compreende a Central Serrana e Sudoeste Serrana. A RMGV representava, em 2010, 48,1% da população do Estado, mas tem apenas 5,1% de sua área (IBGE, 2012). A participação percentual da população das macro e microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo é apresentada na Figura 3.5.3.

Figura 3.5.3: Participação percentual da população das microrregiões em relação ao estado do Espírito Santo em 2010.

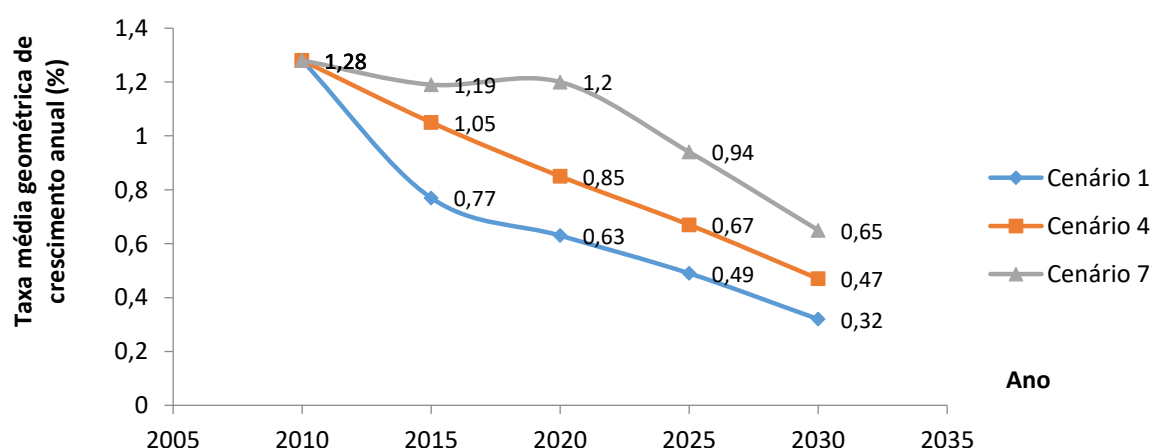


Fonte: Adaptado de Brasil *et al.* (2013).

5.1.1 Previsão de crescimento populacional no Espírito Santo

A análise do crescimento populacional é de grande importância para o estudo do gerenciamento de resíduos sólidos, visto que a geração de resíduos está sempre relacionada com a população. No estudo realizado por Brasil *et al.* (2013), foram elaborados sete cenários de crescimento populacional para todo o ES de acordo com hipóteses demográficas de fecundidade, mortalidade e migração, para o período de 2015 a 2030. Destes sete cenários, os autores selecionaram três cenários que consideram mais realistas, cenário 1, 4 e 7. A Figura 3.5.4 mostra as TMGCA previstas para os três cenários.

Figura 3.5.4: Taxa média geométrica de crescimento anual para o ES de 2010 a 2030.



Fonte: Adaptado de Brasil *et al.* (2013).

Nota: 1 - Ano 2010 (IBGE, 2012); 2 - População calcula para 01 de julho.

As descrições dos três cenários de crescimento selecionados por Brasil *et al.* (2013) como sendo os mais realistas são apresentados a seguir:

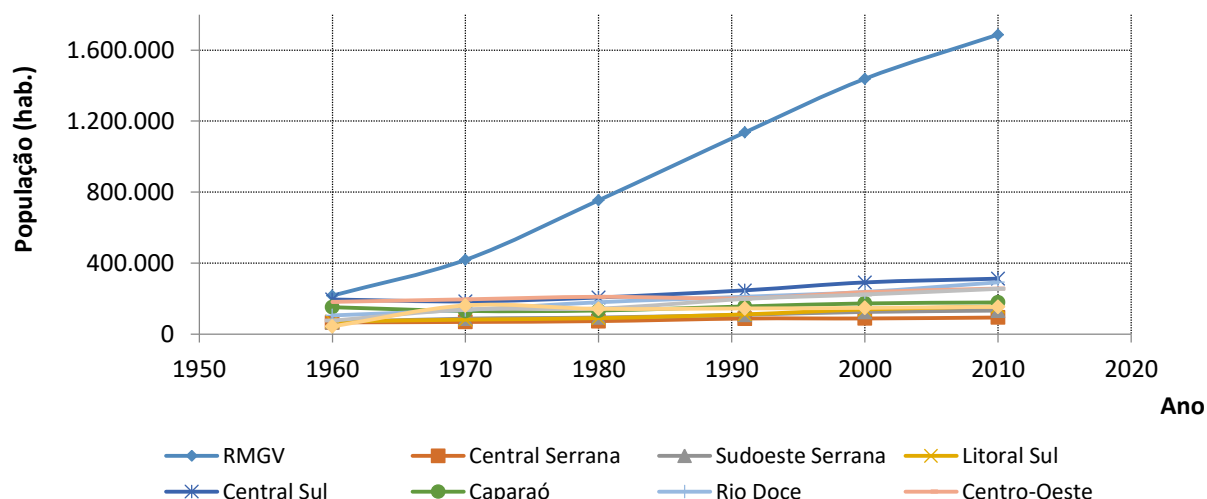
Cenário 1 - Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média), sem migração. População em 2030 cerca de 11% maior que em 2010. TMGCA 2030 de 0,32.

Cenário 4 - Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média). Pressupõe migração decrescente, relativamente a 2005-2010, em 20% a cada quinquênio. População em 2030 cerca de 17% maior que em 2010. TMGCA em 2030 de 0,47.

Cenário 7 - Tendência média (esperança de vida média, fecundidade média), com migração crescente inicial e decrescente nos últimos quinquênios. População em 2030, 21,9% maior que em 2010. TMGCA em 2030 de 0,65.

Para os três cenários selecionados foram elaboradas projeções de crescimento populacional desagregada para cada uma das dez microrregiões do ES. Na Figura 3.5.5 é apresentada a evolução da população das microrregiões para o Cenário 1.

Figura 3.5.5: Evolução da população das microrregiões de 1950 a 2030 - Cenário 1.



Fonte: Adaptado de Brasil *et al.* (2013)

Observa-se que RMGV, que representa 48% da população do estado, é a região que mais cresce, em comparação com as demais microrregiões.

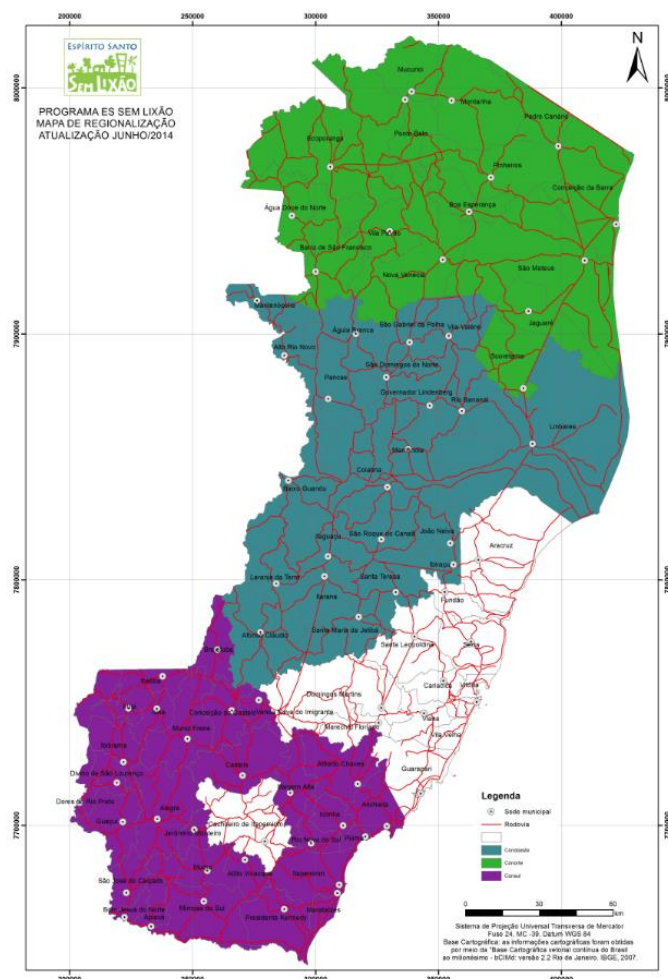
5.1.2 Panorama dos resíduos sólidos no Espírito Santo

No ES a situação do gerenciamento de resíduos sólidos não destoa da realidade brasileira havendo grande presença de vazadouros a céu aberto, popularmente conhecido como “lixões”, e coleta seletiva incipiente, apenas em algumas localidades dos centros urbanos.

A publicação da Lei 9.264/2009 que instituiu a Política Estadual de Resíduos Sólidos (PERS) (Espírito Santo, 2009a), bem como a formação do Comitê Gestor de Resíduos Sólidos do Espírito Santo (COGERES) por meio do Decreto nº 2363-R/2009, são ações importantes para a gestão dos RSU no Estado (Espírito Santo, 2009b).

Em 2008, o Governo do Estado implantou o Projeto "ES Sem Lixão" com o objetivo principal de erradicar os lixões, por meio de sistemas regionais de disposição final adequada de RSU (SEDURB, 2014). A Figura 3.5.6 apresenta a atual configuração da regionalização do Projeto, que passou por diversas alterações desde sua configuração original, sendo em 2015 dividido em quatro regiões: Norte, Doce Oeste, Sul e Metropolitana.

Figura 3.5.6: Regionalização do Projeto ES Sem Lixão.



Fonte: SEDURB (2014).

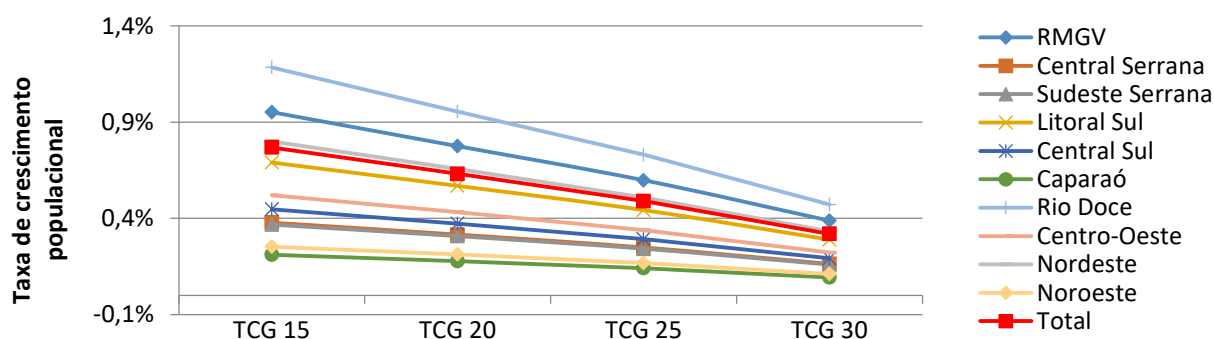
Neste estudo, as áreas selecionadas no projeto para implantação de Estações de Transbordo (ET) e foram avaliadas como locais candidatos a CV e os Aterros Sanitários (AS) como locais candidatos a CV e como AS do modelo.

5.2 Estimativa de geração de embalagens pós-consumo

A geração de embalagens atual foi calculada considerando a população total dos municípios, projetada para 2015, a taxa *per capita* de geração de resíduos considerando os dados do SNIS 2014 (BRASIL, 2016), a composição gravimétrica dos RSU do PLANARES (IPEA, 2012a).

A população de 2015 projetada para cada município foi calculada tendo como referências os estudo de Brasil *et al.* (2013), considerando as TMGCA de cada região. Como se pode observar na Figura 3.5.7 as TMGCA são diferentes para cada região, sendo que apenas três regiões apresentam TMGCA superiores à calculada para todo o estado do Espírito Santo.

Figura 3.5.7: Crescimento populacional das microrregiões administrativas do ES (Cenário 1)



Fonte: Elaborado a partir de Brasil *et al.* (2013).

O ES tem uma população urbana de 2.955.274 habitantes, com um potencial de geração de 880,36 t/dia de embalagens pós-consumo. As estimativas de geração de embalagens geradas nos municípios do ES são apresentadas na Tabela 3.5.1.

Tabela 3.5.1: Estimativa de geração de embalagens por região administrativa do ES.

Região ^(a)	Município		Pop. estimada 2015 ^(b)			Total de embalagens ^(c) (t/dia)					
	Nº	%	Pop. total	Pop Urb.	%	Total	Papel	Plástico	Vidro	Metal	Rejeito
Central	16	21	552.959	425.194	13	117,10	50,00	22,37	13,00	5,04	26,82
Metropolitana	7	9	1.703.767	1.674.797	61	534,62	228,28	102,11	59,34	22,99	122,43
Norte	16	21	410.417	291.025	9	77,72	33,19	14,84	8,63	3,34	17,80
Serrana	12	15	226.161	97.358	3	25,12	10,72	4,80	2,79	1,08	5,75
Sul	27	35	648.609	466.900	14	125,80	53,72	24,03	13,96	5,41	28,81
Total	78	100	3.541.915	2.955.274	100	880,36	375,91	168,15	97,72	37,86	201,60

Nota:

- (a) Macrorregiões do ES, Lei 9.768 de 28/12/2011. A Macrorregião Metropolitana está representada de forma dividida em suas microrregiões (Serrana e Metropolitana) (Espírito Santo, 2011);
- (b) Calculado com base nos percentuais de RSU coletada por população urbana por faixas dos SNIS, considerando os municípios que têm balança (Brasil, 2016a, 2016b);
- (c) Calculado considerando o percentual da população urbana do Censo 2010 (IBGE, 2012).

5.3 Levantamento de dados sobre os locais candidatos a CT

Para este estudo foi considerado que as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no ES são os locais candidatos à localização de CT do modelo logístico. Foram identificadas 54 organizações associativas em operação em 2015. Do questionário aplicado, obteve-se respostas de 35 organizações, com um percentual 64,8% respondentes. O resumo dos dados coletados é apresentado na Tabela 3.5.2.

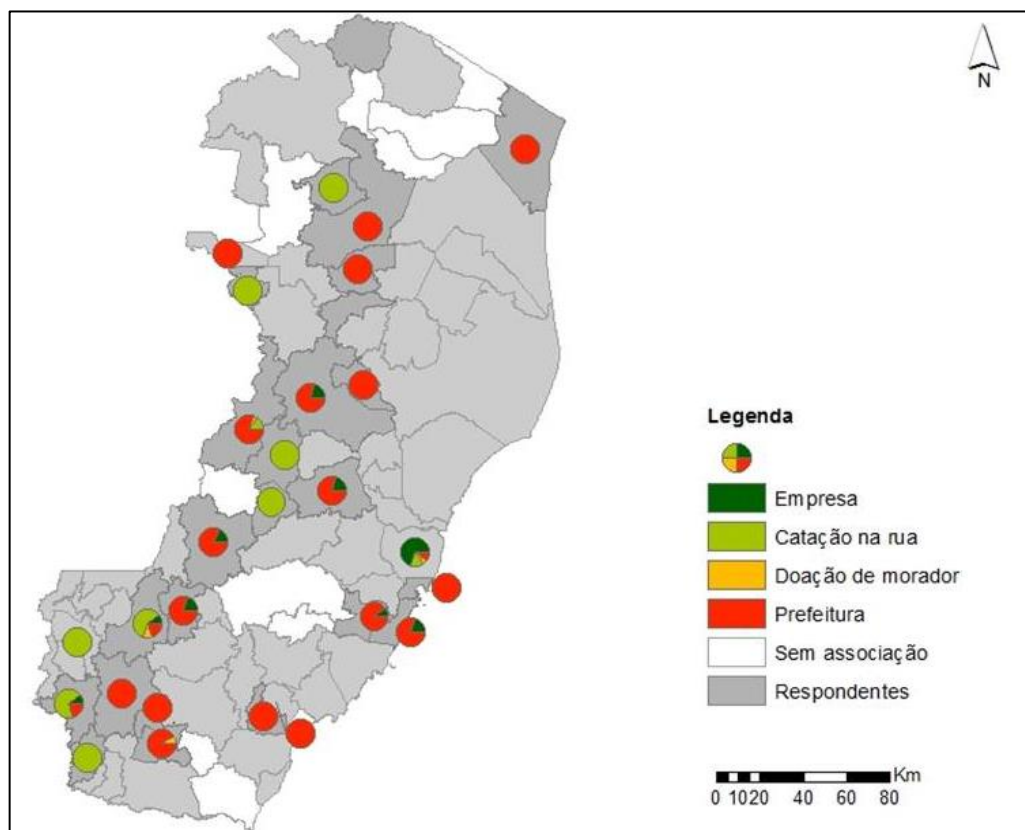
Tabela 3.5.2: Informações sobre as organizações associativas de catadores do ES.

Regiões	Central	Norte	Sul	Serrana	Metropolitana	Total
Nº de município	16	16	27	12	7	78
Nº total de associações	10	9	16	8	11	54
Nº de respondentes	7	5	11	5	7	35
Nº de associados	69	50	97	32	106	354

Nota: A Macrorregião Metropolitana está representada pela RMGV e Região Serrana.

Quanto à origem, os materiais triados pelas OCMR são originários de empresas, prefeitura, catação na rua e doações de moradores conforme se observa na Figura 3.5.8. Constatou-se também que nove OCMR recebem materiais recicláveis de outros municípios.

Figura 3.5.8: Fontes dos materiais triados pelas associações de catadores no ES.



5.3.1 Produtividade dos catadores

Os dados sobre a renda mensal média foi respondida de forma direta no questionário. Quanto a produtividades, os valores foram levantados em termos de quantidade de resíduos triada pelos catadores em um dia. A Tabela 3.5.3 apresenta a renda e produtividade das OCMR do ES.

Tabela 3.5.3: Renda e produtividade das organizações associativas de catadores do ES.

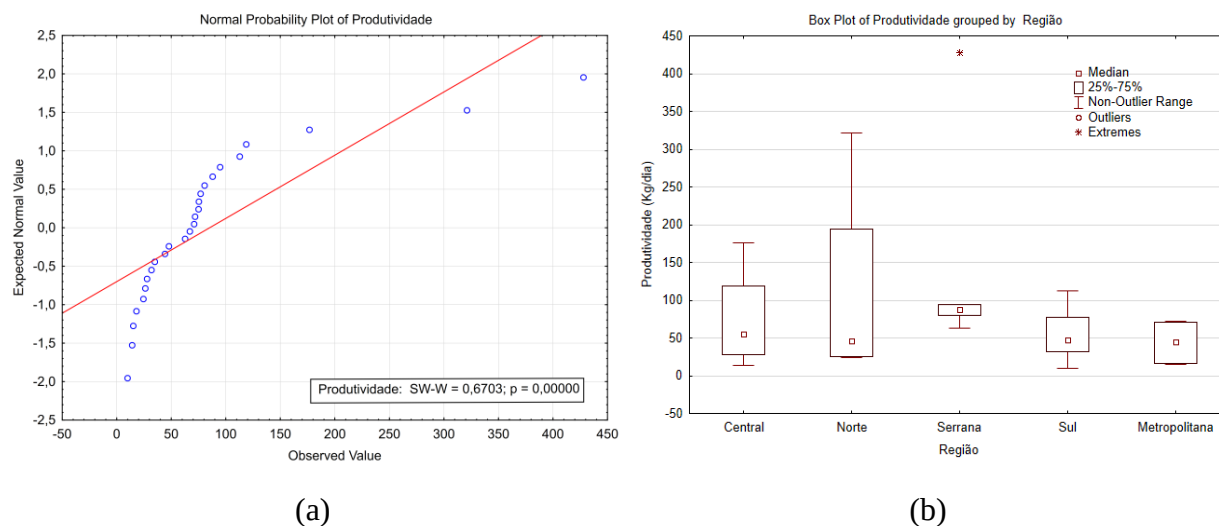
	Renda Mensal	Nº de catador	Dias trabalhados		Quantidade comercializada		Produtividade	
	(R\$/mês)	(cat.)	(dia/sem.)	(dia/mês)	(kg/mês)	(kg/dia)	(kg/catador. Dia)	(kg/m ² .dia)
Máximo	1.625,0	28,0	7,0	30,0	54.857,8	2.493,5	427,9	6,9
Mínimo	80,0	3,0	4,0	18,0	1.958,0	89,0	9,9	0,0
Mediana	788,0	8,0	5,0	22,0	9.800,0	442,5	69,0	0,8
Média	767,3	9,9	5,3	23,0	17.010,0	690,1	85,2	1,5
Desvio Padrão	386,1	5,6	0,6	2,4	16.319,0	682,3	94,7	2,0
N	33	35	35	35	27	26	26	13

A análise da produtividade aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador.dia ou 1.745,23 kg/catador.mês, considerando todas as associações pesquisadas. Este valor difere do valor de 200 kg/dia, apresentado por Brasil (2008), utilizado também por IBAM (2012).

Utilizando a classificação realizada por Damásio (2010), o valor da produtividade média das associações às enquadraria com média. Analisando individualmente, verifica-se que 7 associações se enquadram como sendo de alta eficiência, 9 de média, 4 como baixa e 6 como baixíssima eficiência.

A Figura 3.5.9 a mostra o teste estatístico de normalidade *Shapiro Wilk*, que indicou que não há uma distribuição normal, com $p = 0,0000 < 0,05$. Na Figura 3.5.9 b é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as regiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p=0,374>0,05$).

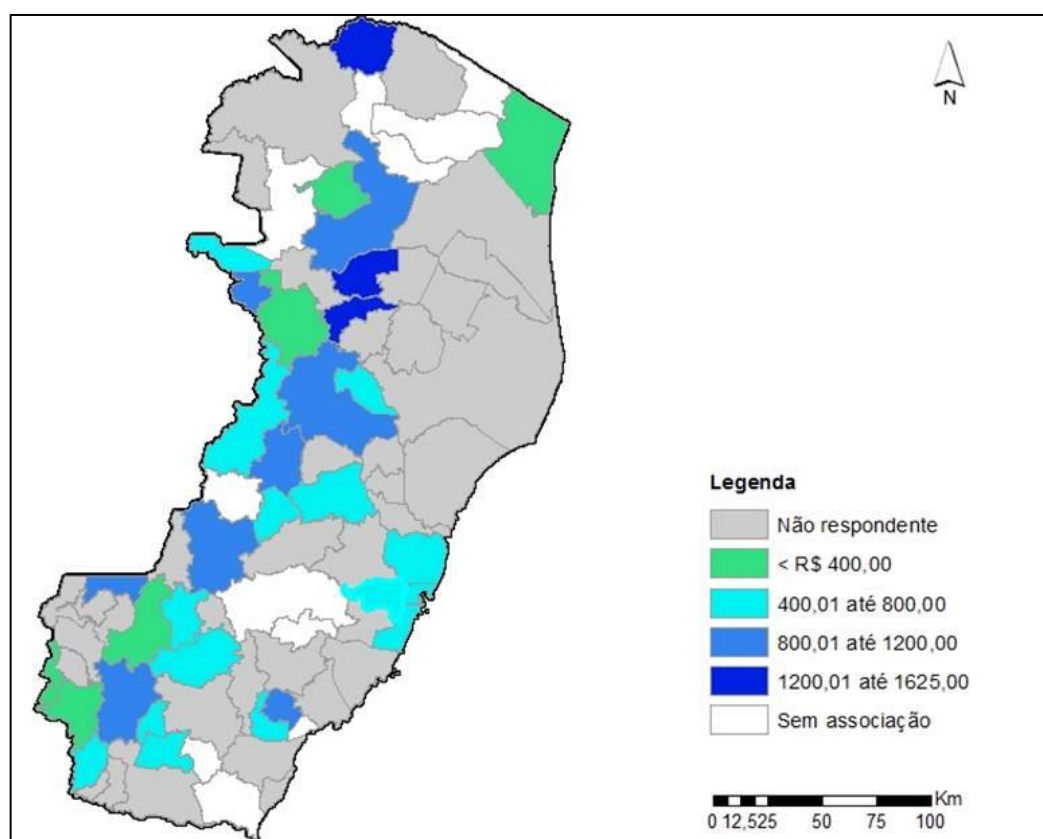
Figura 3.5.9: Produtividade dos catadores por microrregião do ES.



5.3.2 Renda Média

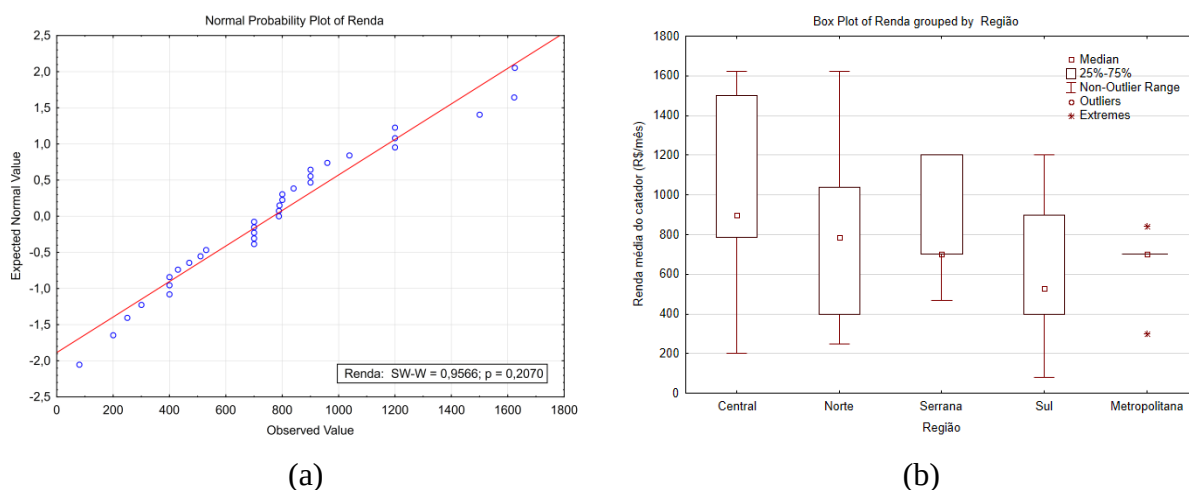
A análise da renda dos catadores aponta para um valor médio mensal de R\$767,30/catador.mês. Deve-se, atentar para valores máximo e mínimo de R\$1.625,00 e R\$80,00. A distribuição espacial da renda dos catadores pode ser observada na Figura 3.5.10.

Figura 3.5.10: Renda média das associações de catadores no ES.



A Figura 3.5.11a apresenta os gráfico de distribuição normal e teste estatístico de normalidade *Shapiro Wilk*, que indicou que existe uma distribuição normal, com $p = 0,2070 > 0,05$. Com os dados obtidos foi possível avaliar a renda média das associações dos catadores por Macrorregião. Na Figura 3.5.11b é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as regiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p=0,6691>0,05$).

Figura 3.5.11: Renda média dos catadores por microrregião do ES.



5.4 Levantamento de dados sobre locais candidatos a CV

Neste estudo foram consideradas 24 áreas candidatas a CV do SLR de embalagens para o estado do ES. Destas áreas, 19 fazem parte do projeto “ES sem Lixão”, sendo que são áreas 17 são Estações de Transbordo (ET) e 2 Centrais de Tratamento e de Disposição Final de RSU (CTDR) regionais (SEDURB, 2014; IEMA, 2015). As outras 5 áreas são CTDR privadas existentes no estado (IEMA, 2015).

As estações de transbordo ou transferência são unidades instaladas próximas ao centro de massa de geração de resíduos para que os caminhões de coleta, depois de cheios, façam a descarga e retornem rapidamente para complementar o roteiro de coleta (IBAM, 2009). Portanto, tem a finalidade de otimizar os custos da transferência dos resíduos coletados na cidade.

Alguns dos impactos ambientais semelhantes entre CV, ET e AS, associados ao planejamento, implantação e operação são: desvalorização ou valorização dos terrenos e/ou imóveis circunvizinhos, incômodos à população, rejeição quanto à instalação do empreendimento, geração de resíduos, danos nas vias de acesso, geração de ruído, geração de esgoto efluente doméstico, geração de emprego e renda e eliminação de pontos de disposição final inadequada de RSU.

Dessa forma, a escolha das áreas das ET do programa “ES sem Lixão” como pontos candidatos para a localização de CV foi devido à existência de alguns impactos ambientais e características semelhantes que visam obter o máximo de proveito sob o ponto de vista logístico.

Para o modelo matemático além dos dados sobre a localização foram levantadas também as áreas totais, as áreas destinadas à construção dos transbordos e as áreas edificadas que inclui infraestruturas que poderiam ser comuns às CV como balanças, portaria e pátios de manobras. Desta forma foi possível concluir que todas as 19 áreas do Projeto "ES sem Lixão" teriam potencial em termos da área disponível para a construção de CV de formar compartilhada com as ET e os AS já projetados.

5.5 Levantamento de dados sobre as empresas receptoras de resíduos

Para o levantamento de dados sobre as empresas receptoras de resíduos foram pesquisadas empresas que atuam na área de reciclagem e empresas de disposição final de rejeitos, no caso de embalagens pós-consumo, os aterros sanitários.

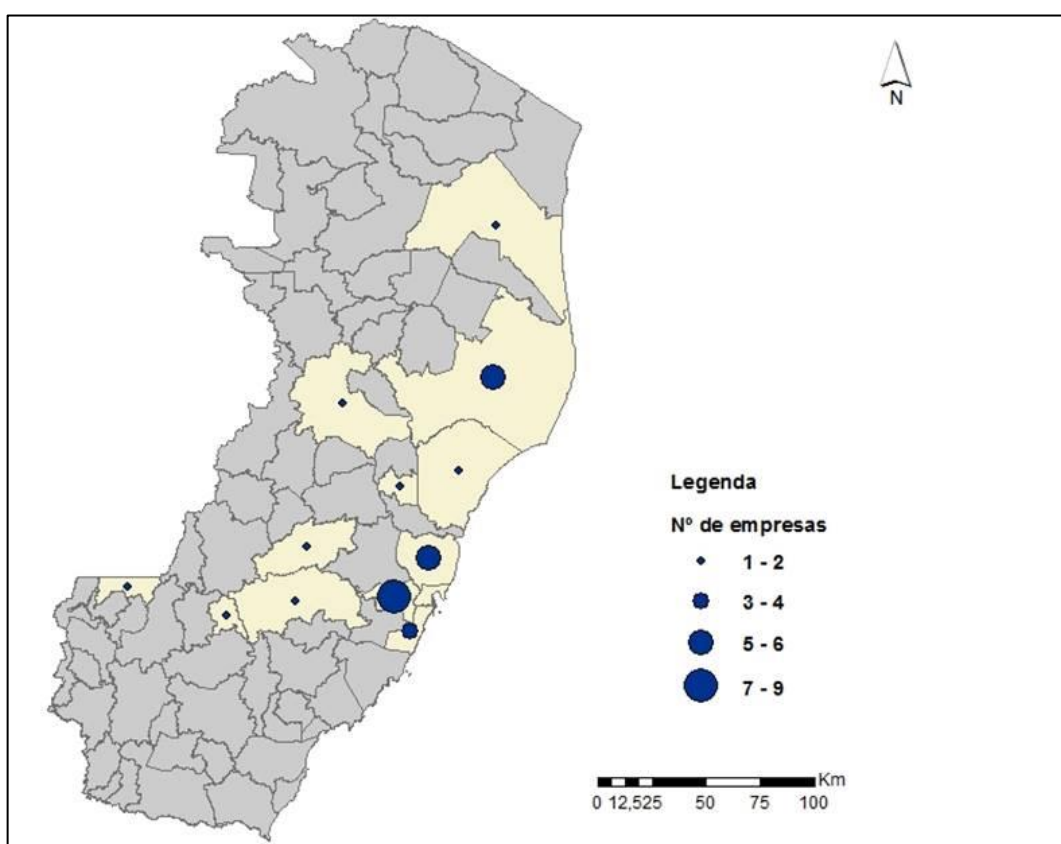
5.5.1 Empresas Recicladoras

A partir do levantamento de dados secundários de 5 bases de dados sobre empresas recicladoras existentes no ES e tratamento dos dados, com verificação de sobreposição de dados, chegou-se a um quantitativo de 89 empresas, cadastradas como possíveis recicladoras de resíduos. Foi realizado contato telefônico com 48 empresas. Para 34 delas foram enviados questionários, sendo que apenas 20 já responderam. As demais, nove empresas informaram que não trabalham mais com reciclagem, cinco não quiseram participar da pesquisa. O questionário enviado para as empresas aborda questões relacionadas ao tipo de resíduo,

processo, capacidade produtiva, valores de comercialização e previsão de ampliação das atividades.

Em relação à localização, considerando as 80 empresas registradas como recicladoras, já excetuando as nove que já responderam que não trabalham mais com reciclagem, verifica-se que existe uma concentração de empresas na região metropolitana, com 53 empresas das 80. As demais estão dispersas pelos demais municípios. O município do interior do estado com mais recicladoras é o município de Linhares, onde existe um polo industrial. Na Figura 3.5.12 é apresentado um mapa com a distribuição das empresas recicladoras mapeada nesse estudo.

Figura 3.5.12: Mapa de localização de possíveis empresas recicladoras de resíduos instaladas no ES.

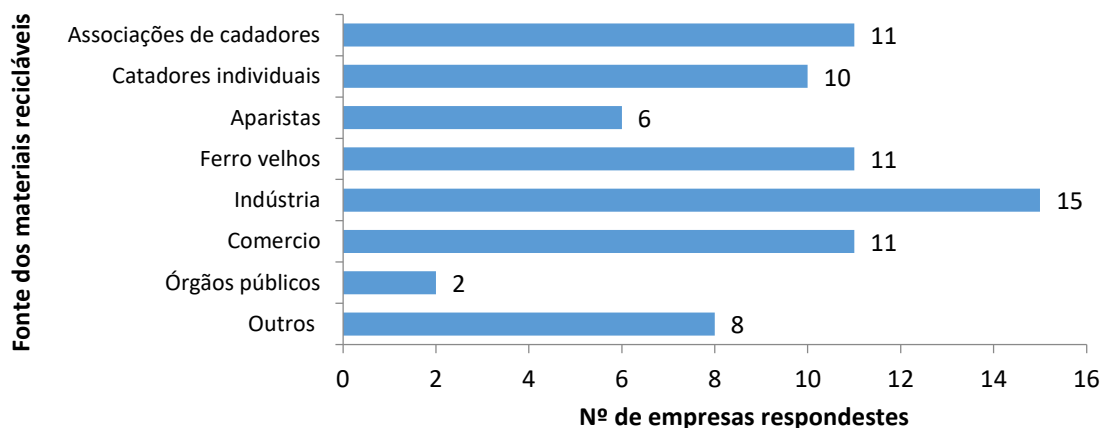


Ressalta-se que este mapa trata de possíveis empresas, visto que algumas empresas podem não mais estar em funcionamento, como já foi verificado com 18,8% das empresas com que foi realizado contato telefônico. Outra situação refere-se à real atividade desenvolvida pelas empresas, pois mesmo estando cadastradas nos respectivos bancos de dados como recicladoras, algumas empresas são na verdade, ferros velhos, aparistas ou realizam apenas, transporte, triagem e/ou beneficiamento primário.

4.5.1.1 Análise das respostas do questionário

A Figura 3.5.13 apresenta os tipos de fornecedores dos resíduos para o setor de reciclagem do ES identificados na pesquisa

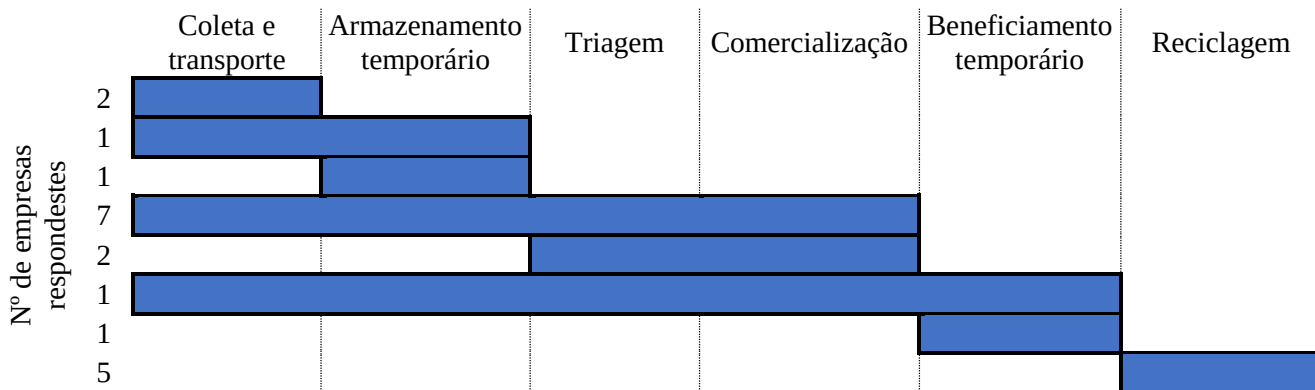
Figura 3.5.13: Fornecedores de resíduos para o setor de reciclagem do ES.



Nota: Outros - (Portos e aeroporto, hospitais e clínicas, construção civil, residências).

A Figura 3.5.14 apresenta as atividades principais das empresas pesquisadas.

Figura 3.5.14: Atividades principais das empresas do setor de reciclagem do ES.



A Tabela 3.5.4 apresenta as atividades principais realizadas pelas empresas do setor de reciclagem do ES que trabalham com papéis recicláveis. Das 20 empresas que responderam ao questionário, 6 trabalham com papel, 12 não trabalham e 2 não responderam.

Tabela 3.5.4: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com papéis recicláveis no ES.

Tipos de papéis	Atividades/ N° de empresas			
	Transporte	Triagem	Enfardamento	Picotamento
Papelão	3	3	6	-
Papel Branco	3	1	1	1
Jornal/Revista	3	1	1	1
Longa vida	2	2	3	-

A Tabela 3.5.5 apresenta as atividades principais realizadas pelas empresas do setor de reciclagem do ES que trabalham com plásticos recicláveis. Das 20 empresas que responderam ao questionário, 6 trabalham, 12 não trabalham e 2 não responderam.

Tabela 3.5.5: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com plásticos recicláveis no ES.

Tipos de plásticos	Atividades/N° de empresas				
	Transporte	Triagem	Enfardamento	Picotamento	Reciclagem
PEAD Colorido	3	2	1	1	2
PEAD transparente	3	3	2	-	1
PEBD Colorido	4	3	4	1	3
PEBD Transparente	5	5	4	2	6
PET Colorido	4	3	3	1	-
PET Cristal	2	2	2	2	-
PP	4	3	4	1	-
PS	3	3	2	1	-
PVC	2	2	2	-	-

A Tabela 3.5.6 apresenta as atividades principais realizadas pelas empresas do setor de reciclagem do ES que trabalham com metais recicláveis. Das 20 empresas que responderam ao questionário, 7 trabalham, 13 não trabalham.

Tabela 3.5.6: Atividades realizadas pelas empresas que trabalham com metais recicláveis no ES.

Tipos de metais	Atividade/N° de empresas		
	Transporte	Triagem	Reciclagem (fundição)
Aço	3	4	1
	4	5	1
Alumínio	3	4	
Cobre	3	4	1
Zinco	3	3	1

Das 20 empresas que responderam ao questionário nenhuma desempenha alguma atividade com vidro. Devido a pouca representatividade dos dados obtidos nesta etapa de aplicação de questionários junta às empresas recicladoras. Optou-se por considerar neste estudo, como os nós da rede que representa as empresas de reciclagem, os polos industriais existente no estado.

No ES existem oito municípios com polos industriais instalados (ESPÍRITO SANTO, 2016), e estes polos foram considerados como locais potenciais para atração de indústrias recicladoras que poderão absorver os materiais coletados pelo SLR de embalagem. Para tanto, foi considerado que estes polos terão capacidades ilimitadas para receber todos os tipos de materiais.

Desta forma, o modelo também indica quais os polos industriais mais atrativos para empresas recicladoras em função da localização dos CT e CV alocadas.

5.5.2 Empresas de disposição final de rejeitos

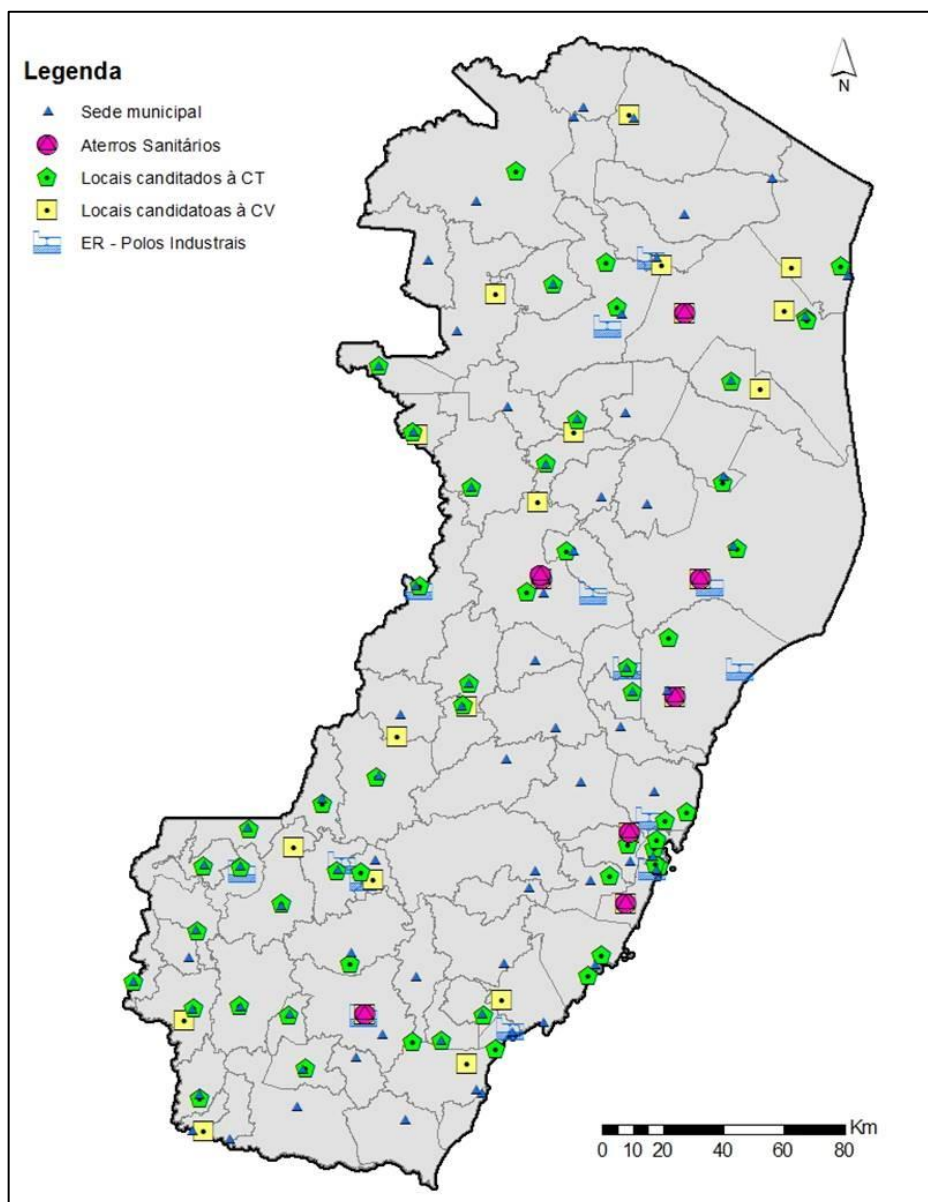
Foram mapeados oito aterros sanitários licenciados para disposição final de rejeitos no ES. As informações sobre o operador, e a localização foram obtidas no site o IEMA, órgão do SISNAMA responsável pelo licenciamento desta atividade no estado (IEMA, 2015).

5.6 *Resumo dos locais mapeados no estudo de caso*

No estudo de caso foram reunidas as informações sobre os quatro nós da rede de logística reversa a ser modelada. Foram definidos 78 Pontos de Geração que representam todos os municípios do ES; 54 locais candidatos a CT, correspondente às Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) existentes no estado em 2015; 24 locais candidatos a CV, representando às áreas do projeto “ES sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes; 14 ER, que representam os polos industriais instalados no ES e 8 AS existentes no estado. Estes locais foram mapeados e são mostrados na Figura 3. 5.15.

Os dados sobre a localização dos locais mapeados para o estudo são apresentados no Apêndice C.

Figura 3. 5.15: Mapa de localização dos nós da rede de logística reversa de embalagens pós-consumo no ES.



5.7 Levantamento dos custos logísticos

Nesta fase foram levantados os custos logísticos de implantação e operação dos CT e CV, os custos de transporte entre os nós da rede e os custos de disposição de rejeitos do sistema.

5.7.1 Custos fixos de instalação e de operação dos CT e das CV

Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e

galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, dentre outros. Ressalta-se que esses cálculos não incluíram custos de com a desapropriação e compra do local de instalação (BRASIL, 2008; 2012). A Tabela 3.5.7 mostra os valores calculados para implantação e operação dos CT e das CV, com quatro faixas de capacidade cada.

Tabela 3.5.7: Custos de instalação e operação dos CT e das CV

Tipo de instalação	Capacidade t/mês	Custo de Instalação R\$/mês	Custo de operação R\$/mês
CT (Faixa 1)	50,53	3.348,27	18.891,45
CT (Faixa 2)	168,4	5.548,80	55.991,63
CT (Faixa 3)	421,1	9.307,65	133.639,59
CT (Faixa 4)	842,2	15.126,42	252.274,16
CV(Faixa 1)	260,0	2.335,60	11.647,97
CV(Faixa 2)	520,0	4.053,32	19.663,02
CV(Faixa 3)	1300,0	5.787,85	39.599,79
CV(Faixa 4)	2600,0	9.730,94	74.332,60

As planilhas de composição de custos para implantação e operação dos CT e das CV são apresentadas no Apêndice D.

5.7.2 Distâncias e custos de transporte entre os nos da rede

As matrizes de distâncias foram construídas utilizando as coordenadas geográficas UTM dos nos do SLR, acrescido de 10% (Ferri, 2015). A matriz de custo foi construída utilizando os custos de frete conforme INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). Os valores de frete foram majorados pelos CAC de 4,61 para os materiais transportados de PG e CT com densidade de 65 kg/m³ (BASSANI, 2011); CAC de 1,5 para os materiais transportados de entre CT e CV e entre CV e ER com densidade de 200 kg/m³ (BRASIL, 2008) e CAC de 1,3 para os rejeitos transportados para os AS com densidade de 230 kg/m³(IBAM, 2009).

5.7.3 Custos de disposição final dos rejeitos

Foram identificados oito AS no ES, sendo que cinco possuem Licença de Operação (LO), dois estão em fase de Licença de Instalação (LI) e um de Licença Prévia (LP) (IEMA, 2015). A capacidade destes AS foi considerada ilimitada para receber os rejeitos. Na Tabela 3.5.8 e na Tabela 3.5.9 são apresentados os valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil e no ES respectivamente, tendo como base a série histórica do SNIS,

sendo analisados os dados de 2009 a 2014 (BRASIL, 2016b). Na Figura 3.5.16 é apresentada a comparação entre estes valores.

Tabela 3.5.8: Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no Brasil.

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Máximo (R\$/t).	500,00	220,00	250,00	250,00	250,00	250,00
Mínimo (R\$/t).	2,93	1,67	3,22	5,00	5,00	5,00
Mediana (R\$/t).	55,00	59,00	57,99	62,30	65,00	76,00
Média (R\$/t).	74,14	73,89	74,61	76,64	79,72	89,58
Desvio Padrão (R\$/t).	70,62	55,62	55,89	57,54	57,84	58,31
N	283	347	342	501	625	645

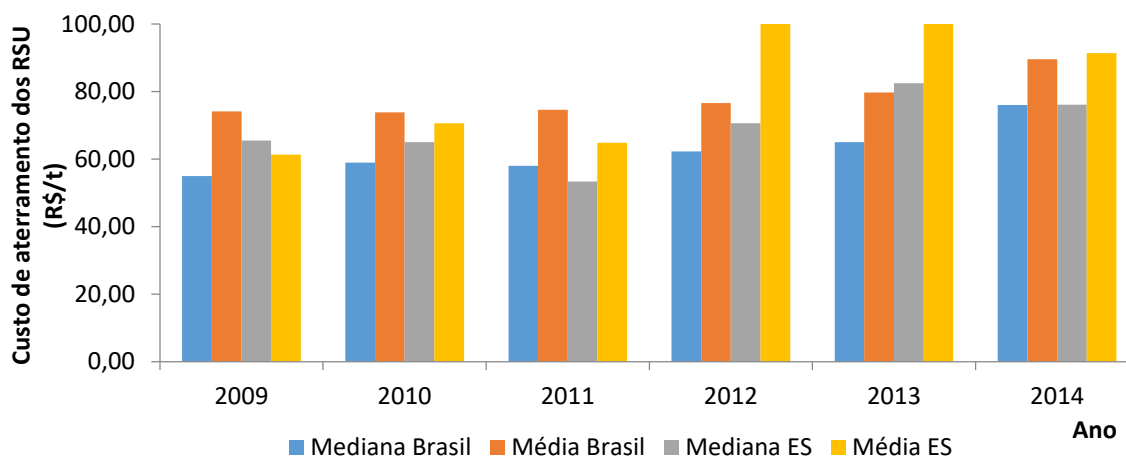
Fonte: Série histórica SNIS 2009 -2014 (BRASIL, 2016b).

Tabela 3.5.9: Valores contratuais para disposição de RSU em aterros sanitários no ES.

Ano	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Máximo (R\$/t).	85,00	146,19	165,00	228,00	250,00	250,00
Mínimo (R\$/t).	32,00	38,24	38,24	40,92	48,53	5,00
Mediana (R\$/t).	65,50	65,00	53,38	70,65	82,50	76,13
Média (R\$/t).	61,32	70,62	64,84	101,21	104,57	91,36
Desvio Padrão (R\$/t).	26,36	28,70	35,50	65,20	63,03	54,11
N	6	14	11	13	22	25

Fonte: Série histórica SNIS 2009 -2014 (BRASIL, 2016b).

Figura 3.5.16: Custo de disposição dos RSU em AS no Brasil e no ES (2009-2014).



Fonte: Série histórica SNIS 2009 -2014 (BRASIL, 2016b).

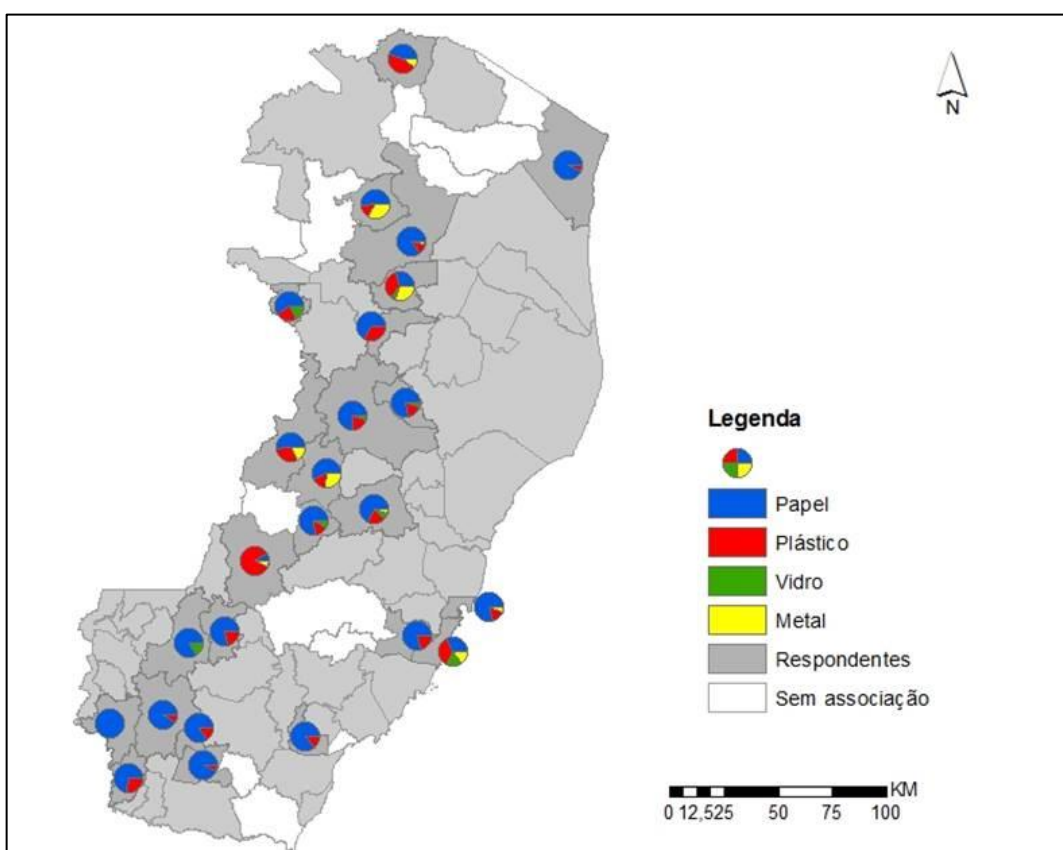
Para este estudo foi assumido que o custo de disposição final de rejeitos é de R\$91,36/t, que foi o valor médio praticado pelos aterros sanitários no ES no ano de 2014 (BRASIL, 2016b).

5.8 Receitas previstas com a comercialização de materiais

No questionário aplicado junto às organizações associativas de catadores do ES verificou-se que das 35 respondentes, apenas 25 registram os dados de comercialização e 4 delas tinham registros em recibos de venda ou anotações em cadernos e informaram estes dados.

Na Figura 3.5.17 pode-se observar que os papeis e os plásticos são os materiais mais comercializados. Chama atenção o fato de o vidro aparecer como material comercializado em apenas 8 associações. Neste caso, as associações informaram sobre a dificuldade em comercializar o material, visto que no estado não existe empresa recicladora de vidro ou mesmo beneficiadora, o que torna inviável a comercialização para outros estados.

Figura 3.5.17: Materiais comercializados pelas OCMR no ES.



Na Tabela 3.5.10 é apresentado o percentual dos materiais triados pelas OCMR no ES.

Tabela 3.5.10: Distribuição em peso dos materiais triados pelas OCMR dos ES.

Materiais	Papel (%)	Plástico (%)	Metal (%)	Vidro (%)
Média	70,28	20,70	13,32	10,26
Desvio Padrão	18,49	10,86	11,37	5,54
N	26	25	13	8

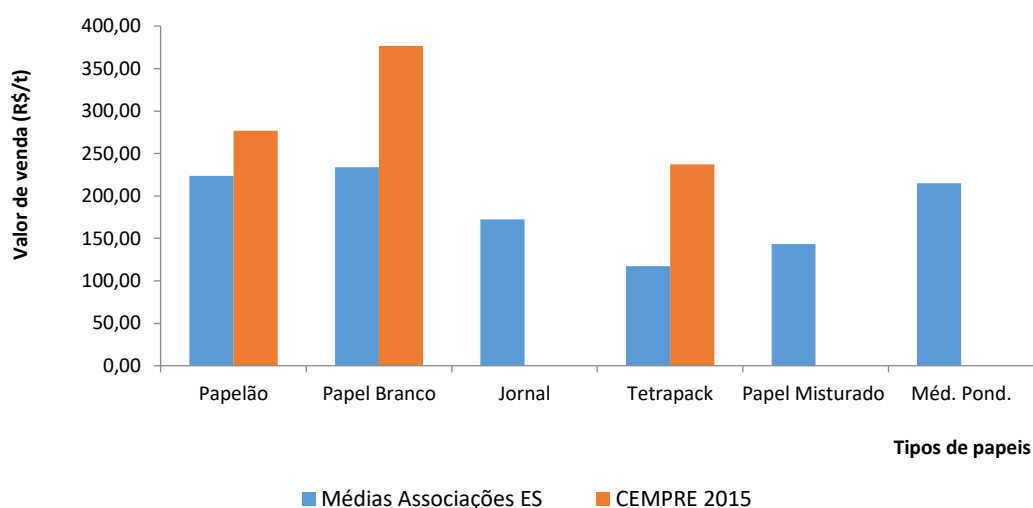
5.8.1 Papeis

Os valores referentes à venda dos papeis recicláveis são apresentados na Tabela 3.5.11 e na Figura 3.5.18. Os dados são comparados com os dados do CEMPRE (2015).

Tabela 3.5.11: Valores médios de venda dos papeis recicláveis no ES (R\$/t).

Tipos de Papeis	Papelão	Papel Branco	Jornal	Tetrapack	Papel Misturado	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	300,00	420,00	250,00	170,00	200,00	310,17
Mínimo (R\$/t)	100,00	100,00	80,00	50,00	0,00	100,00
Mediana (R\$/t)	230,00	230,00	155,00	100,00	175,00	222,59
Média (R\$/t)	223,79	234,00	172,50	117,50	143,33	214,86
Desvio Padrão (R\$/t)	49,60	102,00	58,00	34,67	79,16	54,85
N	29	10	8	12	6	26
CEMPRE (2015) (R\$/t)	276,63	376,75	-	237,36	-	-
CEMPRE/ES (R\$/t)	19,1%	37,9%	-	50,5%	-	-

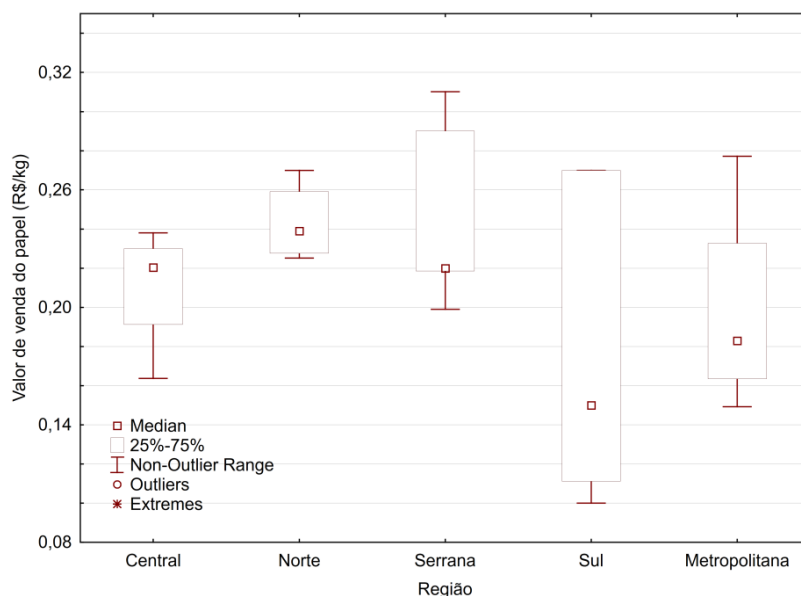
Nota: A média ponderada foi calculada multiplicando o valor de venda de cada material pela quantidade vendida.

Figura 3.5.18: Valores médios de venda dos papeis no ES.

Na Figura 3.5.19 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e

como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p=0,4142 > 0,05$).

Figura 3.5.19: Valores de venda dos papéis recicláveis por Macrorregião do ES.



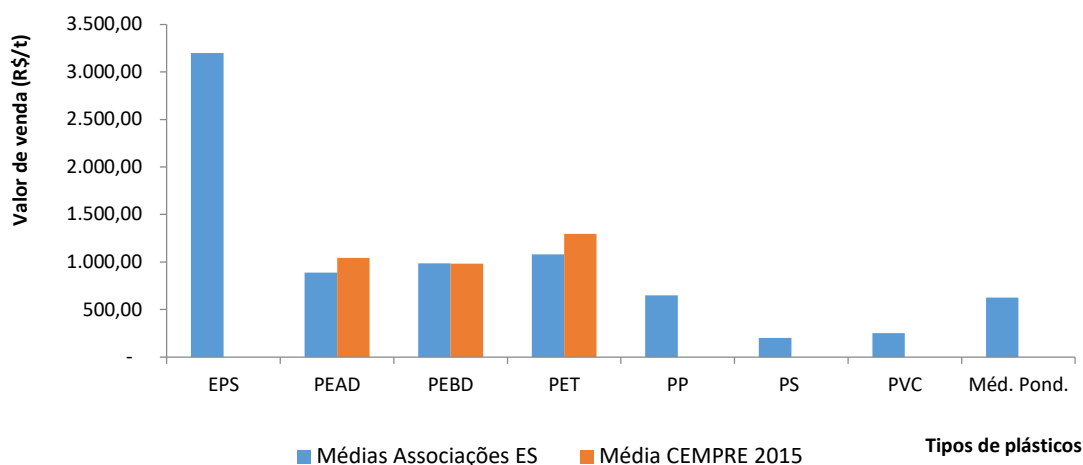
5.8.2 Plásticos

Os valores referentes à venda dos plásticos recicláveis são apresentados na Tabela 3.5.12 e na Figura 3.5.20.

Tabela 3.5.12: Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no ES.

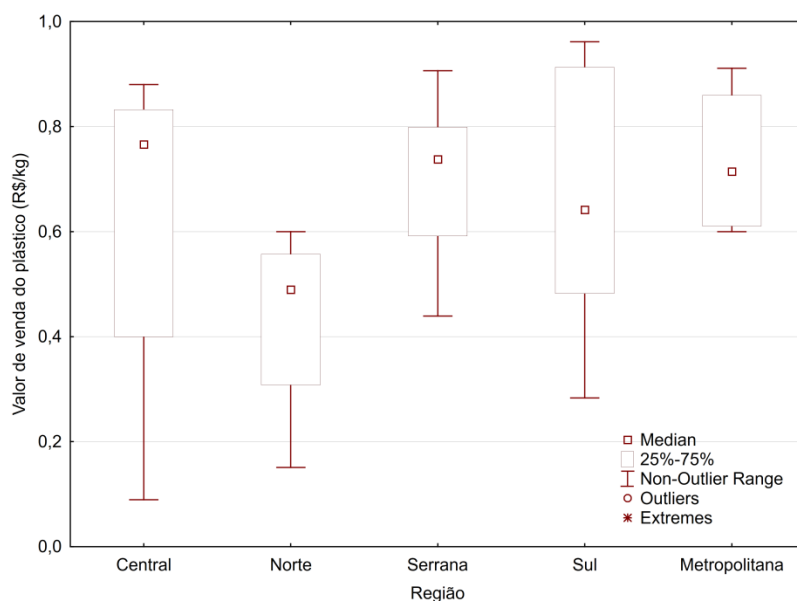
Tipos de Plásticos	EPS	PEAD	PEBD	PET	PP	PS	PVC	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	3.200,00	776,79	821,45	1.053,53	505,43	200,00	200,00	961,68
Mínimo (R\$/t)	3.200,00	177,07	247,57	914,19	179,79	-	141,42	89,61
Mediana (R\$/t)	3.200,00	800,00	839,07	750,00	500,00	200,00	200,00	620,75
Média (R\$/t)	3.200,00	889,68	985,71	1.078,82	650,00	200,00	250,00	625,86
Desvio Padrão (R\$/t)	-	700,00	654,30	642,76	371,28	200,00	150,00	246,44
N	1	17	19	10	15	1	2	23
CEMPRE 2015 (R\$/t)	-	1041,94	982,61	1296,32	-	-	-	-
CEMPRE/ES (R\$/t)	-	14,6%	-0,3%	16,8%	-	-	-	-

Figura 3.5.20: Valores médios de venda dos plásticos recicláveis no ES.



Na Figura 3.5.21 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p=0,4409 > 0,05$).

Figura 3.5.21: Valores de venda dos plásticos recicláveis por Macrorregião do ES.



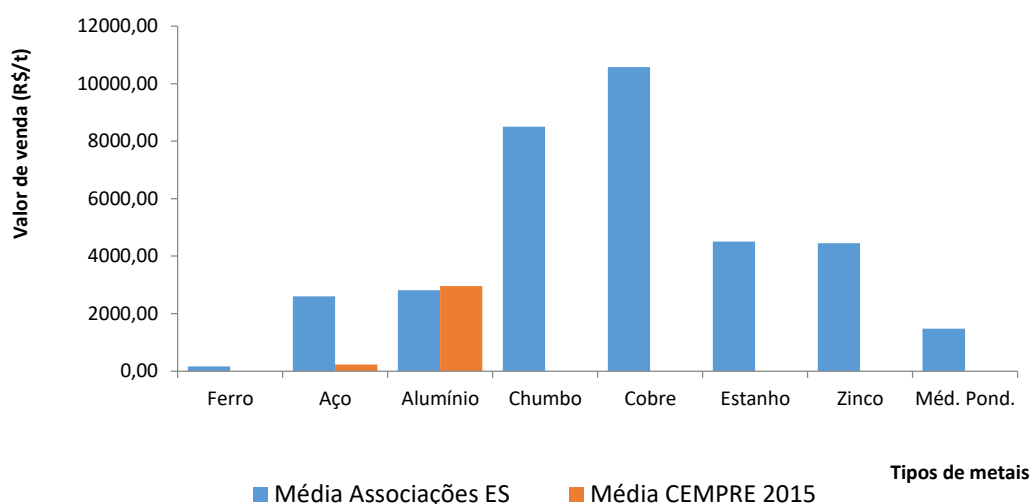
5.8.3 Metais

Os valores referentes à venda dos metais recicláveis são apresentados na Tabela 3.5.13 e na Figura 3.5.22.

Tabela 3.5.13: Valores médios de venda dos metais recicláveis no ES.

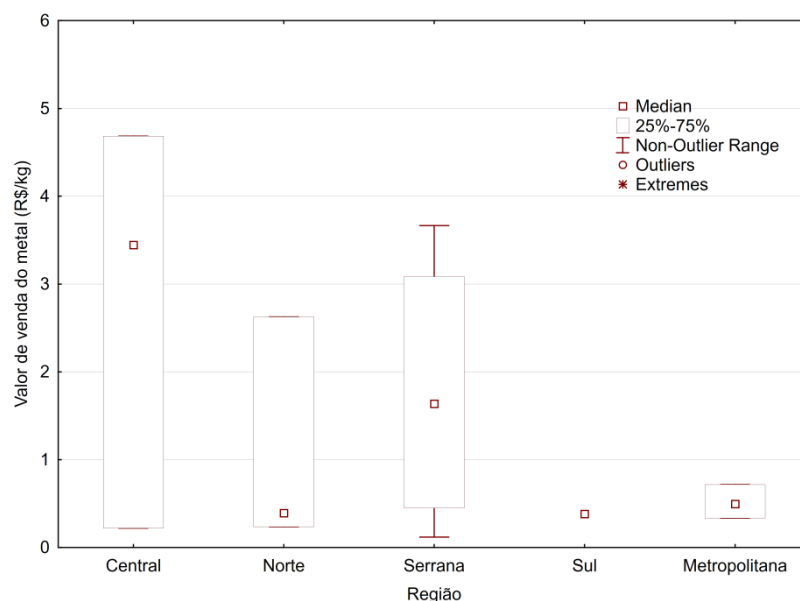
Tipos de metais	Ferro	Aço	Alumínio	Chumbo	Cobre	Estanho	Zinco	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	300,00	2600,00	3900,00	8500,00	14000,00	7000,00	6000,00	4685,34
Mínimo (R\$/t)	50,00	2600,00	2000,00	8500,00	9000,00	2000,00	2900,00	120,00
Mediana (R\$/t)	170,00	2600,00	2700,00	8500,00	10000,00	4500,00	4450,00	606,29
Média (R\$/t)	165,00	2600,00	2812,63	8500,00	10577,78	4500,00	4450,00	1471,61
Desvio Padrão (R\$/t)	61,29	-	532,22	-	1776,08	3535,53	2192,03	1568,98
N	18	1	19	1	9	2	2	14
CEMPRE (2015) (R\$/t)	-	228,94	2953,19	-	-	-	-	-
CEMPRE/ES (R\$/t)	-	-035,7%	4,8%	-	-	-	-	-

Figura 3.5.22: Valores médios de venda dos metais recicláveis no ES.



Na Figura 3.5.23 é apresentado o Gráfico BoxPlot, considerando as macrorregiões do estudo. Devido a pouca quantidade de dados, foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos analisados ($p=0,8417>0,05$).

Figura 3.5.23: Valores de venda dos metais recicláveis por Macrorregião do ES.



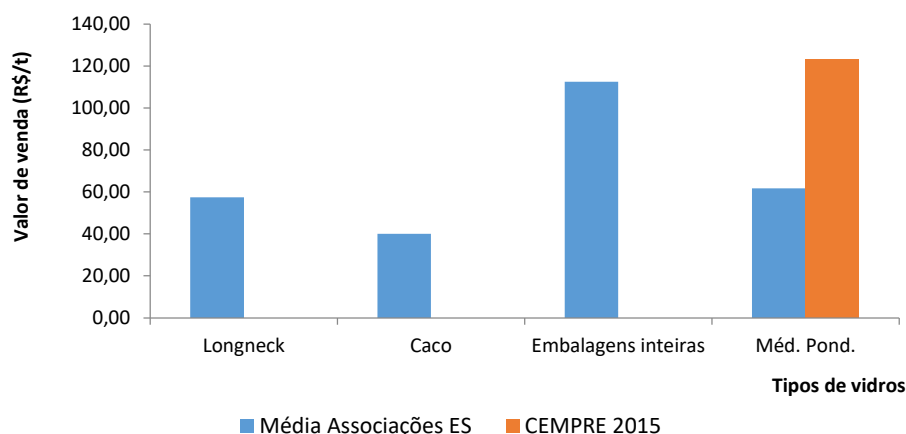
5.8.4 Vidros

Os valores referentes à venda dos vidros recicláveis são apresentados na Tabela 3.5.14 e na Figura 3.5.24. A média ponderada foi calculada multiplicando os valores de venda de cada material pela quantidade vendida.

Tabela 3.5.14: Valores médios de venda dos vidros recicláveis no ES.

Tipos de vidros	<i>Longneck</i>	Caco	Embalagens inteiras	Méd. Pond.
Máximo (R\$/t)	100,00	50,00	300,00	150,00
Mínimo (R\$/t)	30,00	20,00	50,00	20,00
Mediana (R\$/t)	50,00	50,00	75,00	50,00
Média (R\$/t)	57,50	40,00	112,50	61,67
Desvio Padrão (R\$/t)	29,86	17,32	87,63	44,91
N	4	3	8	6
CEMPRE (2015) (R\$/t)	-	-	-	123,17
CEMPRE/ES (R\$/t)	-	-	-	49,9%

Figura 3.5.24: Valores médios de venda dos vidros recicláveis no ES.



Devido ao número pequeno de organizações associativas de catadores que comercializavam vidros em 2015, não foi possível realizar o teste estatístico para verificar se havia evidências significativas de diferença de preços entre as regiões.

Portanto, quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Para este estudo são considerados como valor de comercialização, os valores médios de venda praticados pelas OCMR do ES, a saber, Papel: R\$214,9/t; Plástico: R\$625,9/t; Metal: R\$ 1471,6/t; e Vidro: R\$61,7/t.

Nos Estados-Membros da União Europeia os valores de comercialização dos materiais recicláveis são em média 64% maiores que os preços praticados no Brasil. Em média o valor de comercialização foi de US\$ 385,83/t para o plástico, US\$ 150,09/t para o papel e US\$ 59,53/t para o vidro e a sucata de alumínio pode valer US\$ 1.491/t (EUROPEAN COMMISSION, 2016).

6 CONCLUSÕES

O Estado do Espírito Santo (ES) situa-se na Região Sudeste do país e constitui-se no menor e menos populoso estado da região. A participação da população do ES tem ficado em torno de 1,81% da população brasileira desde o censo de 1990 (BRASIL *et al.*, 2013) que se distribui territorialmente de forma desuniforme em 78 municípios, agrupados em 10 microrregiões de planejamento, e em quatro macrorregiões.

No ES a situação do gerenciamento de resíduos sólidos não destoa da realidade brasileira havendo grande presença de lixões e coleta seletiva incipiente apenas em algumas localidades dos centros urbanos.

Em 2015 foram identificadas 54 OCMR, as quais foram objeto de pesquisa para levantamento de dados sobre aspectos produtivos. Do questionário aplicado, obtiveram-se respostas de 35 organizações, com um percentual 67,3% respondentes. Quanto à origem, os materiais triados pelas associações de catadores são originários de empresas, prefeitura, catação na rua e doações de moradores e existem OCMR que recebem materiais recicláveis de outros municípios diferentes de onde estão instalados. Isso indica que, o que está sendo proposto no modelo já ocorre na prática.

A produtividade das OCMR aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador.dia ou 1.745,23 kg/catador.mês. Este valor difere do valor de 200 kg/dia, apresentado por BRASILA (2008), utilizado também por IBAM (2012). Quanto à renda, a pesquisa aponta para um valor médio mensal de R\$767,30/catador.mês, com valores máximos e mínimo de R\$1.625,00 e R\$80,00, respectivamente. Quando comparado estatisticamente, não houve diferença significativa entre os valores de produtividade e renda entre as OCMR localizadas em regiões administrativas dos ES. Portanto, as OCMR mais próximas às indústrias do estado não são favorecidas pela proximidade, fato que chamou atenção e não era esperado.

Para a definição de áreas candidatas a CV foram analisadas ao todo 24 áreas sendo 19 áreas do projeto do Governo do Estado “ES sem Lixão” e 5 áreas onde estão localizadas Centrais de tratamento de resíduos licenciados no ES. Estes locais são áreas que foram ambientalmente analisadas e estão instaladas próximas ao centro de massa de geração de resíduos, com

finalidade de otimizar os custos da transferência e tratamento de resíduos coletados nas cidades. Portanto, áreas com potencial de serem exploradas como CV na prática.

Para o mapeamento das empresas recicladoras de embalagens foi realizado um levantamento de dados secundários de 5 bases de dados sobre empresas recicladoras existentes no ES chegando-se a um quantitativo de 89 empresas. Junto a estas empresas buscou-se realizar um levantamento de dado por meio de aplicação de questionário. No entanto, a qualidade dos dados não foi satisfatória, devido à baixa adesão das empresas em responder ao questionário e também por que ficou evidente durante a coleta de dados que, das empresas que participaram da pesquisa poucas eram as que tinham como atividade real a reciclagem, mesmo estando cadastradas como recicladora, inclusive no órgão ambiental. Constatou-se que algumas empresas são ferros velhos, aparistas ou realizam apenas, transporte, triagem e/ou beneficiamento primário, mas se declaram recicladoras. Esta constatação mostra a fragilidade dos bancos de dados existente sobre a reciclagem e a necessidade de normas com definição e conceitos sobre as diferentes atividades da cadeia de valor da reciclagem.

Desta forma optou-se em utilizar como nó da rede, não a empresas recicladoras existentes, mas os polos industriais existentes no ES. Como o SLR ainda não existe no estado, esta mudança de favorecer o modelo, pois foi possível avaliar quais os polos industriais existentes são mais atrativos para a instalação de empresas recicladoras e o quantitativo de material esperado para cada polo.

Para o cálculo dos custos de instalação e de operação dos CT e CV foram elaboradas planilhas de composição de custo para as quatro faixas de capacidade propostas. Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, dentre outros.

No cálculo de distâncias e os custos de transporte entre os nós da rede, foram mapeados a localização de todos os nós da rede em coordenadas UTM e calculada a distância entre as coordenadas, acrescido de 10%. Para o cálculo do custo foram considerados os custos de

transporte obtidos conforme INCT-L de dezembro de 2015 (NTC, 2015). As densidades consideradas para os materiais transportados de PG e CT é de 65kg/m^3 (BASSANI, 2011) entre CT e CV e entre CV e ER é de 200 kg/m^3 (BRASIL, 2008) e o rejeito é de 230kg/m^3 (IBAM, 2009). Dessa forma, os CAC adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

Para calcular as estimativas das receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis, foram considerados os valores médios obtidos nas pesquisas com as OCMR. Os dados foram agrupados por macrorregião administrativa e para os valores de venda do papel e papelão foi realizado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* e como resultado obteve-se que não há evidências de diferenças significativas entre as medianas dos grupos. Para vidro e metal foi não foi possível realizar os testes devido a pouca quantidade de dados.

Portanto, quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Chegando a uma diferença de 50,5 % para a embalagem do tipo “Tetrapack”, 16,8% para o Plástico tipo PET e 49,9% para o vidro. Para este estudo são considerados como valor de comercialização, os valores médios de venda praticados pelas OCMR do ES, a saber, Papel: R\$214,9/t; Plástico: R\$625,9/t; Metal: R\$ 1471,6/t; e Vidro: R\$61,7/t.

REFERÊNCIAS

- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2014*. ABRELPE, São Paulo, 2015.
- ABIPLAST – Associação Brasileira da Indústria do Plástico. *Empresas Associadas - 2015*. Disponível em: < <http://abiplast.org.br/associadas> >. Acesso em 15 jun. 2015.
- AQUINO, I. F.; CASTILHO JUNIOR, A. B.; PIRES, T. S. L. A organização em rede dos catadores de materiais recicláveis na cadeia produtiva reversa de pós-consumo da região da grande Florianópolis: uma alternativa de agregação de valor. *Revista Gestão & Produção*, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 15-24, 2009.
- BARBOSA, R. F; BRAGATO, L. C, V.; PIMASSONI, L. H. S. Quantificação do grau de conscientização Ambiental e do consumo ecológico em dois bairros de classes sociais distintas no Município de São Gabriel da Palha/ES. *Revista Científica Faesa*. v. 8, n. 1, p. 27-40, 2012.
- BASSANI, P. D. *Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais: Estudo de caso em Vitória-ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento. FADE - Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Universidade Federal de Pernambuco. *Produto 10: Relatório final de avaliação técnica, econômica e ambiental das técnicas de tratamento e destinação final dos resíduos*. Pesquisa Científica BNDES FEP Nº02/2010 Contrato nº 11.2.0519.1. 2013.
- BRAGA, F. S.; NÓBREGA, C.C.; HENRIQUES, V. M. Estudos da composição gravimétrica dos resíduos domiciliares em Vitória – ES. *Revista Limpeza pública*. Ed 55, p. 11-18, 2000.
- BRASIL, G. H.; CASTIGLIONI, A. H.; FELIPE, C. U.; GRILLO, F. S.; SALLES, D. *Projeções populacionais para o Espírito Santo: 2015-2030*. Nota Técnica – ES 2030. 166p. 2013. Disponível em < www.es2030.com.br >. Acesso em 22 nov. 2014.
- BRASIL. Lei nº. 12.305/ 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 03/08/2010*. 2010a.
- BRASIL. Decreto nº 7.404/2010. Regulamenta a Lei nº. 12.305/2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. *Diário Oficial da União de 23/12/2010*. 2010b.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. *Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem*. Brasília, 2008. 53 p.
- BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Diagnóstico do Manejo dos Resíduos Sólidos Urbanos – 2014*. Brasília. 2016a.
- BRASIL. Ministério das Cidades. SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. *Série Histórica - 2014*. [online]. 2016. Disponível em < <http://www.cidades.gov.br/serieHistorica/> >. Acesso em 15 jun. 2016.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. *Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos*. Brasília, 2011. 75 p.

BRINGHENTI, J. R. *Programas de Coleta Seletiva de Resíduos Sólidos Urbanos: Aspectos Operacionais e da Participação da População*. 2004. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública da USP, São Paulo, 2004.

BRINGHENTI, J. R.; LAIGNIER, I. T. R.; LOUZADA, J.P.; BRUNETTI, O. B.; ROMANO, E. B. Gerenciamento de programas de coleta seletiva de lixo em condomínios residenciais: um estudo de caso. In: Congresso Interamericano de Resíduos Sólidos de AIDIS, 2009. Buenos Aires. *Anais*. Buenos Aires: AIDIS, 2009.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem. Lixo Municipal: *Manual de Gerenciamento Integrado*. André Vilhena (Coord.). 3.ed. São Paulo: CEMPRE, 2010.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Base de dados das empresas cadastradas como recicladoras*. 2015 Disponível em < <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>>. Acesso em 15 dez. 2015.

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Base de dados dos preços dos materiais recicláveis de 2009 a 2015*. 2016. Disponível em < <http://cempre.org.br/servico/mercado2015>>. Acesso em 20 jan. 2016.

CERQUEIRA, C. L.; SPECK, H. G.; MURATA, A. T. A Estratégia da Integração Vertical: Estudo de Caso da Cooperativa de Valorização de Materiais Recicláveis do Paraná. In: Encontro de Estudos sobre Empreendedorismo e Gestão de Pequenas Empresas, 2014, Goiânia. *Anais VIII EGEPE*, 2014.

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

DAMÁSIO, J. (Coord.). *Cadeia produtiva da reciclagem e organização de redes de cooperativas de catadores: oportunidades e elementos críticos para a construção de tecnologia social de combate à pobreza e inclusão social no estado da Bahia*. Relatório Final de Pesquisa. Bahia: FAPESB, 2008.

DAMÁSIO, J (Coord.). *Impactos socioeconômicos e ambientais do trabalho dos catadores na cadeia da reciclagem*. Relatório Final. Brasília: MDS/Pangea, 2010.

Espírito Santo. Lei Ordinária nº 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo. 2011. *Diário Oficial-ES de 28/12/2011*.

ESPÍRITO SANTO. Lei Ordinária nº 9.264 de 15/07/2009. Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências. 2009a. *Diário Oficial-ES de 16/07/2009*.

ESPÍRITO SANTO. Decreto nº 2363-R de 24/09/2009. Dispõe sobre a criação do Programa Capixaba de Materiais Reaproveitáveis 2009b. *Diário Oficial-ES de 25/09/2009*.

ESPÍRITO SANTO. Secretaria de Desenvolvimento. *Banco de Polos e Áreas Empresariais*. 2016. Disponível em: < <http://www.invistanoes.es.gov.br/2016-08-30-20-23-23/banco-de-polos-e-areas-empresariais>. >. Acesso em 13 de jun. 2016.

EUROPEAN COMMISSION. *Material prices for recyclates*. 2016. Disponível em < <http://ec.europa.eu/eurostat/web/waste/waste-related-topics/prices-for-recyclates>>. Acesso em 20 jun. 2016.

FERRI, G. L.; CHAVES, G. DE L. D.; RIBEIRO, G. M. Reverse logistic network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. *Waste Management*, v. 40, p. 173-191, 2015.

FORLIN, F. J.; FARIA, J. de A. F. Considerações Sobre a Reciclagem de Embalagens Plásticas. *Polímeros* [online]. v.12, n.1 p.1-10. 2002.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. José Henrique Penido Monteiro (Coord.). Rio de Janeiro: IBAM, 2009.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo*. [online]. 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_PO_S_CONSUMO/>. Acesso em 13 set. 2014.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2008*. IBGE: 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Sinopse do Censo Demográfico 2010*. 2012. Rio de Janeiro. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em 20 jun. 2016.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística . Sistema Nacional de Índices de Preços ao Consumidor. *Séries Históricas*. Brasil, 2015. Rio de Janeiro. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/precos/inpc_ipca/defaultseriesHist.shtm>. Acesso em 13 set. 2014.

IEMA - Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. *Consulta de licenças*. 2015. Disponível em <<http://www.meioambiente.es.gov.br/>>. Acesso em 20 dez. 2015.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico dos Resíduos Sólidos Urbanos*. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012a.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. *Diagnóstico sobre catadores de Resíduos Sólidos*. Relatório de Pesquisa. Brasília, 2012b.

LAIGNIER, I. T. R. *Caracterização gravimétrica e comercial dos resíduos sólidos urbanos recolhidos em Postos de Entrega Voluntária do Sistema de Coleta Seletiva da Prefeitura Municipal de Vitória – ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2001.

MARTINS, N. M.; CRUZ, C. S.; COUTO, M. C. L. Composição de custos de implantação e operação de centrais de valorização de resíduos sólidos urbanos secos. *Revista Faesa*. 2016.

MORIGAKI, M. M. *Indicadores de recuperação de material reciclável da Unidade de Triagem de Vitória – ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2003.

NTC - Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística. DECOPE - Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Técnicas e Econômicas. *Relatório mensal do INCTF e o INCTL*: dezembro. 2015. Disponível em: <http://www.setcarfs.com.br/inct/inct_dezembro2015.pdf>. Acesso em 20 jun. 2016.

PEPINELLI, R. F. G. *Empreendimentos econômicos solidários de catadores: Cadeias produtivas de resíduos, processos tecnológicos e parcerias*. Dissertação (Mestrado em Ciências, em tecnologias e sociedades). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2011.

PLASTIVIDA - Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. *Monitoramento dos Índices de Reciclagem Mecânica de Plástico no Brasil (IRmP) 2011*. 2012. Disponível em: <http://www.plastivida.org.br/images/temas/Apresentacao_IRMP2011.pdf>. Acesso em 12 jun. 2015.

PMVNI – Prefeitura Municipal de Venda Nova do Imigrante. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos de Venda Nova do Imigrante – ES*. 2014. Disponível em: <<http://c2sisweb.tecnologia.ws/SisWeb/Repositorio/Arquivos/0/63215d23-b.pdf>>. Acesso em 20 set. 2015.

Rota da Reciclagem. *Busca de entidades*. 2015. Disponível em: <<http://www.rotadareciclagem.com.br/index.html?method=buscaEntidades>>. Acesso em 15 dez. 2015.

SEBRAE. *Cooperativa de catadores de materiais recicláveis: Guia de implantação*. Roberto Domenico Lajolo (Coord). IPT: São Paulo. 2003.

SEDURB - Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano. *ES sem Lixo*. 2014. Disponível em: <<http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em 13 de ago. 2015.

SOTO, M. M. T. *Análise e formação de redes de cooperativas de catadores de materiais recicláveis no âmbito da economia solidária*. 2011. 214 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

VIDAL, A. C.; HORA, A. B. *A indústria de papel e celulose*. 2011. Disponível em: http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/livro60anos_perspectivas_setoriais/Setorial60anos_VOL1PapelECelulose.pdf Acesso: 18 nov. 2014.

VILHENA, A. *Guia da Coleta Seletiva de Lixo*. São Paulo, CEMPRE – Compromisso Empresarial para Reciclagem, 1999.

APLICAÇÃO DOS MODELOS MATEMÁTICOS

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentada uma aplicação do modelo matemático descrito no Capítulo 2, utilizando os parâmetros de entrada obtidos a partir do estudo de campo, apresentados no Capítulo 3. As premissas do modelo baseiam-se na minimização dos custos de implantação e operação do Sistema de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo, bem como a maximização das receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis. O objetivo é alocar Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) em locais estratégicos e definir os melhores fluxos entre os nós da rede logística desenvolvida no Capítulo 2. Este modelo foi tratado como Modelo Otimizado.

A fim de discutir outras possibilidades de alocações dos CT e das CV, o Modelo Otimizado foi modificado considerando outras duas situações distintas. A primeira situação é tratada como Modelo Alternativo, em que todos os CT candidatos são obrigatoriamente alocados e as CV alocadas são definidas pela modelagem. Desta forma todas as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) candidatas são alocadas no sistema. Na segunda situação, o modelo matemático é ajustado para que os materiais recicláveis sejam encaminhados diretamente dos CT para as Empresas Recicladoras (ER), e nenhuma CV é alocada. Esta situação é tratada como Modelo Atual, pois até a data da realização da pesquisa não existiam CV no estado do Espírito Santo (ES).

Apesar de os modelos desenvolvidos serem determinísticos, verificou-se na etapa de levantamento de campo que alguns dados podem sofrer variações e estas podem impactar no resultado do problema de otimização considerado e, conseqüentemente, na configuração da rede logística. Desta forma, para analisar a sensibilidade do modelo às variações que podem ocorrer em função dos parâmetros foram construídos cenários.

Os cenários baseiam-se em condicionantes e em hipóteses em relação à taxa de retorno das embalagens por parte da população, à produtividade das OCMR, aos custos de transporte e aos preços de venda dos materiais para indústrias recicladoras. Portanto, os cenários construídos ajudarão a avaliar como alterações sofridas por estes dados podem trazer alterações nos resultados do modelo logístico.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar os modelos matemáticos considerando os dados obtidos em coleta de campo no estado do Espírito Santos.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar os resultados do modelo logístico otimizado em relação aos resultados da função objetivo e a organização de Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS);
- Ajustar o modelo logístico otimizado e das duas situações distintas que representam alternativas operacionais para os SLR de embalagens pós-consumo;
- Realizar análise de sensibilidade do modelo logístico por meio de construção de cenários.

3 METODOLOGIA

Neste Capítulo são apresentados os resultados obtidos na Etapa 4 da pesquisa, em que foi realizada a aplicação do modelo matemático desenvolvido no Capítulo 2 e utilizados os dados de campo apresentados no Capítulo 3. Esta Etapa é composta por 3 Fases descritas a seguir:

3.1 Fase 1: Implementação dos Modelos matemáticos em "solver"

Na Fase 1 os modelos descritos no Capítulo 2, foram implementado no *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

3.2 Fase 2: Desenvolvimento do Modelo Otimizado, Alternativo e Atual

Na Fase 2 foram desenvolvidos os Modelo Otimizado descritos no Capítulo 2, Item 5.2. Para possibilitar as análises de outras duas situações, que também podem ocorrer na prática, foram analisados o Modelo Atual e Modelo Alternativo que e também foram descritos no Capítulo 2, nos Item 5.3 e 5.4, respectivamente.

No Modelo Atual não existem CV e ele representa a situação atual, onde as OCMR realizam a triagem e prensagem dos materiais recicláveis e comercializam diretamente com as ER.

No Modelo Alternativo foi considerado que todos os CT candidatas são obrigatoriamente alocadas. Nesta situação, todas as 54 OCMR identificadas deverão fazer parte do SLR, permitindo que haja uma inter-relação entre o SLR de embalagens e os Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS), tendo as OCMR como elo.

3.3 Fase 3: Construção de cenários e análise de sensibilidade

Na Fase 3 foi realizada uma análise de sensibilidade do modelo por meio da construção de cenários. Estes foram construídos para o Modelo Otimizado, o Modelo Alternativo, e o Modelo Atual.

Com a construção dos cenários foi possível avaliar como as alterações sofridas por alguns dados podem provocar alterações no resultado da Função Objetivo. Os cenários foram construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população,

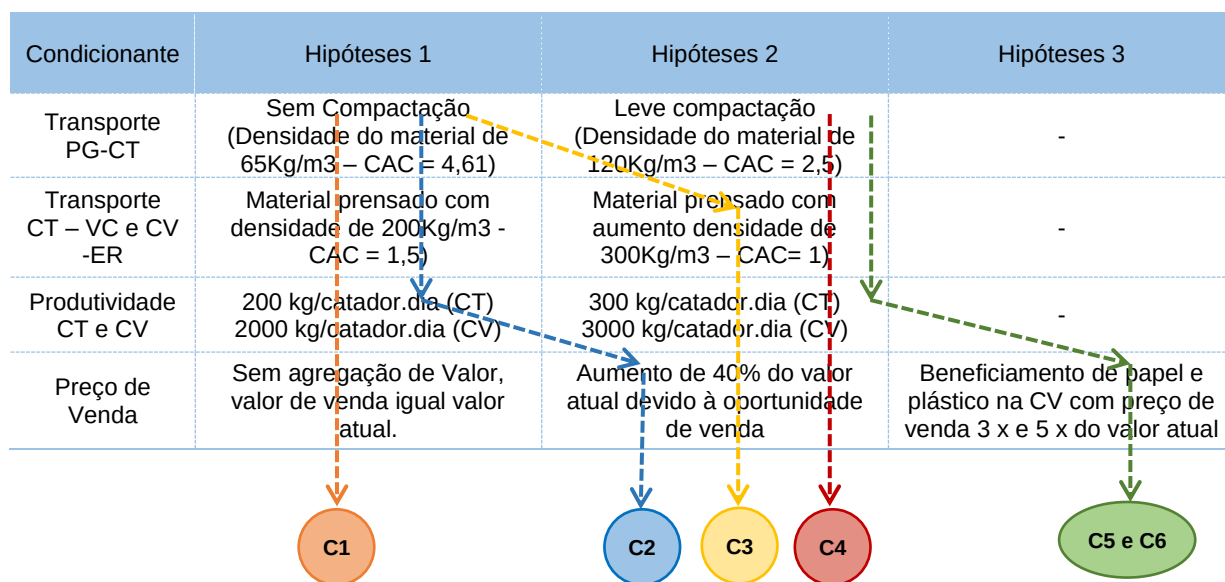
em aspectos operacionais do sistema como a produtividade da associação de catadores, os custos de transporte e o preço de venda dos materiais para indústrias recicladoras.

Desta forma, os cenários foram denominados de Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista. Para a taxa de retorno foi considerado:

- Cenário Pessimista: taxa de retorno de 5% do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.
- Cenário Conservador: taxa de retorno de 20% do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.
- Cenário Otimista: taxa de retorno de 40% e 60% do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município.

Para avaliação do modelo matemático quanto aos aspectos operacionais, foram testados seis cenários. O Cenário 1 é considerado Pessimista, os cenários 2 e 3 são Conservadores e os Cenários 4, 5 e 6 são Otimistas. A Figura 4.3.1 apresenta as condicionantes e as hipóteses adotadas para a construção dos mesmos.

Figura 4.3.1: Condições operacionais considerados para a construção de Cenários.



Nota: CAC - Coeficiente de Acréscimo de Cubagem

O Cenário 1 (C1) é um cenário pessimista, pois são mantidos os custos atuais do sistema de coleta seletiva e os preços atuais de comercialização dos materiais recicláveis, obtidos na pesquisa de campo, Capítulo 3. As CV são utilizadas apenas como pontos de transbordos, sem

agregação de valor à carga. Este cenário é semelhante às premissas adotada no EVTE para embalagens pós-consumo IBAM (2012).

O Cenário 2 (C2) é um cenário conservador, pois são mantidos os custos atuais do sistema de coleta seletiva obtidos na pesquisa de campo, Capítulo 3, e não são previstas melhorias em relação à produtividade dos CT e CV, bem como das condições de transporte. No entanto, é admitido que as CV servem como ponto de concentração de carga, e o valor de comercialização sofre um acréscimo de 40%, devido à possibilidade de melhores oportunidades de venda.

O Cenário 3 (C3) também é um cenário conservador, mas diferencia-se do C2 em relação às melhorias operacionais nos CT e nas CV, com um aumento na capacidade dos CT e CV, propiciando aumento no peso específico dos materiais prensados e consequente redução dos custos de transporte do CT para a CV e das CV para as ER.

O Cenário 4 (C4) é considerado Otimista, pois além das melhorias operacionais ocorridas a partir dos CT, estabelecidas no Cenário 3, também são acrescentadas melhorias no processo de transporte do PG até os CT, com leve compactação dos materiais, e consequente redução dos custos de transporte.

Os Cenários 5 e 6 (C5 e C6) também são cenários otimistas e diferem do Cenário 4, pois neste cenário as CV passam a realizar processos de beneficiamento primário com papel e plástico, elevando o valor médio de comercialização destes materiais de três e de cinco vezes em relação aos preços praticados na situação atual, respectivamente. Para tanto, é previsto um aumento nos custos de implantação e operação das CV da ordem de 50%. Para esta situação é considerado que 20% do papel e do plástico beneficiado tornam-se rejeito e, portanto, necessitam ser transportados e destinados para aterros sanitários.

Estas alterações exigem uma modificação na função objetivo, com o acréscimo de mais duas parcelas, além de novas restrições que modelem esta situação. O Modelo para C5 e C6 foi apresentado no Capítulo 2, Item 5.2.8.

Na Tabela 4.3.1 são apresentadas as capacidades operacionais dos cenários, os respectivos Coeficiente de Acréscimo de Cubagem (CAC) considerados nos cálculos dos custos de

transporte, os custos de disposição dos rejeitos e os valores de comercialização dos materiais recicláveis.

Tabela 4.3.1: Capacidades das instalações e CAC para os cenários analisados.

Cenários	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Capacidade das instalações (t/mês)						
CT - Faixa 1	50,5	50,5	75,8	75,8	75,8	75,8
CT - Faixa 2	168,4	168,4	252,6	252,6	252,6	252,6
CT - Faixa 3	421,1	421,1	631,6	631,6	631,6	631,6
CT - Faixa 4	842,2	842,2	1263,2	1263,2	1263,2	1263,2
CV - Faixa 1	260,0	260,0	390	390	390	390
CV - Faixa 2	520,0	520,0	780	780	780	780
CV - Faixa 3	1300,0	1300,0	1950	1950	1950	1950
CV - Faixa 4	2600,0	2600,0	3900	3900	3900	3900
CAC em função da densidade						
PG – CT	4,61	4,61	4,61	2,5	2,5	2,5
CT – CV	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
CV – ER	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0
CT – AS	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3
Valor de venda (R\$/t)						
Papel	214,86	300,804	300,804	300,804	644,58	1074,3
Plástico	625,86	876,204	876,204	876,204	1877,58	3129,3
Metal	1471,61	2060,254	2060,254	2060,254	2060,3	2060,3
Vidro	61,67	86,338	86,338	86,338	86,3	86,3
Disposição de rejeito	91,36	91,36	91,36	91,36	91,36	91,36

Nota:

CAC - Coeficiente de Acréscimo de Cubagem

O CAC é calculado dividindo-se por 300kg/m^3 , que é considerada uma densidade ideal de transporte, pela densidade do material transportado.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Modelo Otimizado

No Modelo Otimizado foram analisados seis cenários relacionados às condições operacionais, sendo que para cada cenário foram analisadas as quatro taxas de retorno, totalizando 24 cenários para o Modelo Otimizado.

Com os resultados do modelo e a informação sobre quais CT e CV foram alocados e quais fluxos foram estabelecidos entre os nós da rede, foi possível avaliar o comportamento do modelo em função dos cenários propostos. A Tabela 4.4.1 apresenta os resultados obtidos para o Modelo Otimizado no que se refere aos custos do sistema, às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis, ao lucro bruto do sistema e a taxa receita/custo.

Tabela 4.4.1: Resultados dos cenários analisados – Modelo Otimizado.

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1	5	1320,53	0,08	557,39	736,05	508,85	-227,20	69
	20	5282,13	0,28	499,37	2.637,72	2.035,38	-602,34	77
	40	10564,26	0,53	469,42	4.959,06	4.070,77	-888,29	82
	60	15846,39	0,80	480,94	7.621,24	6.106,15	-1.515,09	80
C2	5	1320,53	0,08	557,47	736,16	712,38	-23,78	97
	20	5282,13	0,28	499,39	2.637,85	2.849,54	211,68	108
	40	10564,26	0,53	469,46	4.959,52	5.699,07	739,55	115
	60	15846,39	0,80	480,65	7.616,61	8.548,61	932,00	112
C3	5	1320,53	0,06	424,84	561,02	712,38	151,37	127
	20	5282,13	0,20	362,70	1.915,82	2.849,54	933,72	149
	40	10564,26	0,40	346,06	3.655,90	5.699,07	2.043,17	156
	60	15846,39	0,57	336,57	5.333,35	8.548,61	3.215,26	160
C4	5	1320,53	0,05	384,60	507,87	712,38	204,51	140
	20	5282,13	0,19	335,99	1.774,76	2.849,54	1.074,78	161
	40	10564,26	0,36	319,20	3.372,06	5.699,07	2.327,01	169
	60	15846,39	0,52	312,79	4.956,62	8.548,61	3.591,98	172
C5	5	1320,53	0,06	600,45	792,91	1.329,56	536,64	168
	20	5282,13	0,20	548,54	2.897,47	5.318,22	2.420,75	184
	40	10564,26	0,38	528,09	5.578,83	10.636,44	5.057,61	191
	60	15846,39	0,55	519,23	8.227,99	15.954,66	7.726,67	194
C6	5	1320,53	0,06	717,44	947,41	2.101,02	1.153,61	222
	20	5282,13	0,20	665,36	3.514,52	8.404,08	4.889,56	239
	40	10564,26	0,38	644,96	6.813,53	16.808,16	9.994,63	247
	60	15846,39	0,55	636,08	10.079,55	25.212,24	15.132,69	250

Nota: R/C – Receita Total /Custo total

A partir dos resultados, verifica-se que a taxa do total de receitas em relação ao total de custos (R/C) torna-se superior a 100% com as melhorias propostas a partir de C2. Ou seja, com a implantação de um SLR em que as CV tenham apenas a função de transbordo, sem agregação de valor aos materiais, a receita não cobre os custos.

O C1 com taxa de retorno de 20% (C1-20%) apresenta hipótese semelhante ao Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) para embalagens (IBAM, 2012). Neste cenário, apesar dos resultados ainda mostrarem uma taxa de Receita/Custo (R/C) de 77%, o custo unitário de R\$ 499,37/t representa uma redução 41,2% quando comparado aos resultados do EVTE, que apresenta um custo unitário médio de R\$849,01/t e com taxa R/C de 55,4% para o Brasil. No EVTE a relação de R/C é ainda mais crítica, 40,1%, para municípios com população inferior a 30 mil habitantes. (IBGE, 2012).

Mesmo no C2, quando as CV são consideradas como pontos de armazenamento temporário, e passam a agregar valor pela possibilidade de aguardar melhor oportunidade de comercialização, propiciando um aumento de 40%. As receitas obtidas ainda estão muito próximas aos custos, com taxa R/C variando de 97% a 112%. A relação R/C atinge valores maiores quando são propostos avanços operacionais para o sistema, a partir do C3 e à medida que a taxa de retorno aumenta. A Figura 4.4.1 e Figura 4.4.2 mostram a relação entre os custos e as receitas para os cenários do Modelo Otimizado.

Figura 4.4.1: Variação dos custos e receitas no Modelo Otimizado para o SLR de embalagens.

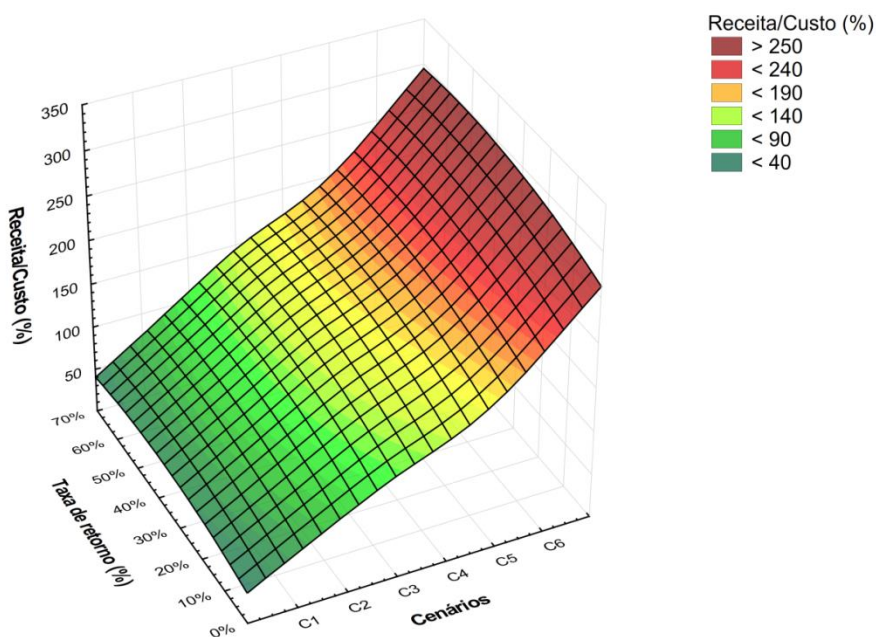
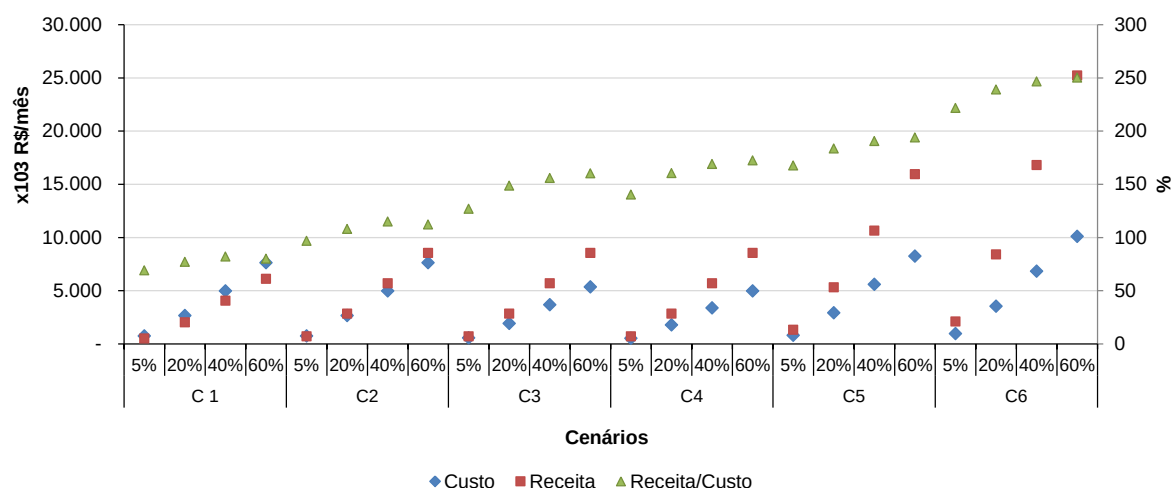


Figura 4.4.2: Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.

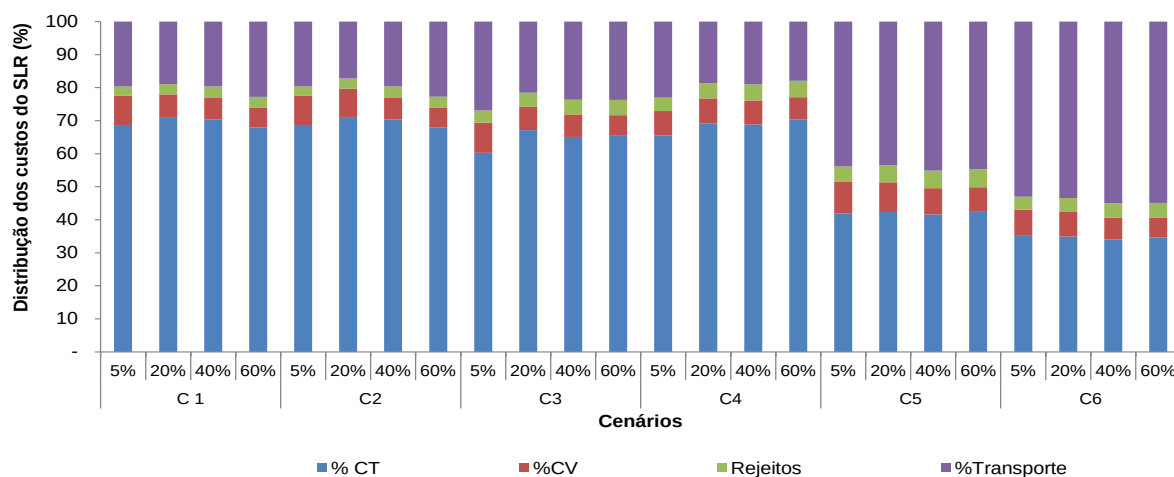


Observa-se que os melhores resultados ocorrem em C4, C5 e C6, devido às melhorias no transporte dos PG até os CT (C4) e alteração da função da CV realizando o beneficiamento primário para papeis e plásticos. Com agregação de valor a estes materiais, as taxas aumentaram de 3 (C5) a 5 (C6) vezes do preço atual, no qual, o resultado final é positivo com a taxa R/C superior a 168% para todas as taxas de retorno. Ressalta-se que em C5 e C6 estimou-se que 20% do papel e do plástico tornam-se rejeitos e estes são destinados para aterros sanitários, o que impõe mais custo para o sistema.

Portanto, para um SLR baseado apenas na triagem e prensagem dos materiais para comercialização direta, a preços atuais, exigirá gastos maiores ou muito próximos às receitas, os quais deverão ser arcados pelo setor empresarial para alcançar as metas do PLANARES (IPEA, 2012). Logo, melhorias operacionais devem ser implantadas para que esta relação entre Receitas e Custos tenha resultados mais positivos.

Os itens que mais contribuem para o custo do sistema são os CT, que correspondem em média a 58,1% dos custos totais. Do valor gasto com os CT, 93,2%, em média, representa custo operacional. Este alto custo deve-se principalmente à mão de obra, pois o processo utilizado pelas OCMR tem sido totalmente manual e o modelo considerou esta forma de trabalho. A Figura 4.4.3 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados.

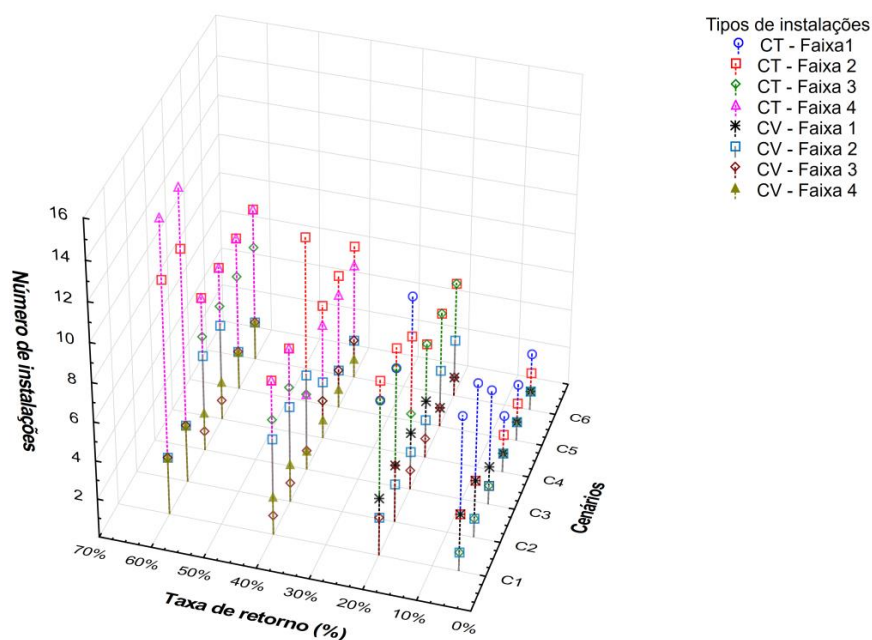
Figura 4.4.3: Distribuição dos custos nos cenários – Modelo Otimizado.



Nos C5 e C6, que passam a ter função de beneficiamento de papel e plástico, o custo com de instalação e operação das CV aumentam e são acrescidos de custos de transporte e disposição de rejeitos à função objetivo. Isto faz com que a parcela de custos com CT reduzam em relação às demais parcelas.

A Figura 4.4.4 permite analisar o número de CT e CV alocados nos cenários considerados, em relação à taxa de retorno das embalagens pela população.

Figura 4.4.4: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Otimizado.

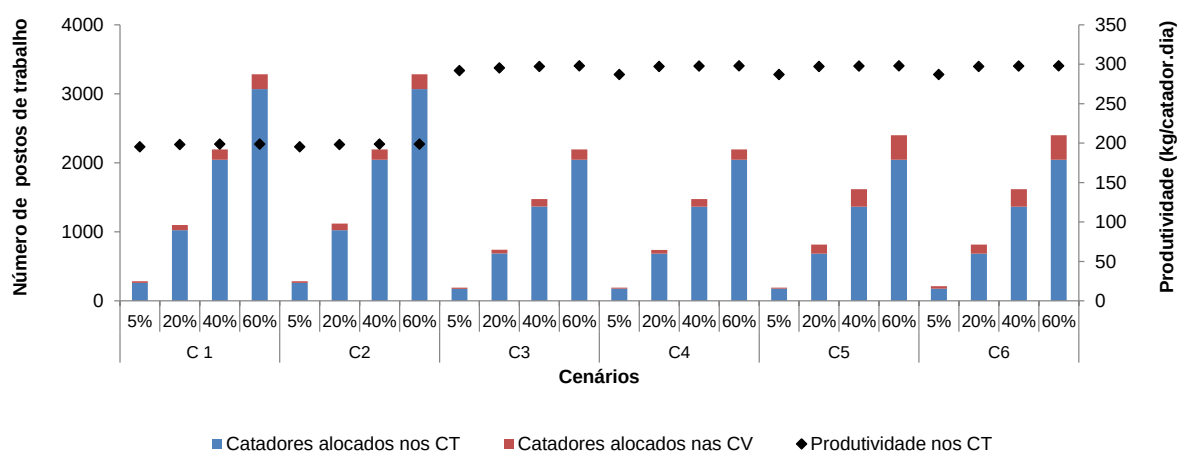


Observa-se que, com o crescimento da taxa de retorno das embalagens, aumentam-se a quantidade e o porte dos CT e CV alocados. Observa-se também que, para a mesma taxa de

retorno, existe uma semelhança no padrão de instalações alocadas. Foram alocadas em média 17,3 CT e 5,8 CV, o que representa 32% dos CT candidatos e 24% das CV candidatas, respectivamente.

O número de catadores necessários para o SLR atuando nos CT e CV apresentado na Figura 4.4.5, também é outra informação importante que o modelo proporciona, tendo em vista que um dos principais objetivos da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é a inclusão social dos catadores nos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS) e nos SLR de embalagens (BRASIL, 2010). O número de catadores está relacionado com a faixa de capacidade dos CT e CV alocados, e varia em função dos cenários.

Figura 4.4.5: Número de postos de trabalho nos CT e CV alocados – Modelo Otimizado.



Quanto mais intervenções de melhorias são inseridas, menor é o número de catadores requeridos para o sistema, pois os CT e CV passam a ter uma capacidade produtiva mais elevada. No EVTE de embalagens pós-consumo são previstos 2.370 postos de trabalho com 30 CT instalados no ES (IBAM, 2012). Em C1-20%, que é o cenário mais semelhante a esse estudo, o modelo aponta 1056 postos nos 25 CT alocados e 75 nas 7 CV alocadas. Esta redução ocorre, pois o sistema como um todo é otimizado, e o número de postos de trabalho está relacionado ao número de instalações alocadas e a faixa de capacidade das instalações. Por outro lado, o aumento na taxa de retorno, tende a ampliar os números de postos de trabalhos ofertados pelo SLR.

Outro indicador importante é a produtividade alcançada pelo sistema. Nos Cenários 1 e 2, em que não ocorrem mudanças operacionais no sistema, a produtividade média é de 198,20 kg/dia, próximo aos 200 kg/dia indicados por Brasil(2008, 2010) e IBAM(2012). Quando são

propostas melhorias operacionais com aumento da capacidade de produção (C3 a C6), a produtividade média passa para 295,1 kg/dia.

A otimização do sistema por meio da modelagem matemática permite organizar SLR bem ajustado, com pouca folga entre a capacidade alocada e a capacidade utilizada. Na Figura 4.4.6 e a Figura 4.4.7 é possível analisar o comportamento dos CT e CV em termos de capacidades requeridas e capacidades excedentes, considerando todas as instalações alocadas por cenário.

Figura 4.4.6: Capacidade operacional dos CT alocados - Modelo Otimizado.

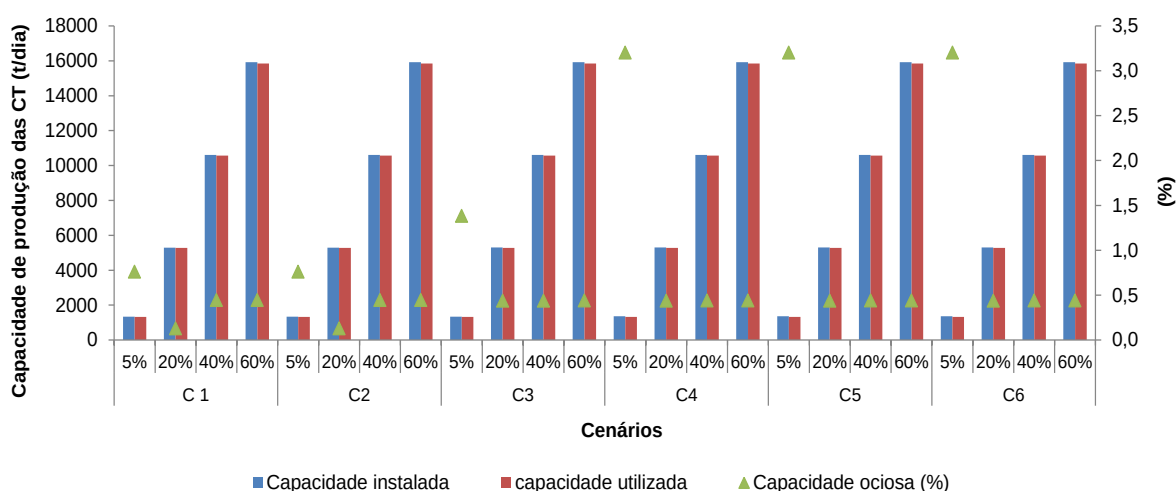
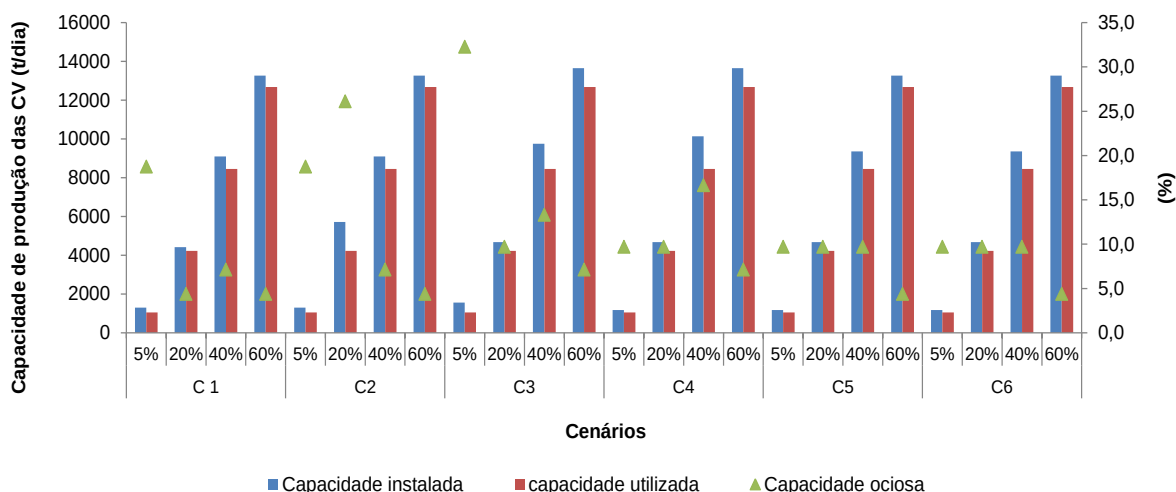


Figura 4.4.7: Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Otimizado.



A taxa de ociosidade média dos CT é de 0,82% e da CV é de 11%. Desta forma, é possível avaliar a margem de folga que estas instalações possuem caso haja um aumento na taxa de

retorno das embalagens além do previsto. Portanto, a otimização realizada garantiu uma boa utilização dos CT e CV alocados com pouca ociosidade das instalações.

4.1.1 Detalhamento dos resultados do Modelo Otimizado no Cenário Conservador

Para uma análise mais detalhada do Modelo Otimizado, foi escolhido o Cenário Conservador C3, com taxa de retorno de 20% (C3-20%), como sendo o tem mais possibilidade de ser alcançado em médio prazo para o ES, pois nesse Cenário é previsto um ambiente onde os CT instalados sejam dotados de melhorias operacionais em relação ao que ocorre nas atuais OCMR na realização da triagem dos materiais advindos dos SMCS. Isto inclui aumento na capacidade dos equipamentos de prensagem, e consequente redução dos custos de transporte da CT para CV e das CV para ER devido ao aumento da densidade da carga. Nesse ambiente as CV servem como ponto de concentração de carga, e o valor de comercialização sofre um acréscimo de 40%, devido à possibilidade de melhores oportunidades de venda.

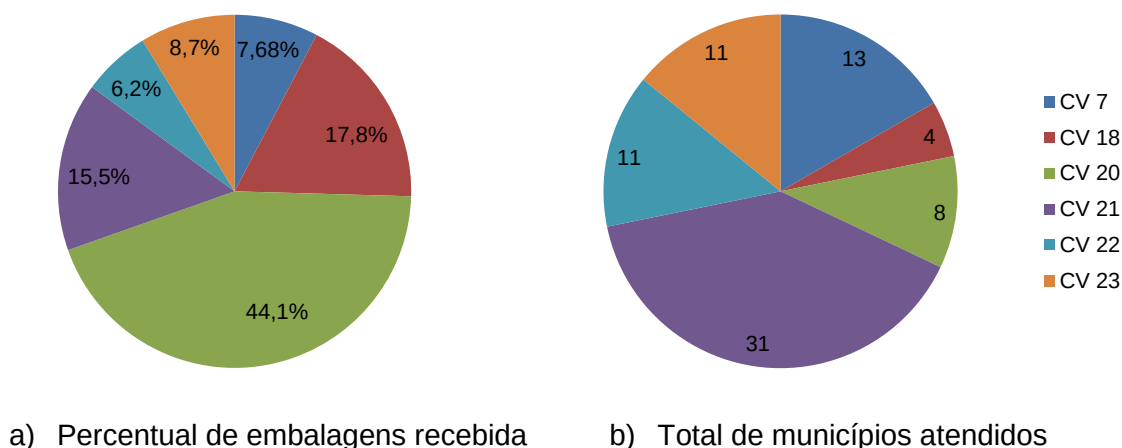
Como resultado da otimização do Cenário Conservador com taxa de retorno de 20% (C3-20%) obteve-se um custo unitário de R\$362,70/t.mês ou R\$0,65/hab.mês, resultando em uma relação de R/C de 148,7%.

Em C3-20% foram alocadas 22 CT candidatas, sendo que dez foram alocadas com Faixa de capacidade 1 (75t/mês), três com Faixa 2 (252,6 t/mês) e quatro com Faixa 3 (631,6t/mês). A taxa de ociosidade das CT é de 0,13% o que mostra que a capacidade projetada foi quase totalmente utilizada com as alocações definidas pelo modelo.

Nesse cenário foram alocadas seis CV sendo três com Faixa de capacidade 1 (390t/mês), duas com Faixa 2 (750t/mês) e uma com Faixa 3 (1950t/mês) de capacidade. As CV alocadas foram: CV 7 em Boa Esperança; CV 18 em Vila Velha; CV 20 em Cariacica; CV 21 em Cachoeiro de Itapemirim; CV 22 em Colatina e CV 23 em Linhares.

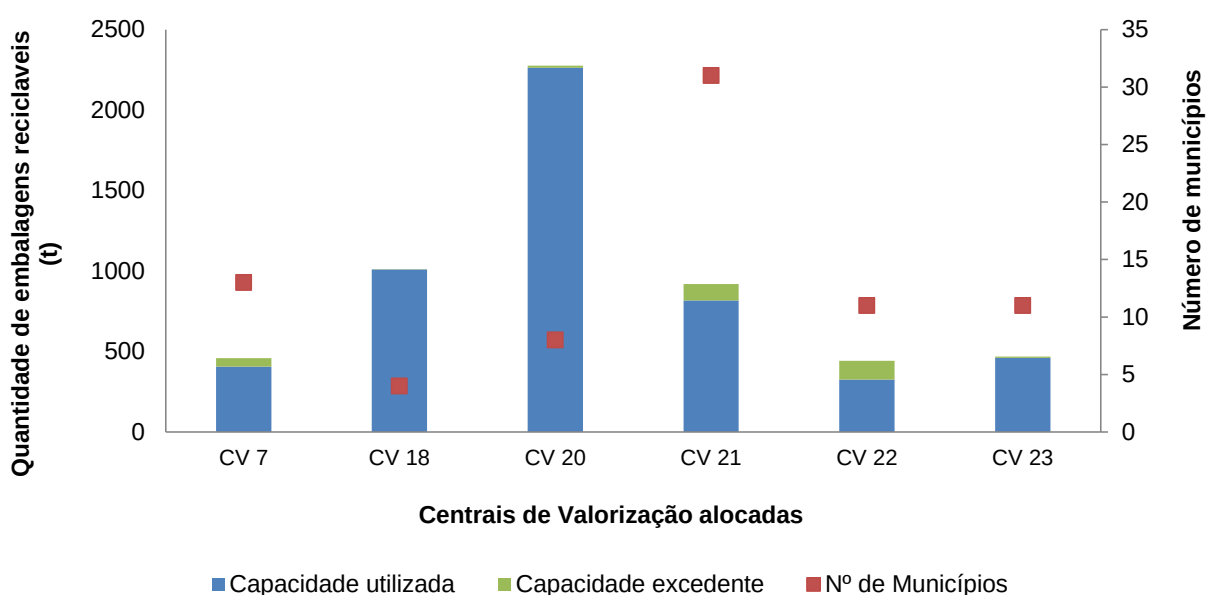
As CV 18 e 20, localizadas nos municípios de Vila Velha e Cariacica, receberão materiais de oito municípios localizados na RMGV e redondezas, e juntos são responsáveis por 60,85% das embalagens retornadas pela população. Sendo os 39,15% restantes distribuídos nas demais CV no interior do Estado, como se observa na Figura 4.4.8 a e b.

Figura 4.4.8: Distribuição das embalagens recicláveis nas CV alocadas – Modelo Otimizado.



A Figura 4.4.9 permite visualizar as capacidades operacionais das CV alocadas em C3-20%. Para este Cenário a taxa de ociosidade das CV alocadas é de 4,4%.

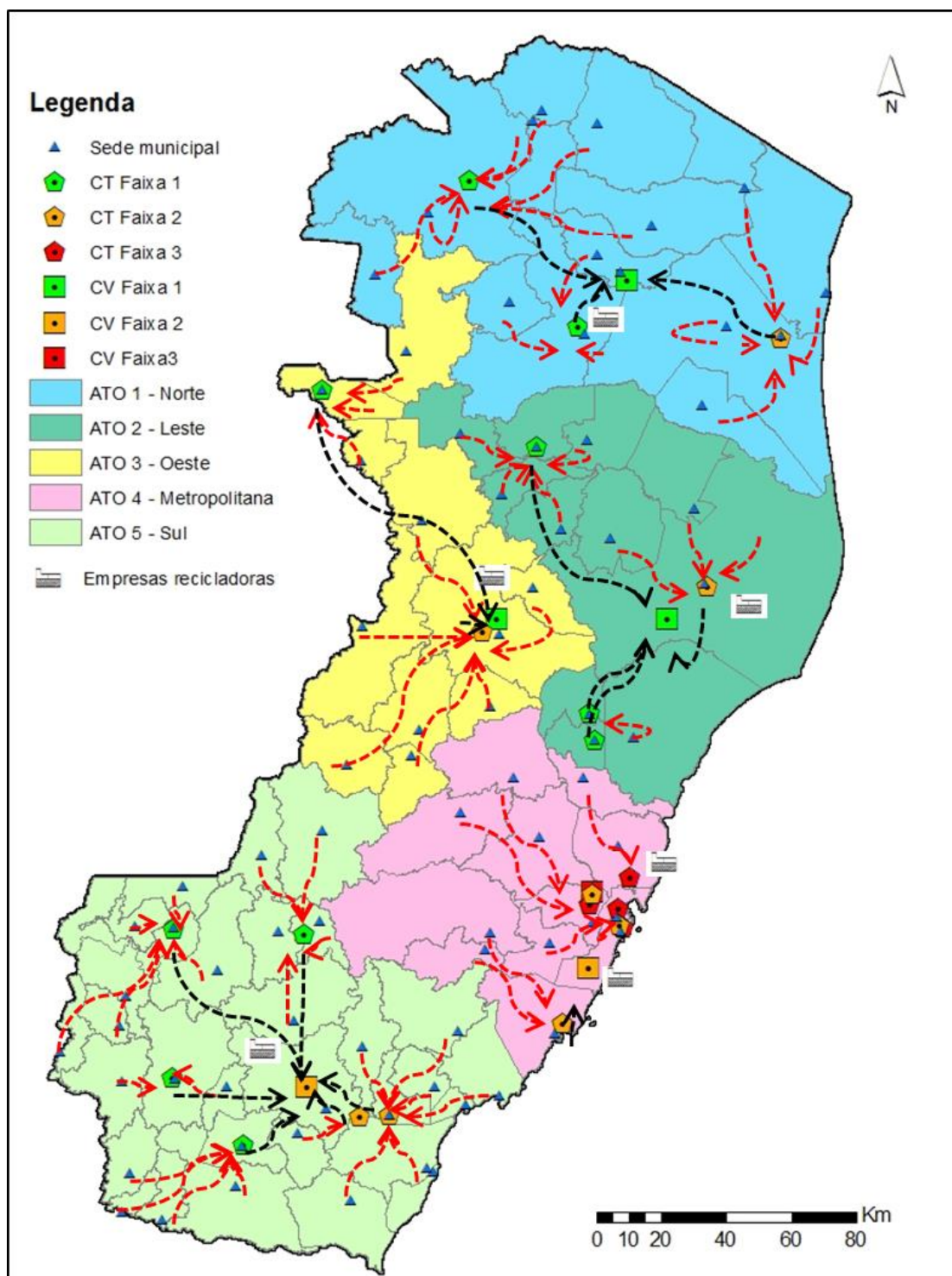
Figura 4.4.9: Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20% - Modelo Otimizado.



A partir da espacialização dos CT e CV alocados, foram constituídos os ATOS para o SLR. São considerados ATOS os agrupamentos de municípios, cuja quantidade de embalagens encaminhadas para o SLR justifique a alocação de CT e CV. Nos ATOS, ações regionalizadas podem ser desenvolvidas, atendendo de forma mais pontual as peculiaridades e as demandas regionais, sejam de aspectos econômicos, sociais ou culturais.

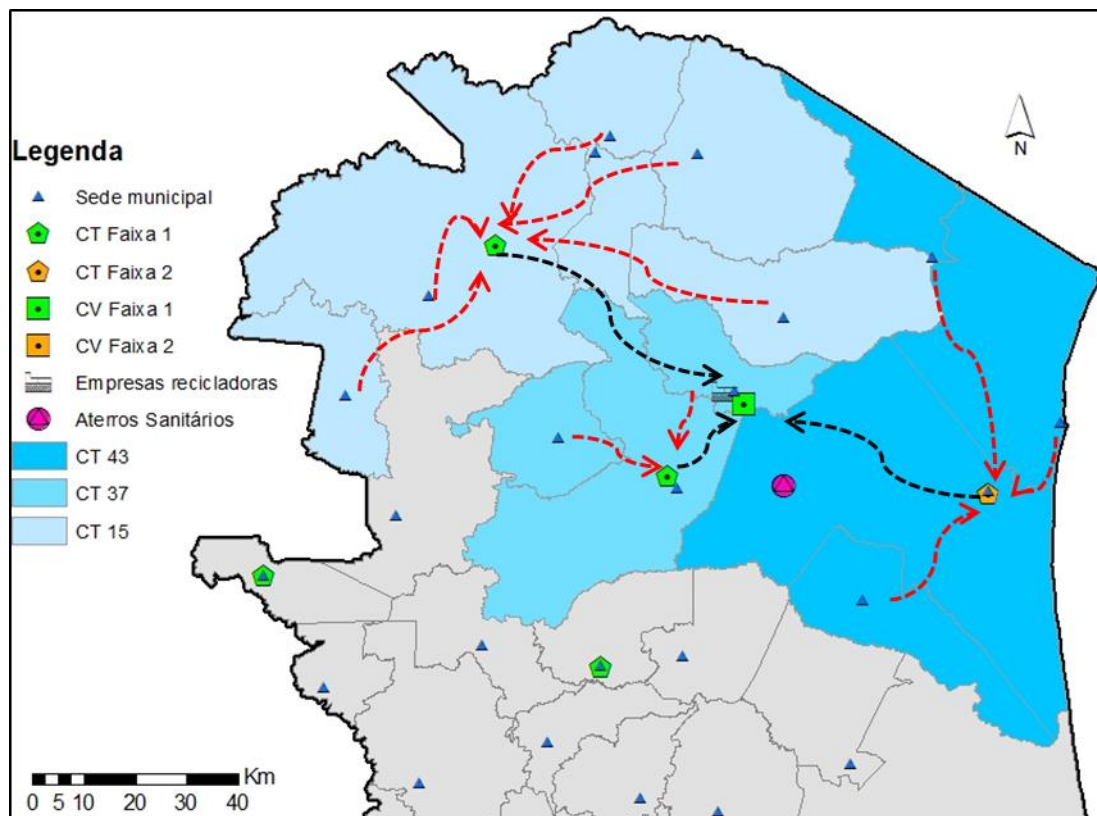
Nos ATOS coexistem municípios de pequeno, médio e grande porte, o que leva às situações distintas em relação ao número de instalações alocadas, ao número de municípios atendidos, e à capacidade requerida para estas instalações. Na Figura 4.4.10 é apresentado o mapa do ES organizado em ATOS conforme a alocação de CT e CV resultante do C3-20%.

Figura 4.4.10: Arranjo territorial ótimo para SLR de embalagens no ES – Modelo Otimizado.



A Figura 4.4.11 a Figura 4.4.15 apresentam os ATOS formados, com as informações relativas aos municípios que os compõe. Nos Quadro 4.4.1 a Quadro 4.4.5 são apresentados os nomes dos municípios que compõem os ATOS.

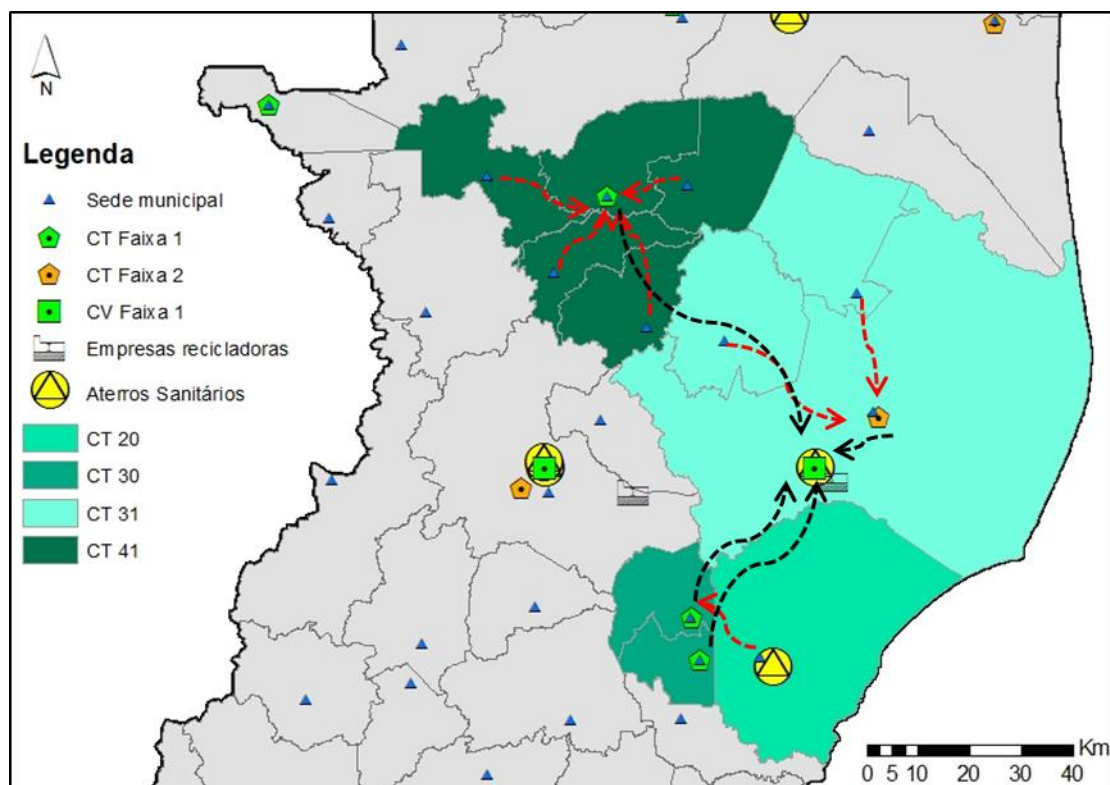
Figura 4.4.11: ATO 1 – Região Norte do estado do ES.



Quadro 4.4.1: Dados sobre o ATO 1 – Região norte do estado do ES.

CT 15 – Ecoporanga Faixa 1	Municípios: Águia Doce do Norte, Ecoporanga, Montanha, Mucurici, Pinheiros e Ponto Belo.	
CT 37 – Nova Venécia Faixa 1	Municípios: Boa Esperança, Nova Venécia e Vila Pavão.	
CT 43 – São Mateus Faixa 2	Municípios: Conceição da Barra, Jaguaré, Pedro Canário e São Mateus.	
CV 7: Boa Esperança Faixa 1	ER 13: Boa Esperança	AS 8: São Mateus

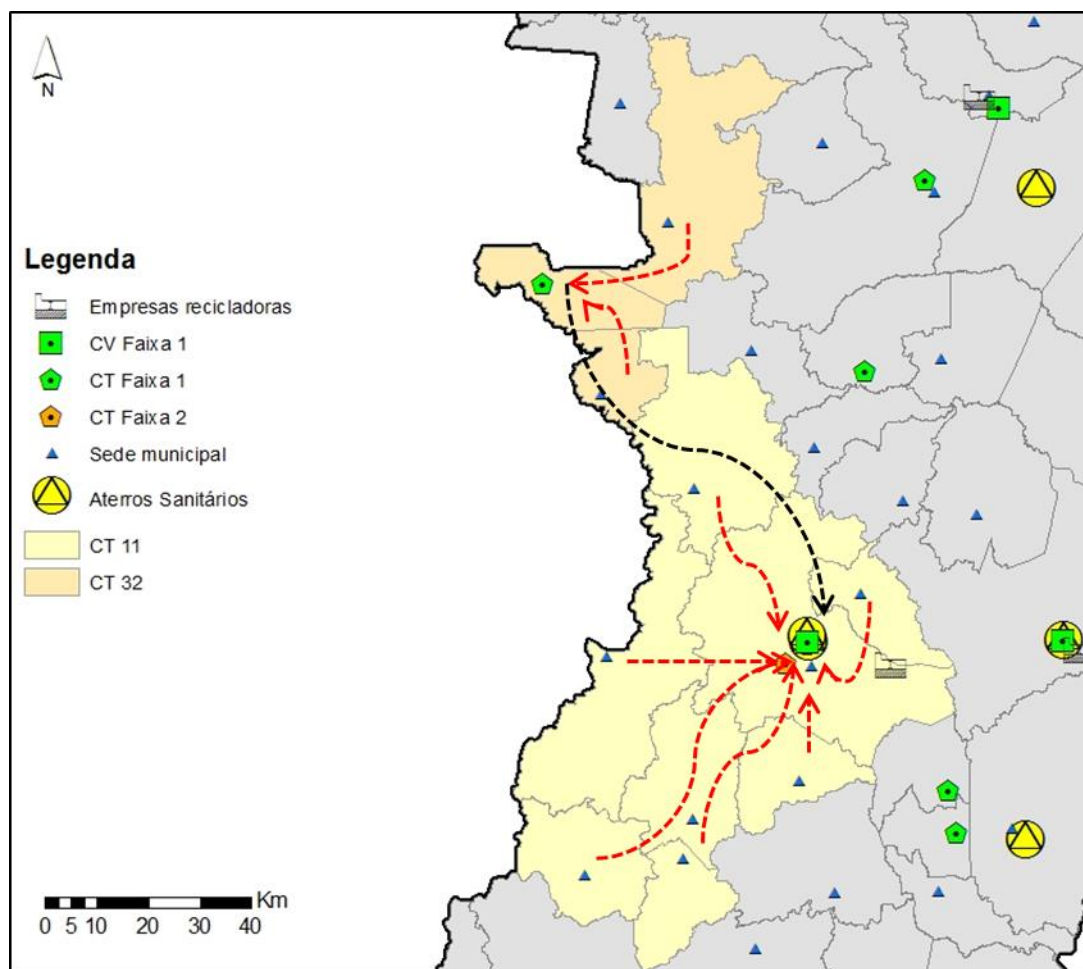
Figura 4.4.12: ATO 2 – Região leste do estado do ES.



Quadro 4.4.2: Dados sobre o ATO 2 – Região leste do estado do ES.

CT 20 – Ibraçu Faixa 1	Municípios: Aracruz e Ibraçu.	
CT 30 – João Neiva Faixa 1	Municípios: João Neiva.	
CT 31 – Linhares Faixa 2	Municípios: Linhares, Rio Bananal e Sooretama.	
CT 41 – São Gabriel da Palha Faixa 1	Municípios: Águia Branca, Governador Lindenberg, São Gabriel da Palha, São Domingos do Norte, Vila Valério.	
CV 23 – Linhares Faixa 1	ER 11 – Linhares	AS 2 – Aracruz AS 6 – Linhares AS 8 – São Mateus

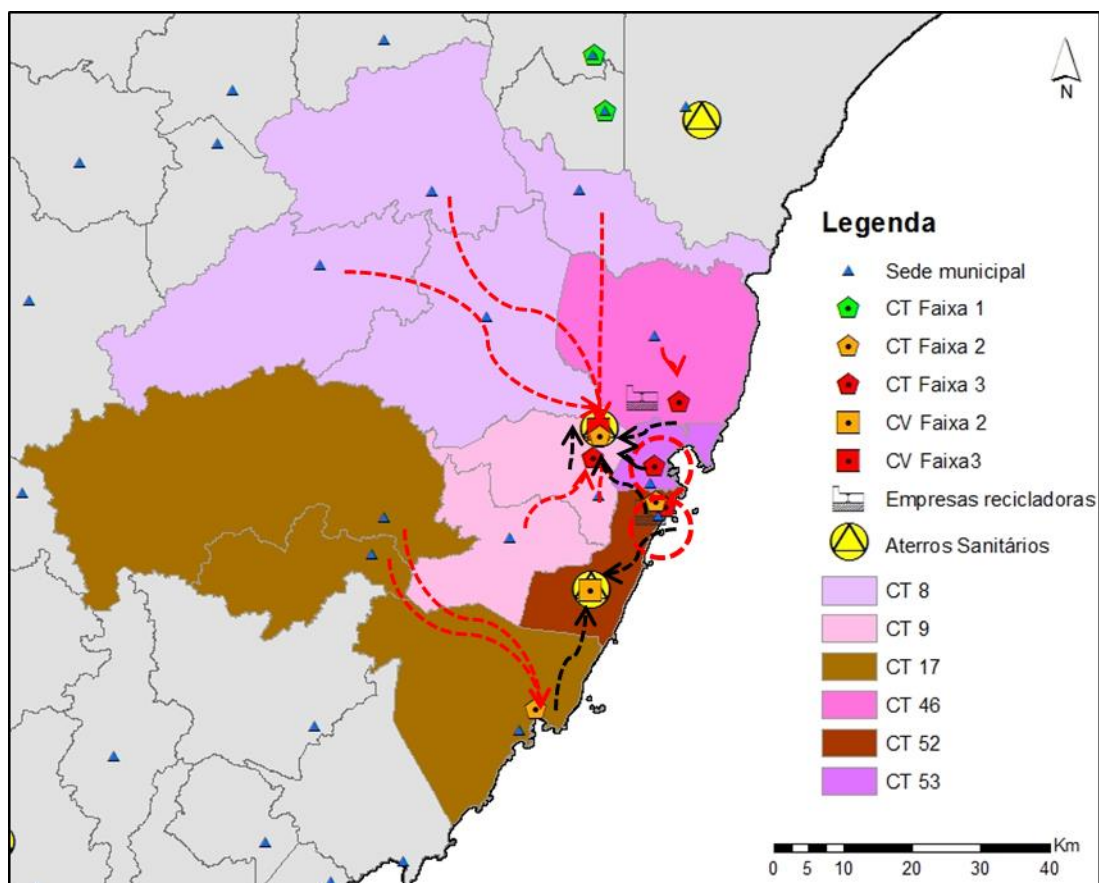
Figura 4.4.13: ATO 3 – Região oeste do estado do ES.



Quadro 4.4.3: Dados sobre o ATO 3 – Região oeste do estado do ES.

CT 11 – Colatina Faixa 2	Municípios: Baixo Guandu, Colatina, Itarana, Laranja da Terra, Marilândia, São Roque do Canaã, Itaguaçu e Pancas.	
CT 32 – Mantenópolis Faixa 1	Municípios: Alto Rio Novo, Mantenópolis e Barra de São Francisco.	
CV 22 – Colatina Faixa 1	ER 9 – Colatina	AS 7 – Colatina

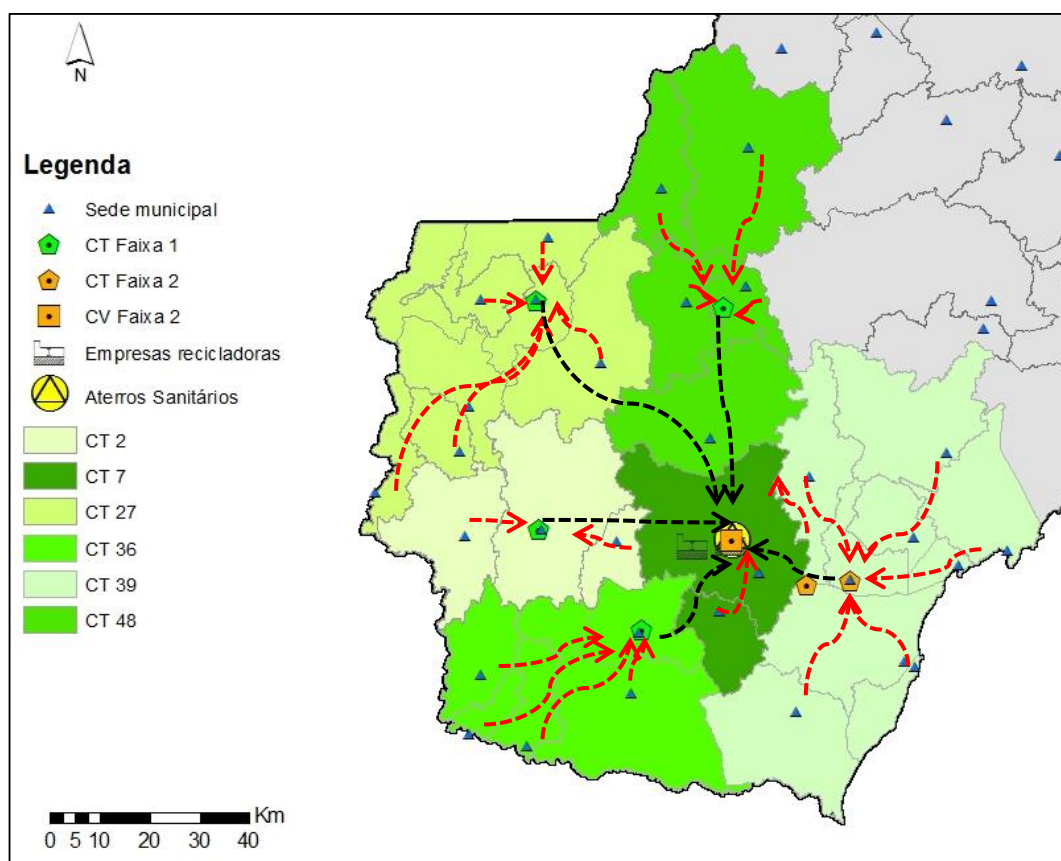
Figura 4.4.14: ATO 4 – Região metropolitana do estado do ES.



Quadro 4.4.4: Dados sobre o ATO 4 – Região metropolitana do estado do ES.

CT 17 – Guarapari Faixa 2	Municípios: Domingos Martins, Guarapari e Marechal Floriano.	
CT 52 – Vila Velha Faixa 2	Município: Vila Velha e Vitória	
CV 18 – Vila Velha	ER 4 - Vila Velha	AS 1 – Vila Velha AS 3 – Cariacica
CT 8 – Cariacica Faixa 2	Municípios: Fundão, Santa Leopoldina, Santa Maria de Jetibá, Santa Teresa, Serra.	
CT 9 – Cariacica Faixa 3	Municípios: Cariacica e Viana	
CT 46 – Serra Faixa 3	Municípios: Serra	
CT 53 – Vitória Faixa 3	Municípios: Vitória	
CV 20 – Cariacica Faixa 3	ER 14 – Serra	AS 3 - Cariacica:

Figura 4.4.15: ATO 5 – Região sul do estado do ES.

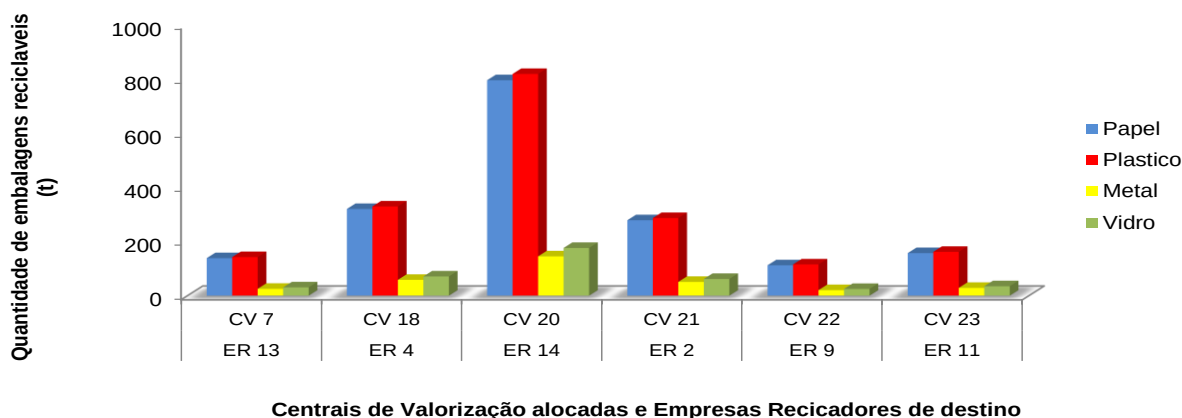


Quadro 4.4.5: Dados sobre o ATO 5 – Região sul do estado do ES.

CT 2 – Alegre Faixa 1	Municípios: Alegre, Guaçuí e Jerônimo Monteiro.	
CT 7 – Cachoeiro de Itapemirim - Faixa 2	Municípios: Atílio Vivacqua e Cachoeiro de Itapemirim.	
CT 27 – Iúna Faixa 1	Municípios: Divino São Lourenço, Dolores do Rio Preto, Ibatiba, Ibitirama, Irupi, Iúna e Muniz Freire,	
CT 36 – Muqui Faixa 1	Municípios: Apiacá, Bom Jesus do Norte, Mimoso do Sul, Muqui, São José do Calçado.	
CT 39 – Rio Novo do Sul - Faixa 2	Municípios: Alfredo Chaves, Anchieta, Castelo, Iconha, Itapemirim, Marataízes, Piúma, Presidente Kennedy, Rio Novo do Sul e Vargem Alta.	
CT 48 – Venda Nova do Imigrante - Faixa 1	Municípios: Afonso Claudio, Conceição do Castelo e Venda Nova do Imigrante.	
CV 21 – Cachoeiro de Itapemirim - Faixa 2	ER 2 – Cachoeiro de Itapemirim	AS 4 - Cachoeiro de Itapemirim

Quanto à destinação dos materiais para as empresas recicladoras, o modelo também indica os polos industriais mais atrativos para a construção de empresas recicladoras e respectivas quantidades de materiais, por tipologia. A Figura 4.4.16 apresenta a oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do estado do ES para C3-20%.

Figura 4.4.16: Oferta de materiais recicláveis para os polos industriais do ES – Modelo Otimizado.



Neste cenário foram criados fluxos para 6 dos 14 polos industriais inseridos no modelo: ER 2 em Cachoeiro de Itapemirim, ER 4 em Vila Velha, ER 9 em Colatina, ER 11 em Linhares, ER 13 em Boa Esperança e ER 14 na Serra.

4.2 Modelo Alternativo

Para o Modelo Alternativo são considerados os mesmos parâmetros de entrada do Modelo Otimizado. O que difere é a exigência de que todas os CT candidatos sejam alocados. Esta situação foi analisada, pois desta forma haveriam investimentos e fortalecimento das OCMR existentes, o que poderia gerar mais postos de trabalho e descentralizar os investimentos. No entanto, os custos tendem a ser maiores do que no Modelo Otimizado, já que novas restrições de contorno são impostas.

No Modelo Alternativo foram analisados os seis cenários relacionados às condições operacionais, sendo que para cada cenário foram analisadas as quatro taxas de retorno propostas, totalizando 24 cenários.

A Tabela 4.4.2 apresenta os resultados obtidos nos cenários no que se refere aos custos do sistema para o Modelo Alternativo quanto às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis, ao lucro do sistema e à taxa de receita/custo.

A partir dos resultados, verifica-se que a taxa de R/C é superior a 100% a partir do C3, considerando as melhorias propostas a partir deste cenário. Comparando o C1-20% com os resultados do EVTE para embalagens (IBAM, 2012), verifica-se que a taxa de R/C passa de 55,44% com custo unitário de R\$849,01/t no EVTE para 69,7% com custo unitário de R\$552,50/t. Portanto, a redução do custo unitário é de 34,9%. No Modelo Otimizado a taxa de R/C é de 77% com custo unitário de R\$499,37/t para o mesmo cenário.

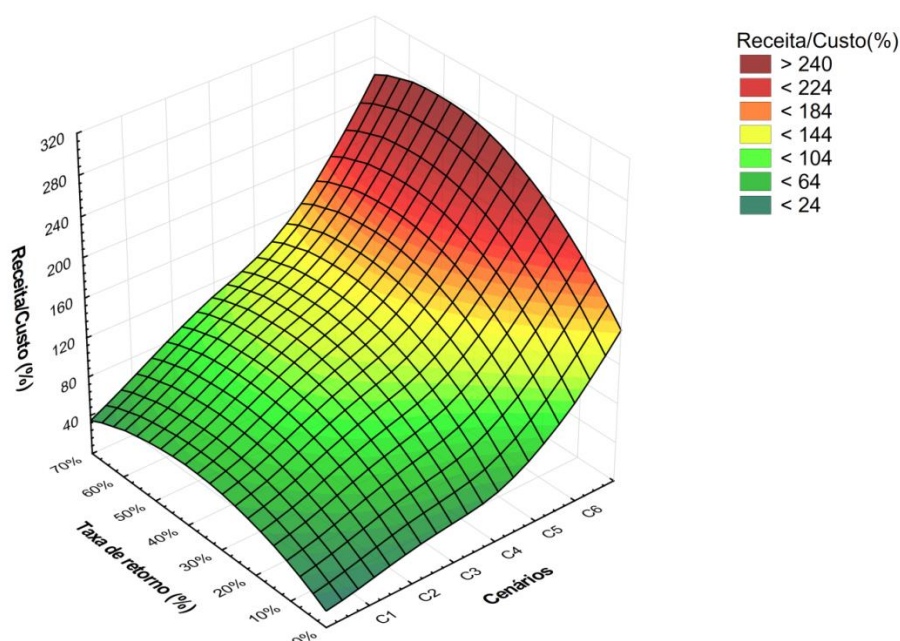
Tabela 4.4.2: Resultados dos cenários analisados – Modelo Alternativo.

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1 - P	5	1320,53	0,50	1.115,20	1.472,66	508,85	-963,81	34,6
	20	5282,13	0,99	552,50	2.918,40	2.035,38	-883,02	69,7
	40	10564,26	2,08	582,24	6.150,96	4.070,77	-2.080,20	66,2
	60	15846,39	2,82	526,37	8.341,02	6.106,15	-2.234,87	73,2
C2 - P	5	1320,53	0,50	1.115,28	1.472,77	712,38	-760,38	48,4
	20	5282,13	0,99	552,53	2.918,53	2.849,54	-69,00	97,6
	40	10564,26	2,08	582,29	6.151,42	5.699,07	-452,35	92,6
	60	15846,39	2,82	526,29	8.339,83	8.548,61	208,77	102,5
C3 - C	5	1320,53	0,47	1.044,14	1.378,82	712,38	-666,43	51,7
	20	5282,13	0,79	444,41	2.347,45	2.849,54	502,09	121,4
	40	10564,26	1,76	493,61	5.214,57	5.699,07	484,50	109,3
	60	15846,39	2,21	411,33	6.518,07	8.548,61	2.030,54	131,2
C4 - C	5	1320,53	0,46	1.023,27	1.351,26	712,38	-638,87	52,7
	20	5282,13	0,75	420,31	2.220,11	2.849,54	629,42	128,4
	40	10564,26	1,68	469,66	4.961,65	5.699,07	737,42	114,9
	60	15846,39	2,08	387,86	6.146,12	8.548,61	2.402,49	139,1
C5 - O	5	1320,53	0,55	1.238,98	1.636,11	1.329,56	-306,55	81,3
	20	5282,13	1,13	632,96	3.343,36	5.318,22	1.974,87	159,1
	40	10564,26	2,43	678,57	7.168,55	10.636,44	3.467,89	148,4
	60	15846,39	3,19	595,15	9.431,00	15.954,66	6.523,66	169,2
C6 - O	5	1320,53	0,61	1.355,97	1.790,60	2.101,02	310,42	117,3
	20	5282,13	1,34	749,77	3.960,40	8.404,08	4.443,68	212,2
	40	10564,26	2,84	795,44	8.403,25	16.808,16	8.404,91	200,0
	60	15846,39	3,82	712,00	11.282,56	25.212,24	13.929,67	223,5

Nota: R/C – Receita Total /Custo total.

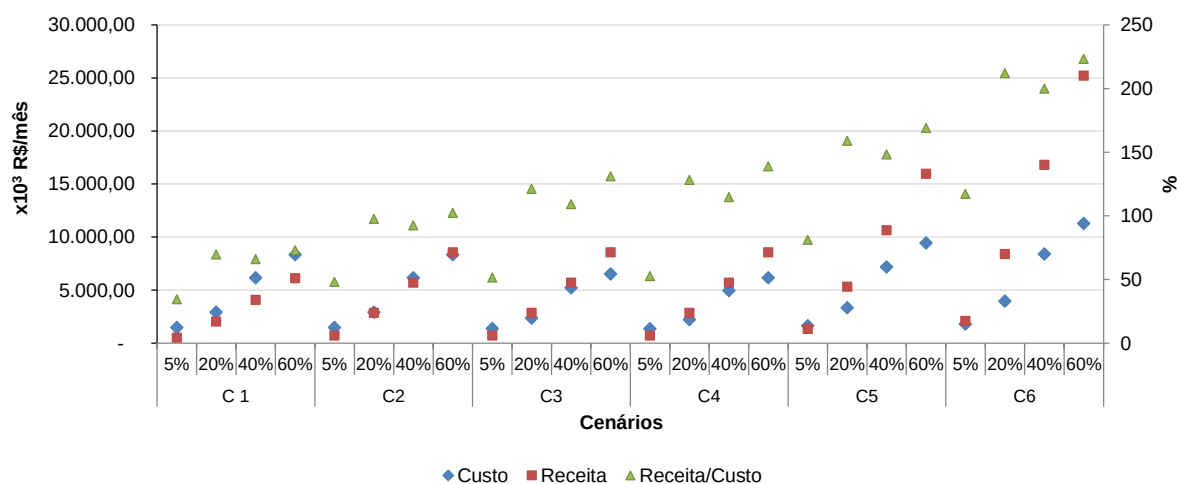
Os resultados são mostrados graficamente na Figura 4.4.17 e Figura 4.4.18 para todos os cenários.

Figura 4.4.17: Variação dos custos e receitas no Modelo Alternativo para o SLR de embalagens.



A Figura 4.4.18 possibilita concluir que, no Modelo Alternativo, somente a implantação de CV, mesmo com a função de armazenamento temporário para aumentar a oportunidade de venda a preços melhores do que os inicialmente considerados na modelagem, não fará o sistema com receitas superiores aos custos. Logo, para que o sistema tenha taxa de R/C superior a 100%, serão necessárias melhorias operacionais nos CT e CV, bem como na coleta a partir dos PG (C3 e C4).

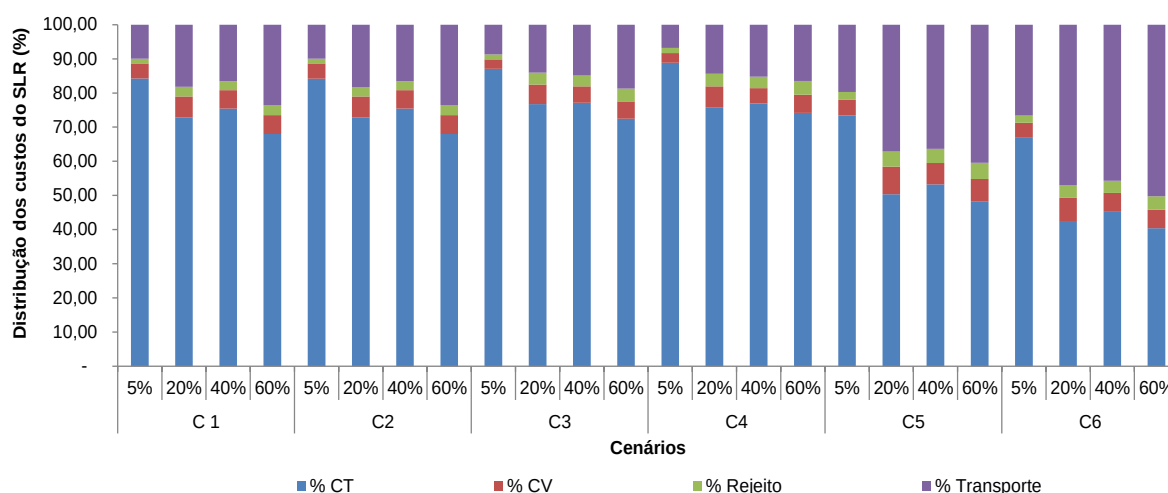
Figura 4.4.18: Custos totais e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.



Observa-se também que, para este Modelo Alternativo, a relação R/C é inferior a 100% quando a taxa de retorno é de 5% para todos os cenários, exceto para o C6, que é uma situação extremamente otimista. Portanto, para essa situação, onde todos os CT são alocados, é necessário que a taxa de retorno por parte da população atinja níveis mais elevados que os alcançados pelos SMCS para que o SLR obtenha receitas superiores aos custos.

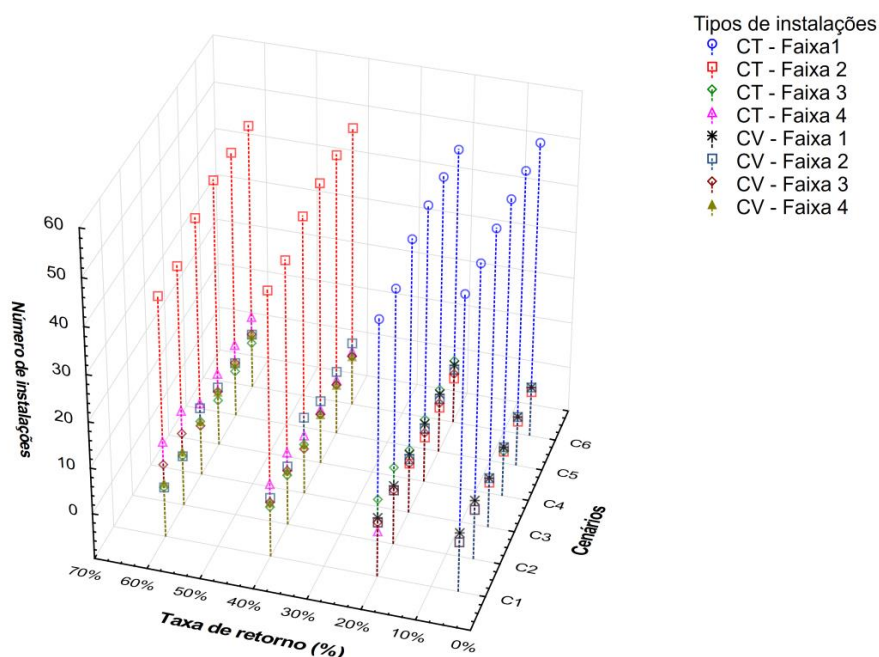
A Figura 4.4.19 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados. Os itens que mais contribuem para o custo do sistema são os CT, da mesma forma que no Cenário Otimizado. No entanto, os CT passam a corresponder em média por 68,78% dos custos totais, sendo que ela atinge valores superiores a 80% quando a taxa de retorno é de 5%. Isto ocorre porque as faixas de capacidade são fixadas e, mesmo não tendo materiais para serem triados, o CT permanece com seus custos de implantação e operação. Em contrapartida, os custos com transportes são proporcionais à quantidade transportada. Esta situação se assemelha a realidade das OCMR, que são formadas por catadores associados/cooperados, que mantêm o quantitativo de pessoal e seus gastos fixos independentes da quantidade de resíduos triados.

Figura 4.4.19: Distribuição dos custos nos cenários - Modelo Alternativo.



A Figura 4.4.20 permite analisar o número de CT e CV alocadas nos cenários considerados, em relação à taxa de retorno das embalagens pela população.

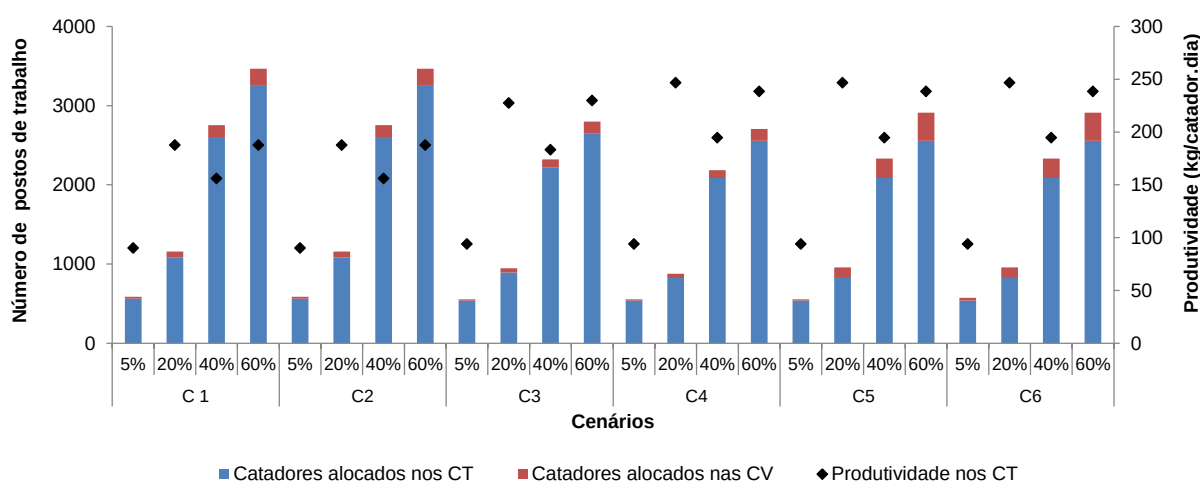
Figura 4.4.20: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Alternativo.



Observa-se que, com o aumento da quantidade de resíduos, aumenta-se o porte dos CT e CV alocados. Para as mesmas taxas de retorno, existe uma semelhança no padrão de instalações alocadas. Neste modelo, 100% dos CT são alocados, com variação em relação à faixa de capacidade. Em média são alocadas 5,8 CV, o que corresponde a 24,1% das CV candidatas.

Quanto ao número de catadores necessários para o SLR atuando nos CT e CV, observa-se, na Figura 4.4.21, que não varia muito de um cenário para outro, considerando a mesma taxa de retorno. Isto, porque existe a obrigatoriedade de todos os CT serem alocados. Este fator acaba por refletir na produtividade do sistema.

Figura 4.4.21: Número total de catadores alocados nos CT e CV



Comparando os dados do EVTE (IBAM, 2012) e o C1-20%, temos que no EVTE são previstos 2.370 postos de trabalho com 30 CT instalados no ES e no C1-20%, o modelo aponta 1083 postos nos 54 CT alocados e 75 nas 6 CV, totalizando 1158 postos de trabalho. Este valor não difere muito dos 1100 postos alocados para o mesmo Cenário no Modelo Otimizado. Esta diferença continua ocorrendo, pois o objetivo da modelagem também é definir as faixas de capacidade mais adequadas. A Figura 4.4.22 e Figura 4.4.23 permitem analisar as capacidades requeridas e capacidades excedentes dos CT e CV.

Figura 4.4.22: Capacidade operacional dos CT alocados - Modelo Alternativo.

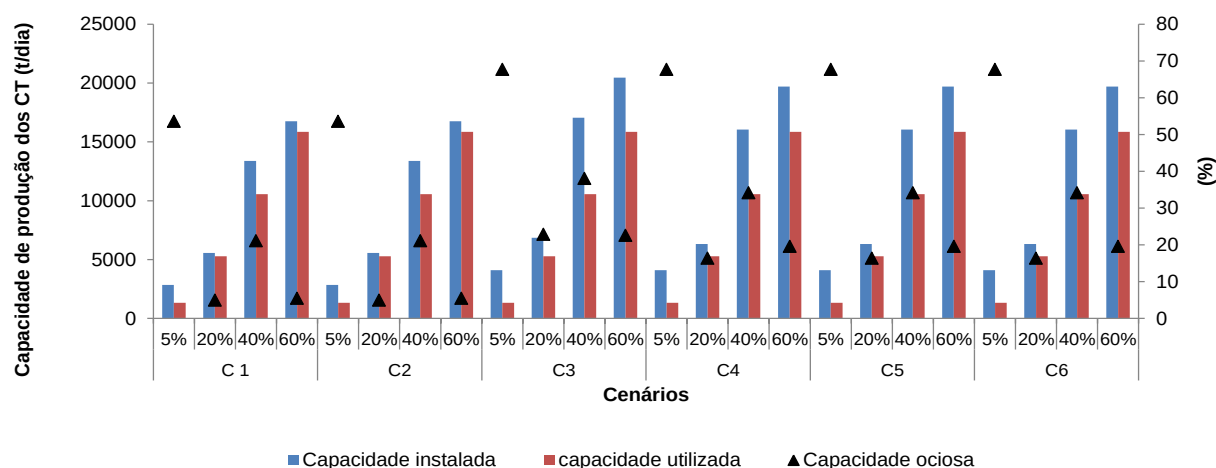
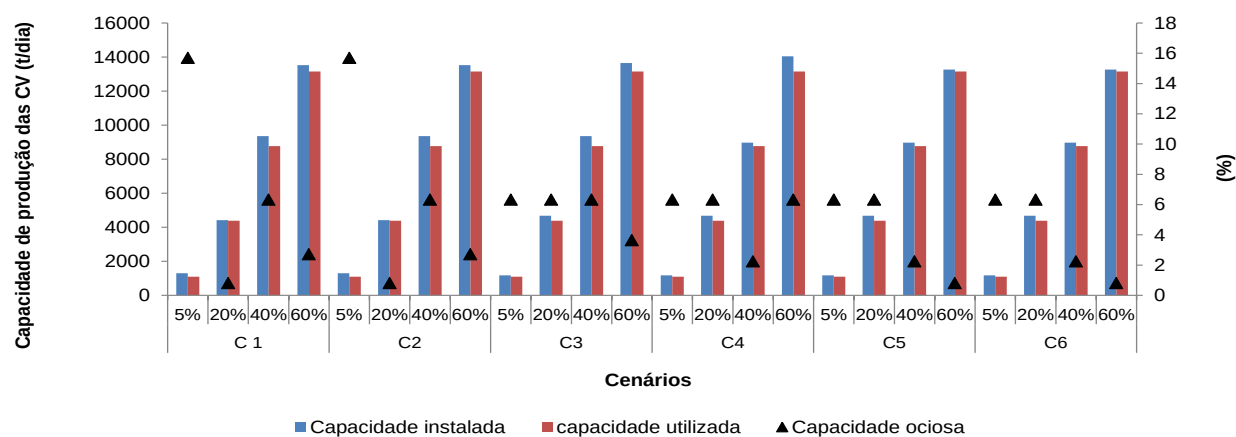


Figura 4.4.23: Capacidade operacional das CV alocadas - Modelo Alternativo.



A taxa de ociosidade média dos CT é de 30,62% e da CV é de 5,26%. Quando a taxa de retorno é 5% taxa de ociosidade média é para 60,03% e 9,44%. Desta forma, é possível avaliar a margem de folga que estas instalações possuem caso haja um aumento na taxa de retorno das embalagens além do previsto. Portanto, neste Modelo Alternativo, a otimização realizada não garantiu tão boa utilização dos CT e CV alocadas como no Modelo Otimizado, alocando instalações com maiores taxas de ociosidade.

4.2.1 Detalhamento dos resultados do Modelo Alternativo no Cenário Conservador

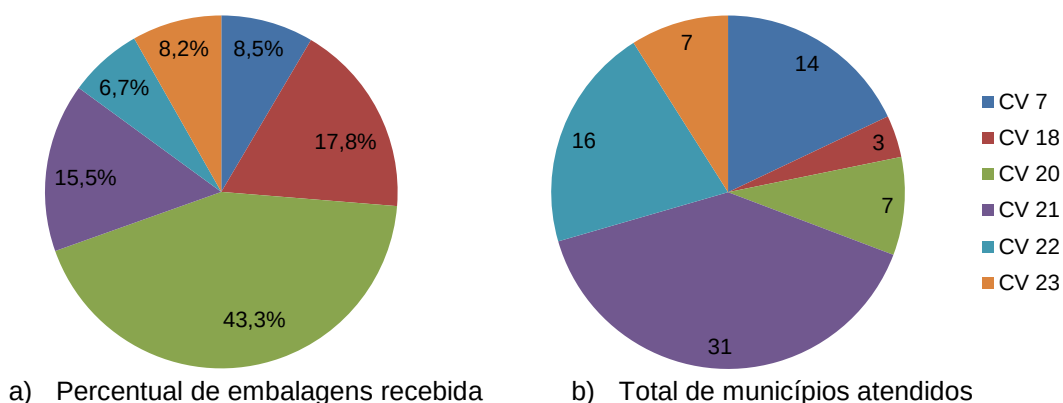
Como resultado do Modelo Alternativo no Cenário Conservador para a taxa de retorno de 20% (C3-20%) obteve-se um custo unitário de R\$0,79/hab.mês ou R\$444,41/t.mês, perfazendo uma relação de Receita/Despesa de 121,4%.

Neste Cenário (C3 -20%) foram alocados todos os 54 CT candidatos, sendo que 47 foram alocadas com faixa de capacidade 1 (75t/mês), três com Faixa 2 (252,6 t/mês) e quatro com Faixa 3 (631,6t/mês). Foram alocadas 6 CV, sendo três com Faixa 1 (390t/mês), dois com Faixa 2 (750t/mês) e um com Faixa 3 (1950t/mês) de capacidade. A taxa de ociosidade dos CT foi de 22,85%, o que mostra que a capacidade projetada está superior à utilizada. O valor superior aos 0,13% obtido no Modelo Otimizado ocorre devido à restrição imposta de obrigatoriedade de alocação de todos os 54 CT candidatos.

As mesmas CV alocadas no Modelo Otimizado foram alocadas para este cenário: a CV 7 em Boa Esperança; CV 18 em Vila Velha; CV 20 em Cariacica; CV 21 em Cachoeiro de Itapemirim; CV 22 em Colatina e CV 23 em Linhares. O que variou foram os CT que destinam seus materiais para elas.

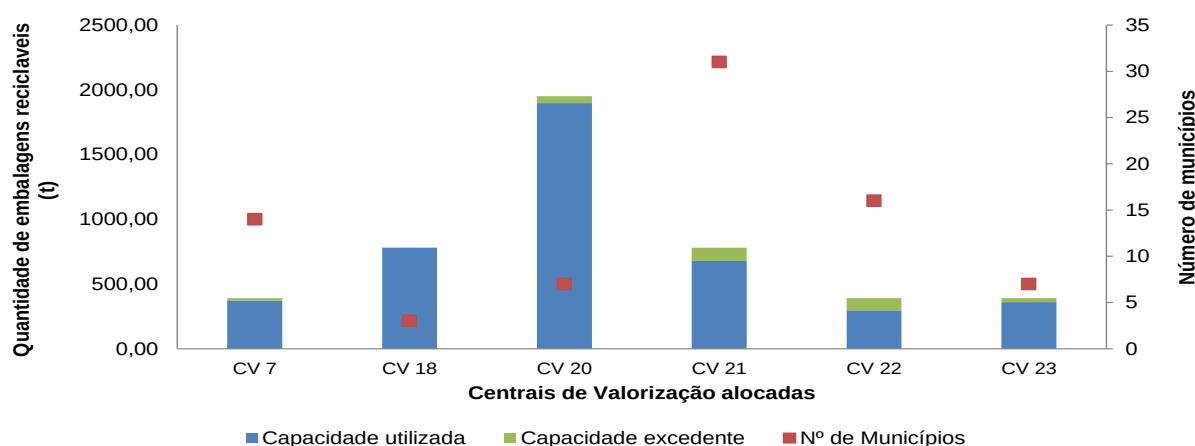
As CV 18 e 20 localizadas nos municípios de Vila Velha e Cariacica recebem materiais de dez municípios localizados na RMGV e seu entorno, e juntos são responsáveis por 61,1% das embalagens retornadas pela população. Sendo os 38,9% restantes distribuídos nas demais CV no interior do Estado, como se observa na Figura 4.4.24 a e b.

Figura 4.4.24: Distribuição das embalagens recicláveis nas CV – Modelo Alternativo.



A Figura 4.4.25 permite visualizar as capacidades operacionais das CV alocadas em C3-20%. Para este cenário a taxa de ociosidade das CV alocadas é de 6,32%

Figura 4.4.25: Capacidades operacionais dos CT alocados no Cenário 3 - 20% - Modelo Alternativo.



Quanto à destinação dos materiais para as empresas recicladoras, tanto no Modelo Alternativo quanto no Modelo Otimizado são indicados os mesmos polos industriais. Isto mostra que os dois modelos divergiram apenas em relação ao fluxo do PG para CT, pois no Modelo Alternativo todos os CT foram alocadas. Na escolha das CV e ER, os dois modelos convergiram para o mesmo resultado em termos de localização dos CT e suas faixas de capacidade e fluxos da CV para as ER.

4.3 Modelo Atual

O terceiro modelo estudado foi denominado Modelo Atual, pois reflete a realidade do ES em que as OCMR que comercializam os materiais triados e prensados diretamente com as empresas recicladoras, sem a existência de CV.

Para o Modelo Atual foram analisados apenas três Cenários, C1, C3 e C4, como condicionantes de hipóteses, semelhantes aos cenários analisados para os dois tipos anteriores, com quatro taxas de retorno cada, totalizando 12 cenários. Os demais, consideram hipóteses de melhorias nos preços de venda dos materiais, decorrentes da abertura de CV, o que não ocorrem no Modelo Atual.

A Tabela 4.4.3 apresenta os resultados obtidos nos cenários no que se refere aos custos do sistema para o Modelo Atual quanto às receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis e ao lucro.

Tabela 4.4.3: Resultados dos cenários analisados – Modelo Atual.

Cenário	Taxa de retorno (%)	Total de embalagens (t/mês)	Custo unitário		Custo total	Receita total	Lucro total	R/C (%)
			(R\$/hab.)	(R\$/mês)				
C1 - P	5	1320,53	0,22	482,18	636,74	508,85	-127,89	80
	20	5282,13	0,80	445,80	2.354,76	2.035,38	-319,38	86
	40	10564,26	1,50	420,44	4.441,62	4.070,77	-370,86	92
	60	15846,39	2,30	429,02	6.798,46	6.106,15	-692,31	90
C3 - C	5	1320,53	0,16	367,81	485,71	508,85	23,14	105
	20	5282,13	0,58	325,83	1.721,09	2.035,38	314,29	118
	40	10564,26	1,12	312,57	3.302,09	4.070,77	768,68	123
	60	15846,39	1,63	303,55	4.810,24	6.106,15	1.295,91	127
C4 - O	5	1320,53	0,15	329,28	434,83	508,85	74,02	117
	20	5282,13	0,53	299,21	1.580,45	2.035,38	454,94	129
	40	10564,26	1,02	285,32	3.014,17	4.070,77	1.056,59	135
	60	15846,39	1,50	280,10	4.438,53	6.106,15	1.667,62	138

Nota: R/C – Receita Total /Custo total .

Os resultados são mostrados graficamente na Figura 4.4.26 e Figura 4.4.27 para todos os cenários. A partir destes, verifica-se que a taxa R/C se torna superior a 100% com as melhorias propostas no C2, mesmo sem as CV instaladas, mas as taxas de R/C não ultrapassam 138% mesmo para taxas de retornos de 60% para o C4.

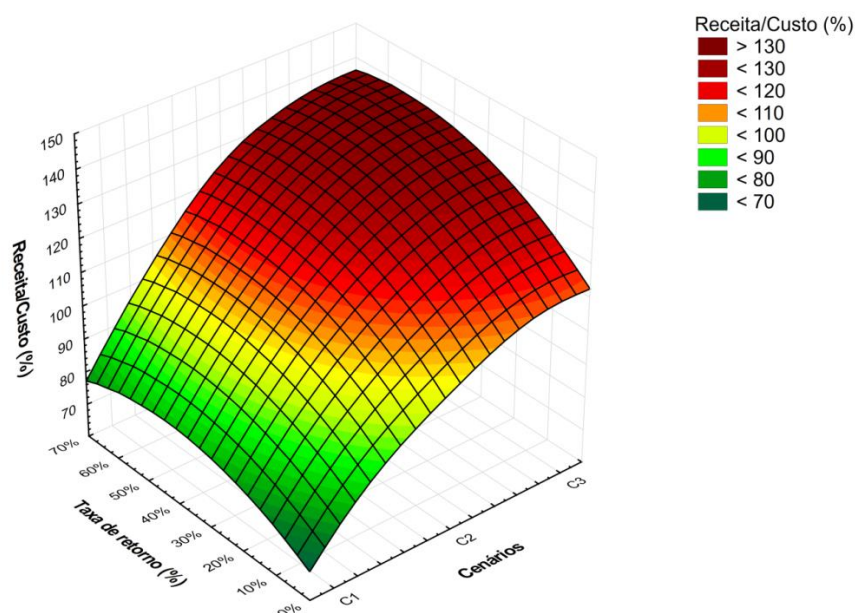
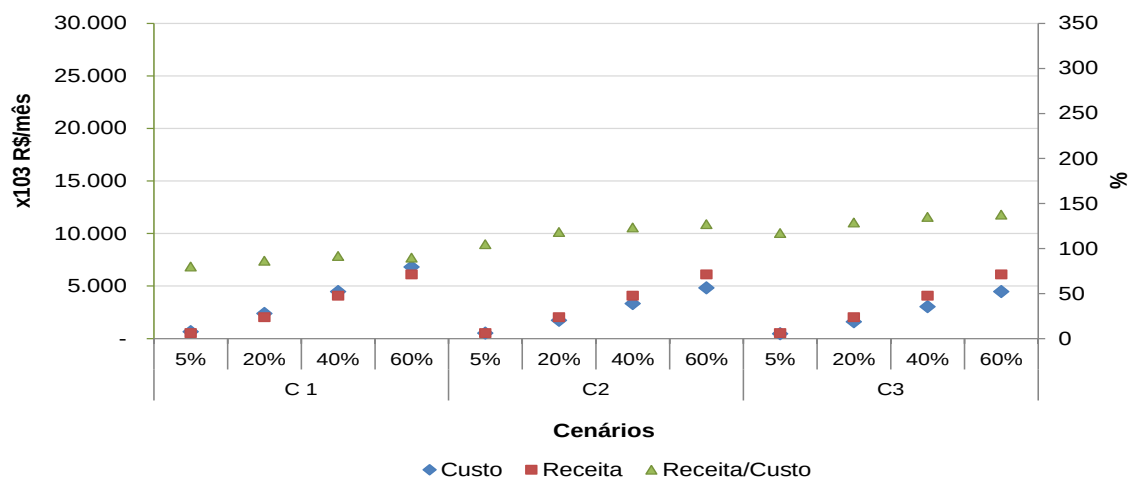
Figura 4.4.26: Variação dos custos e receitas no Modelo Atual para o SLR de embalagens.

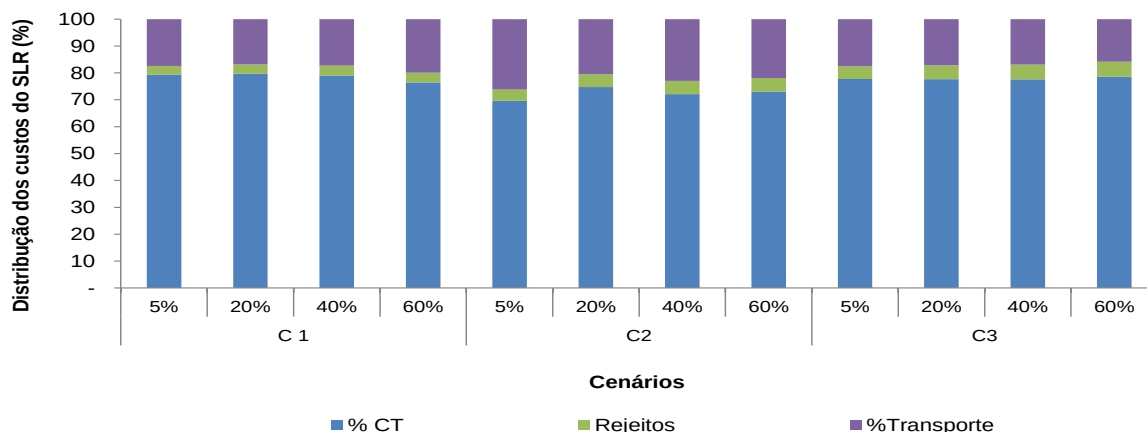
Figura 4.4.27: Custos e receitas obtidas com a comercialização de materiais reciclados.



O C1-20% apresenta hipóteses semelhantes ao EVTE para embalagens (IBAM, 2012). Este cenário, apesar dos resultados ainda mostrarem uma taxa de R/C de 80% e custo unitário de R\$445,80/t, apresenta uma redução 47,9% quando comparado aos resultados do EVTE com custo unitário R\$849,01/t e com taxa de R/C de 55,44%. Observa-se que, comparando o custo unitário e a taxa de R/C do Modelo Atual com o Modelo Otimizado (R\$499,37 e R/C de 77%), para o mesmo Cenário, o Modelo Atual é mais vantajoso. Isto confirma que a existência de CV apenas como função de transbordo, sem agregação de valor aos materiais, cria apenas mais uma estrutura que tem custos, mas não agrega valor ao processo. Ou seja, caso mantidas as mesmas condições atuais de operação, a instalação de CV não demonstra agregar valor ao processo, gerando mais custo do que se não existissem.

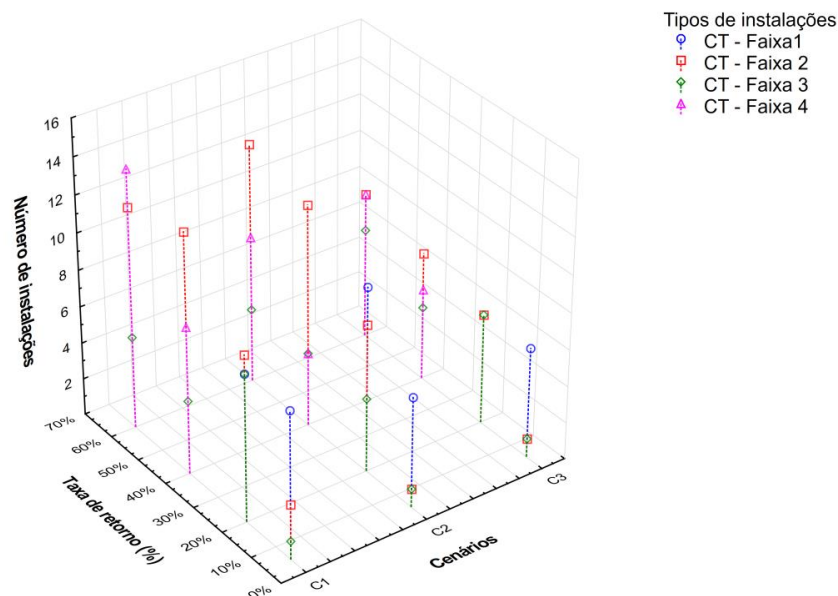
A Figura 4.4.28 apresenta a distribuição dos custos do SLR nos cenários analisados. Os itens que mais contribuem são os CT, correspondendo a 76,3% dos custos totais.

Figura 4.4.28: Distribuição dos custos nos cenários analisados.



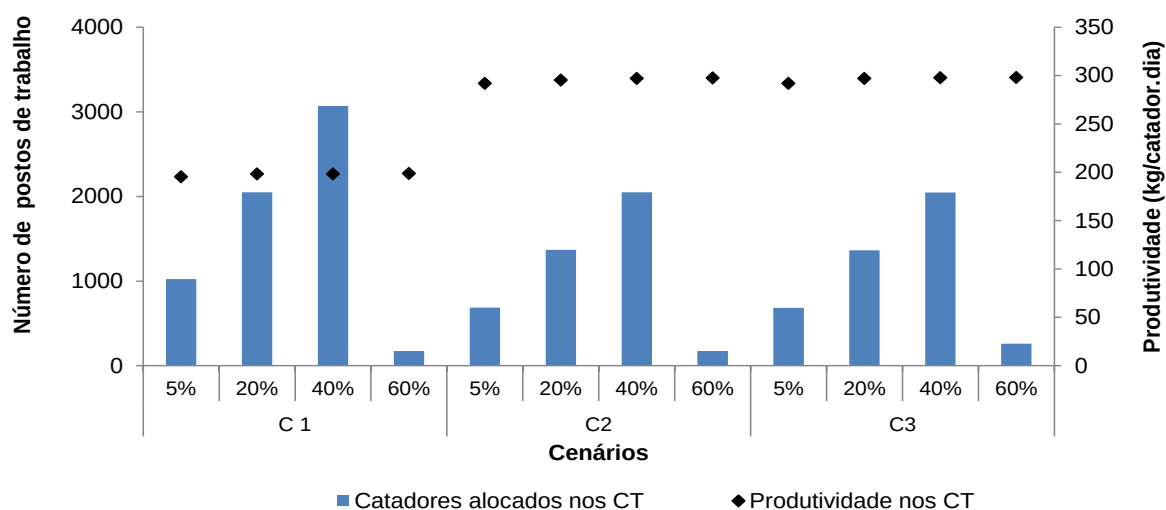
A Figura 4.4.29 permite analisar o número de CT e CV alocados nos cenários considerados em relação à taxa de retorno das embalagens pela população. Neste Modelo foram alocados em média 34,9% dos CT candidatos.

Figura 4.4.29: Quantidade de CT e CV alocados nos cenários – Modelo Atual.



A Figura 4.4.30 apresenta o número de postos de trabalho necessários para o SLR. Quanto mais intervenções de melhorias são inseridas, menor é o número de catadores requeridos para o sistema. Em média são necessários 1246 postos de trabalho, com uma produtividade média de 263 kg/catador.dia.

Figura 4.4.30: Número total de catadores alocados nos CT e CV.



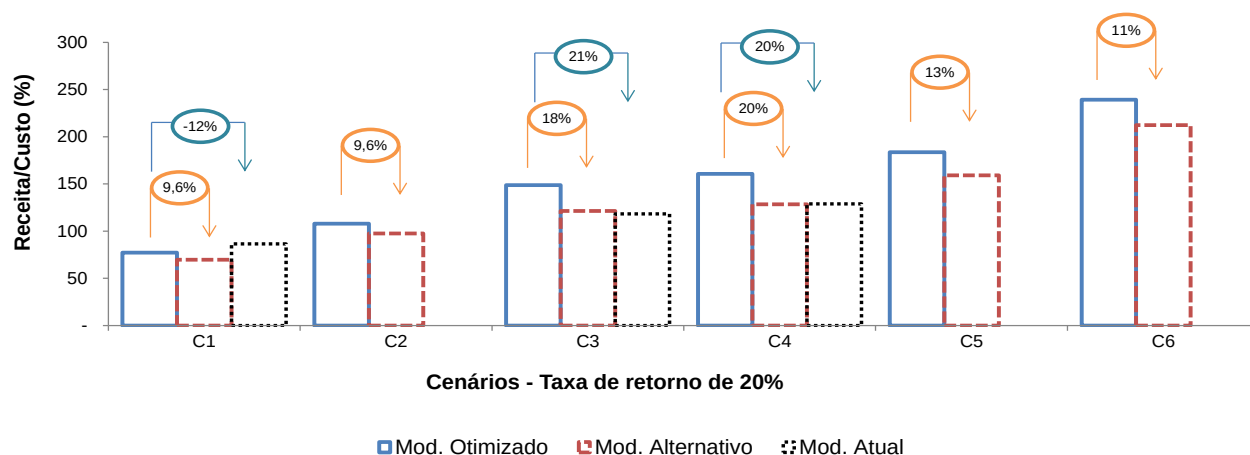
A taxa de ociosidade dos CT alocados é de 0,6%, o que mostra uma boa otimização da capacidade produtiva instalada, frente à demanda, considerando cada cenário.

4.4 Resumo da comparação entre os modelos

Os três modelos analisados apresentaram resultados satisfatórios em termos de taxa R/C, mostrando que as receitas obtidas com a comercialização dos materiais recicláveis podem justificar os investimentos. A otimização realizada proporcionou identificar os locais mais adequados para alocação dos CT e CV e os melhores fluxos considerando os modelos propostos. Os resultados mostraram uma tendência que se repetiu nos cenários e nos modelos analisados.

A fim de comparar todos os três modelos, é apresentada a Figura 4.4.31 que mostra a variação das taxa R/C por cenário. Para este finalidade foi definida a taxa de retorno de 20%.

Figura 4.4.31: Variação da taxa Receita/Custo para os modelo e cenários analisados – Taxa de retorno de 20%.



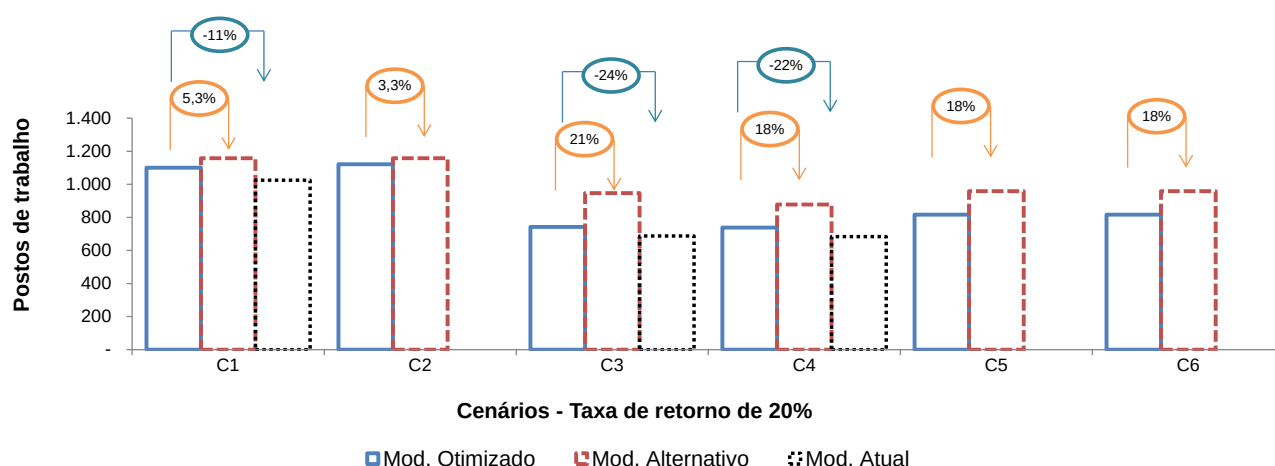
O que se percebe analisando a Figura 4.4.31 é que o Modelo Otimizado apresenta valores superiores na taxa R/C em relação aos outros dois, para todos os cenários com exceção de C1. No C1, o Modelo Otimizado apresenta a taxa de R/C 12% menor que o Modelo Atual. Isto indica que se mantendo todas as características operacionais vigentes, a implantação de CV trará mais custos para o SLR.

A partir do C3, os três modelos discutidos neste trabalho apresentam resultados positivos, com taxa R/C superior a 100%. O Modelo Otimizado sempre se sobressai, pois ele tem a possibilidade de alocar os melhores CT e CV além de fluxos mais otimizados, o que é limitado nos demais modelos. Mas pode-se concluir que independente do modelo adotado, com ou sem CV, alocando apenas os CT mais estratégicos ou tendo a participação de todos os

CT candidatos, a utilização de um modelo logístico, que defina as capacidades e os fluxos, pode levar a um resultado mais satisfatório do que a definição de um sistema, apenas considerando a quantidade de resíduos. Esta melhoria pode ser percebida quando se compara os resultados dos modelos deste estudo com os resultados do EVTE de embalagens (IBAM, 2012).

O número de postos de trabalho é outra informação importante a ser analisada. A Figura 4.4.32 apresenta os resultados comparativos dos três modelos em função do número de postos de trabalho alocados.

Figura 4.4.32: Variação do número de postos de trabalho para os modelos e cenários analisados – Taxa de retorno de 20%.



O número de postos de trabalho não se altera muito nos primeiros cenários, porque se mantido os mesmos procedimentos operacionais atuais, a produtividade é praticamente a mesma. Mas para o Modelo Atual seriam necessários menos trabalhadores porque não estão incluídos os que estão alocados nas CV, as quais não existem nesta situação. À medida que melhorias no processo produtivo e de transporte são inseridas, ocorre uma redução no número de postos de trabalho nos CT e CV em todos os três modelos, o que pode ser percebido de C2 para C3. Para as demais alterações dos cenários, não há redução dos postos de trabalho, pois a capacidade produtiva se mantém.

Comparando o Modelo Otimizado com o Modelo Alternativo, o primeiro requer um número menor de postos de trabalho, mas a taxa de R/C é maior. E comparando-o com o Modelo Atual, o primeiro requer um número maior de postos de trabalho, e a taxa de R/C é também maior, portanto, para estes dois indicadores, o Modelo Otimizado se destaca. Quando

comparado o Modelo Alternativo com o Modelo Atual, o primeiro requer mais posto de trabalho. Os dois modelos apresentam taxas de R/C muito próximas, portanto o modelo Alternativo se destaca.

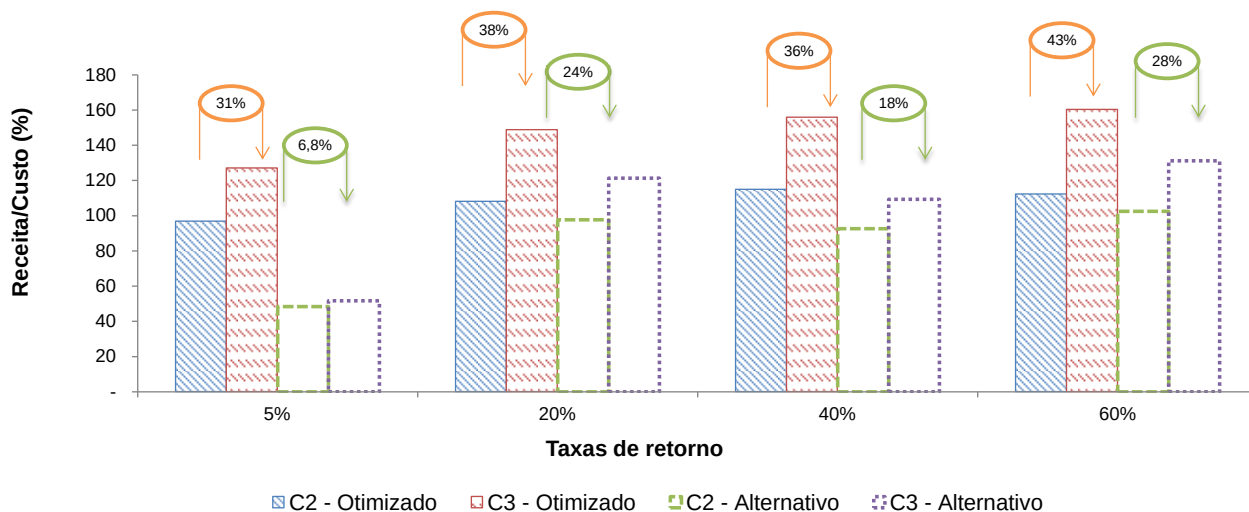
4.5 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade do modelo foi realizada por comparação entre os cenários e as respostas dos modelos frente às intervenções propostas.

4.5.1 Melhorias no processo produtivo

As condicionantes que tratam da produtividade dos CT e CV foram analisadas nos modelos considerando duas hipóteses. A primeira considera a produtividade máxima de 200 kg/catador.dia, baseado em Brasil (2008, 2011) e IBAM (2012). A segunda hipótese é de que a produtividade pode aumentar em 50%, chegando a 300 kg/catador.dia. Este aumento de produtividade pode ser alcançado com melhoria no processo de produção e melhorias nos equipamentos, principalmente, prensas mais potente. Esta melhoria no processo de prensagem garantiria fardos com densidade maiores, o que reduz os custos com o transporte a partir do CT. Os dois cenários onde é possível verificar como esta intervenção influencia no processo são C2 e C3. A Figura 4.4.33 mostra como a variação de 50% na produtividade e a redução do custo de CT para CV e de CV para ER influenciam no resultado do modelo. No Modelo Otimizado, a taxa R/C cresce em média 37% quando a produtividade aumenta. No Modelo Alternativo esta melhoria é de 19,2%.

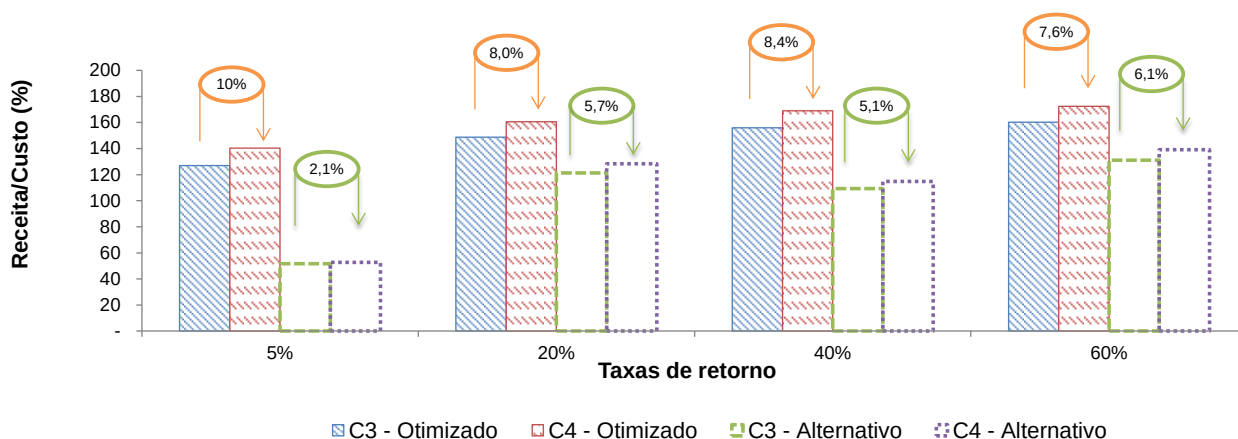
Figura 4.4.33: Comparação entre cenários quanto às melhorias no processo produtivo.



4.5.2 Melhorias no transporte dos PG até os CT

Outra variável que pode sofrer alteração e modificar o resultado do modelo é o custo do transporte dos PG até os CT. Devido à baixa densidade das embalagens, em torno de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), o custo de transporte torna-se elevado. Como hipótese na construção dos cenários, foi previsto inicialmente que o transporte seria sem compactação, com a densidade do material de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), o que leva a uma CAC de correção no custo de frete de 4,61. Como segunda hipótese, foi considerado que o material receberia uma leve compactação, chegando a uma densidade de 120 kg/m^3 , e um CAC de 2,5. A Figura 4.4.34 mostra os resultados dos Cenários 3 e 4 que possibilitam analisar como esta alteração interfere no resultado do modelo. No Modelo Otimizado, a redução em 50% do custo de transporte de PG até CT gera um aumento médio na taxa de R/C de 8,5%. No Modelo Alternativo esta melhoria foi de apenas 4,75%.

Figura 4.4.34: Comparação entre cenários quanto às melhorias no transporte de PG até CT.

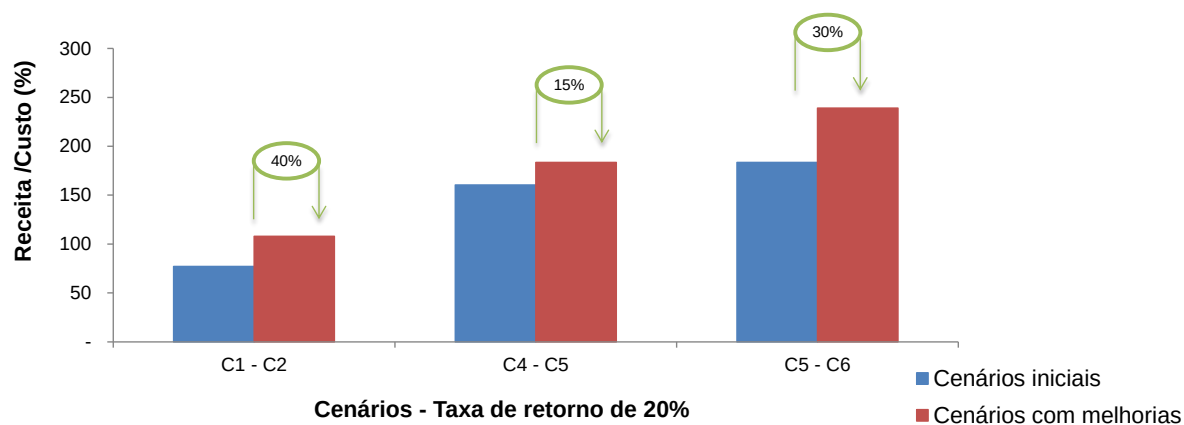


4.5.3 Variação nos preços de comercialização

O preço de venda dos materiais recicláveis para as indústrias recicladoras é outra condicionante importante dos Modelos. O objetivo de instalar CV é a possibilidade de agregação de valor aos materiais, seja apenas como local de armazenamento temporário, aguardando oportunidade de venda ou como local de beneficiamento primário, o que também propicia uma elevação no valor de venda. Nesta segunda alternativa, as CV requerem um aumento tanto nos custos de implantação de operação, quanto nos de transporte e disposição final de rejeitos gerados no processo de beneficiamento. Nos modelos, foi considerado apenas o beneficiamento primário do plástico e do papel, por serem processos mais simples e representarem 69,4% das embalagens consideradas neste estudo.

Nas Figura 4.4.35 e Figura 4.4.36 são apresentadas as comparações entre cenários onde ocorreram as variações no preço de venda. Na primeira hipótese (aplicada ao C1), não há agregação de valor e o valor de venda é igual ao valor praticado entre as OCMR no ES levantado em estudo de campo. O C1 é comparado com o C2, cuja diferença é apenas um aumento de 40% do valor atual devido à oportunidade de venda criada pela existência de CV. O C4 também foi construído com esta hipótese e é comparado com o C5, onde papel e plástico sofrem beneficiamento primário e são comercializados a um valor três vezes maior que o valor atual. Metal e Vidro mantêm o valor de 40%. Do cenário 5 para o 6 o valor de comercialização passa para cinco vezes o valor atual.

Figura 4.4.35: Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Otimizado.



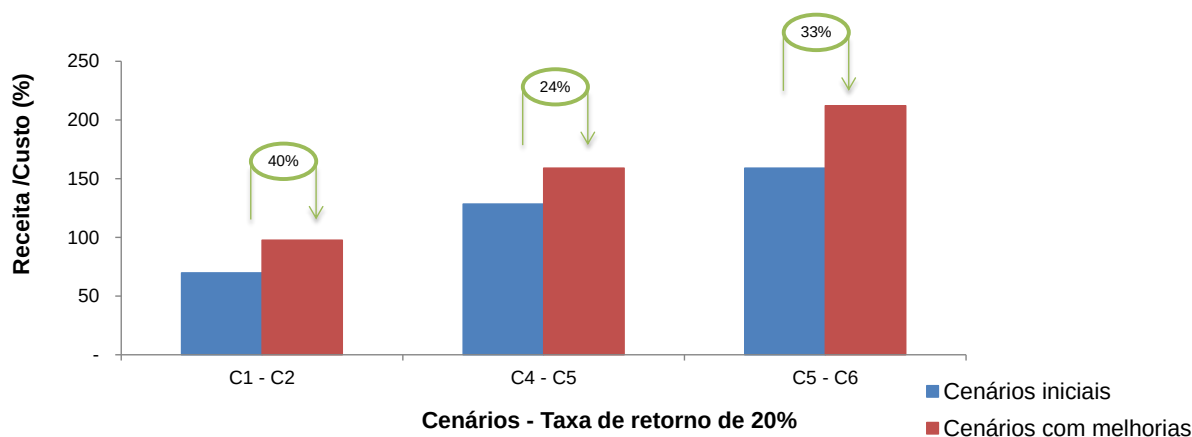
Observa-se que a variação no preço de comercialização provoca um crescimento proporcional na taxa de R/C do C1 para o C2. Ou melhor, um aumento de 40% no preço de venda, levou a um aumento de 40 na taxa de R/C. Mesmo assim, em C2-20% para o Modelo Alternativo a taxa de R/C ainda fica em 97,6% e no Modelo Otimizado em 108,1%. Ou seja, a receita obtida com a comercialização não cobre ou quase não cobre os custos. Portanto, a implantação de CV somente visando o aumento no valor de comercialização dos materiais, sem que haja melhoria no processo, reduz a parcela que deverá ser subsidiada pelos responsáveis pelo SLR, mas as receitas não cobrem totalmente os custos.

Comparando o C4 com C5 o que ocorre é que a CV passa da função de armazenamento temporário para a função de realizar também o beneficiamento primário do papel e do plástico. Estas atividades exigem aumento nos custos de implantação, pois são necessários mais equipamentos e nos de operação, com pessoal e insumos como água e energia, além de

despender custos com transporte e disposição final de rejeitos, decorrente do processo de beneficiamento, todos estes estão previstos no modelo. Desta forma, o aumento em três vezes do valor de comercialização do papel e plástico beneficiado em relação ao valor do material apenas triado e prensado, representa um aumento de 15% na taxa de R/C.

Quando se compara o C5 com o C6 a taxa tem um aumento de 33%, porque todos os demais parâmetros continuam os mesmos, só tendo aumento no valor de venda para cinco vezes do valor do material triado e prensado. E se comparado o C4 com o C6 este aumento é de 65%. Consequentemente, é justificado o investimento na agregação de valor ao material reciclável através de beneficiamento.

Figura 4.4.36: Comparação entre os cenários quanto às melhorias no preço de comercialização – Modelo Alternativo.



No Modelo Alternativo, as relações são semelhantes. O que ocorre do C4 para o C5 é que o aumento na taxa de R/C é de 24%, que pode ter ocorrido porque os custos neste modelo são mais elevados com todos os CT alocados, a melhoria no preço de venda provoca mais impacto do que no Modelo Otimizado.

4.6 Limitações da modelagem matemática

A modelagem matemática tem por objetivo representar uma determinada realidade. As definições das restrições dos modelos apresentados têm a função de representar os contornos do estudo, que foram propostos em função das hipóteses adotadas. No entanto, a modelagem realizada apresenta as seguintes limitações que devem ser consideradas em caso de aplicação prática do estudo:

- Foi considerado que as embalagens são representadas pela parcela de recicláveis dos Resíduos Sólidos Domiciliares (RSD), o que superestima a quantidade de embalagens no sistema. No caso de aplicação prática, o estudo de otimização deve ser precedido de um estudo de composição gravimétrica.
- Não foi considerada a etapa de coleta das embalagens, apenas foi analisada a possibilidade de compactação ou não do material coletado;
- As faixas de capacidades das CT e CV são pré-estabelecidas, o que engessa a modelagem na otimização das faixas de capacidades das instalações alocadas;
- Foram considerados que todos os custos de operação são fixos, no entanto uma parcela é composta por custos variáveis;
- Foram consideradas distâncias lineares entre os nós da rede, majorados em 10%, o que na prática não ocorre;
- As capacidades das empresas recicladoras foram consideradas ilimitadas para todos os tipos de materiais, o que na prática não ocorre, pois cada empresa recicla um tipo de material;
- A capacidade operacional dos Centros de Triagem considerada nos cenários está superior ao encontrado em pesquisa de campo;
- Os valores de venda dos materiais sofrem variações em função do mercado, o que não foi considerado no modelo.

5 CONCLUSÕES

Este capítulo apresentou aplicações do modelo logístico desenvolvido na realidade de um Estado brasileiro, o ES, onde foi realizada uma pesquisa de campo. No estudo de campo verificou-se que o estado dispõe de 54 OCMR que foram consideradas como candidatas a CT para o SLR, atendendo à Lei 12.30/2010 (BRASIL, 2010).

Como parâmetros de entrada foram considerados os 78 municípios do Estado como PG, as 54 OCMR como candidatas a CT, 24 locais candidatos as CV, 14 polos industriais para a comercialização dos materiais recicláveis e 8 aterros sanitários para disposição final dos rejeitos do sistema. Estes locais formaram os nós da rede que formou o SLR de embalagens pós-consumo. Para cada nó foram estabelecidos os seus respectivos parâmetros, bem como os parâmetros relacionados aos fluxos entre eles.

Aqui foram apresentados três modelos No Modelo Otimizado, os CT e CV mais estratégicas foram alocadas para otimizar a função objetivo do modelo matemático. O Modelo Alternativo foi desenvolvido para avaliar uma situação possível onde todos os CT candidatos fossem obrigatoriamente alocados. O terceiro modelo é o Modelo Atual que reflete a situação atual onde não existem CV no ES.

Para avaliação da sensibilidade dos modelos às variações de parâmetros foram criados os cenários Pessimista, Conservador e Otimista, construídos com base nas condicionantes principais do modelo. Estas são relacionadas à participação da população medida pela taxa de retorno das embalagens para o SLR e às questões operacionais como capacidade produtiva, custos de transporte e valor de comercialização.

Nos modelos o item que mais contribui para o custo do sistema são os CT, correspondendo a 58,1% no Modelo Otimizado, 68,78% no Modelo Alternativo e 76,3% no Modelo Atual. Em média 93%, destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o processo atual, e considerado nos cenários, é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Sendo assim, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado.

O número de CT e CV alocados variam com o cenário e com a taxa de retorno. No Modelo Otimizado foram alocados em média 32,01% dos CT candidatos e 24,1% das CV candidatas. No Modelo Alternativo, 100% dos CT são alocadas e a mesma taxa de 24,1% das CV

candidatas se mantém. No Modelo Atual onde não existem CV, a taxa de alocação de CT aumenta para 34,9%. Percebe-se que, com o aumento da taxa de retorno a maior parte dos CT e CV alocadas são mantidas, ocorrendo aumento nas faixas de capacidade. Isto permite que o SLR seja projetado para que ele tenha um crescimento gradual à medida que a taxa de retorno aumente. Como a entrada da quantidade de embalagens no modelo é por município, o modelo permite uma reavaliação contínua, com modificações nos parâmetros de entrada de taxa de participação de acordo com a evolução de cada município.

O número de postos de trabalho necessários para o SLR pode ser obtido a partir da alocação dos CT e CV e suas faixas de capacidade. O número de catadores varia em função dos cenários e chega a 3283 postos no C2-60% e 2401 no C6-60%, no Modelo Otimizado.

O estudo mostrou que a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduzem os custos totais do sistema, o que é evidenciado quando se compara os resultados do C1-20%, para todos os três modelos, com o EVTE de embalagens (IBAM, 2012). No C1-20% o Modelo Otimizado apresenta um custo unitário de R\$499,37/t e taxa de R/C de 77%, enquanto o EVTE chega a um custo unitário médio de R\$849,01/t e a uma taxa de R/C de 55,4% para o Brasil, sendo que para municípios de pequeno porte, esta relação é de 40,1%.

Portanto, o modelo logístico apresentado mostrou ter uma aplicabilidade real, pois os resultados utilizando dados reais apontou valores otimizados e que refletem para uma organização territorial em ATOS compatível com a realidade do estado, onde a regionalização resultante do modelo se aproxima de outras regionalizações já existentes no Estado (ESPÍRITO SANTO, 2011; SEDURB, 2014).

Foi possível constatar que um SLR de embalagens pode obter receitas que justifiquem os investimentos, não somente nos grandes centros urbanos, mas também em ATOS onde municípios de pequeno e médio porte estejam organizados de forma a garantir uma quantidade de materiais suficientes que justifiquem a abertura de CT e CV.

A proposição de cenários baseados em condicionantes e hipóteses, que refletem melhorias operacionais nos CT e nas CV e também no transporte, permite analisar onde intervenções tendem a ser mais efetivas na minimização da função objetivo proposta.

REFERÊNCIAS

BASSANI, P. D. *Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais: Estudo de caso em Vitória-ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.

BRASIL. Lei nº. 12.305/ 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. *Diário Oficial da União de 03/08/2010*.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. *Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem*. Brasília, 2008. 53 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. *Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos*. Brasília, 2011. 75 p.

Espírito Santo. Lei Ordinária nº 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo. 2011. *Diário Oficial-ES de 28/12/2011*.

IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo*. [online]. 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_PO_S_CONSUMO/>. Acesso em 13 set. 2014.

SEDURB - Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano. *ES sem Lixo*. 2014. Disponível em: <<http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em 13 de ago. 2015.

**DISCUSSÕES GERAIS
E
CONCLUSÕES FINAIS**

1 INTRODUÇÃO

Este estudo tem como objetivo geral o desenvolvimento de um modelo logístico para a localização de Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV) como parte integrante de Sistemas de Logística Reversa (SLR) de embalagens pós-consumo em Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O trabalho foi desenvolvido em quatro etapas metodológicas principais. Estas etapas foram individualmente apresentadas em quatro capítulos estruturados de forma independente, visando garantir um melhor detalhamento da revisão de literatura, metodologia, resultados e conclusões.

Neste Capítulo final são apresentados os principais itens discutidos nos quatro capítulos anteriores. A integração entre os conteúdos abordados individualmente nos quatro capítulos é realizada, de forma a sintetizar as principais contribuições de cada um.

São apresentadas também as conclusões finais deste estudo, destacando as constatações obtidas em cada etapa do trabalho, que permitiram um avanço gradativo e encadeado, resultando em um modelo logístico para SLR de embalagens pós-consumo, desenhado matematicamente por meio de uma função objetivo e restrições de contorno que representassem a realidade brasileira e verificada por meio de um estudo de campo no Estado do Espírito Santo/Brasil.

Por fim são apresentadas recomendações para estudos futuros que possam contribuir para uma evolução no estudo da logística reversa obrigatória de embalagens e produtos pós-consumo no Brasil, atendendo ao que determina a Lei 12.305/2010 que define a Logística Reversa (LR) como um instrumento de econômico e social. Por outro lado, outros SLR não obrigatórios, organizados de forma associativa ou individualizados também podem se valer da metodologia e contribuições deste estudo para que sejam implementadas e gerem ganhos econômicos, sociais e ambientais para as empresas e seus clientes.

2 DISCUSSÕES GERAIS

A logística reversa ainda é, de maneira geral, uma área pouco explorada pelo setor produtivo, que, na maioria das vezes, não consegue visualizar os ganhos decorrentes de sua implantação, seja no campo econômico, ambiental ou social. Este fato é evidenciado pela pouca adesão por parte das empresas, mesmo quando obrigatório. Caso contrário, já teríamos muitos casos de sucesso para comentar.

Porém, fatores externos às empresas, como a maior exigência por parte do consumidor, a necessidade de reduzir custos e a força de novas leis ambientais, têm impulsionado este processo no Brasil e no mundo. Esses fatores fazem com que cresça a necessidade de se conhecer melhor a logística reversa, seus fluxos, gargalos e os indicadores de desempenho, os quais irão mensurar o sucesso ou insucesso das estratégias aplicadas.

Vários estudos têm sido realizados com direcionamento a produtos específicos, sendo na maioria das vezes, estudos de caso ou utilizam-se dados reais para validação de modelos propostos. Estes estudos trazem grande contribuição, pois desenvolvem uma revisão de literatura específica e permite o aprofundamento das discussões relativas ao produto, entretanto dificulta a generalização de sua aplicação. Quanto aos estudos de otimização de redes de logística reversa, têm-se uma produção em estudo sobre roteiros de coleta e transporte, sejam elas realizada pelo próprio fabricante ou por empresas terceirizadas.

A logística reversa pós-consumo geralmente não é realizada de forma espontânea, salvos os casos em que há um estudo de viabilidade financeira que justifique os gastos, mas são casos isolados. A LR pós-consumo surgiu na década de 1990 na Europa e nos EUA simultaneamente, impulsionada pela consciência ambiental e mais fortemente por restrições das regulamentações. No cenário internacional são reconhecidas algumas iniciativas de políticas públicas voltadas para a LR de produtos pós-consumo. No entanto, ainda são poucas as avaliações sobre seus resultados e os dados disponíveis não possibilitam a uma síntese razoavelmente comparativa sobre o alcance dessas iniciativas.

A LR de produtos pós-consumo, exige a consolidação de um novo mercado formado um SLR com novos papéis e responsabilidades para os vários atores envolvidos.

No Capítulo 1 é apresentado um panorama sobre os SLR brasileiros e é analisado o desempenho dos sistemas em operação no Brasil e os Estudos de Viabilidade Técnica e Econômica (EVTE) dos sistemas que estão em fase de implantação, considerando o novo marco regulatório, Lei 12.305/2010.

Também são analisados no Capítulo 1 os dados sobre os SLR em operação no Brasil. Observa-se que as taxas de retorno apresentadas nos relatórios institucionais dos gestores dos programas de LR são elevadas. No entanto, o percentual de municípios atendidos é relativamente baixo. Esses números refletem a política adotada pelo Governo Federal, estabelecidos nos instrumentos de regulação, de priorização de atendimento da LR em municípios de maior porte.

Os dados dos EVTE elaborados para subsidiar os novos SLR mostram que, em termos de população atendida, a tendência é de um percentual elevado, que poderá refletir em percentuais elevados de materiais recolhidos pelos sistemas. Esse fato se contrapõe com o percentual de municípios atendidos, repetindo o mesmo cenário observado nos sistemas já em operação, com atendimento prioritário nos municípios de maior porte com população superior a 100 mil habitantes.

Na análise dos EVTE, observou-se a falta de padronização dos estudos, em que alguns deles apresentaram apenas os investimentos fixos iniciais, e outros fizeram a projeção ao longo do tempo, considerando metas progressivas e adesão da população. Esta falta de padronização dos dados dificulta uma análise comparativa mais detalhada.

O EVTE de embalagens pós-consumo foi considerada uma cobertura de 100% de em relação à população atendida sem que haja pontos de coleta em todos os municípios, e sem que haja previsão de como seria o atendimento onde não se tem ponto de coleta. Por outro lado, ele prevê que 100% dos municípios serão atendidos com serviço de coleta seletiva porta-a-porta ofertada pelos Sistemas Municipais de Coleta Seletiva (SMCS). No entanto, as hipóteses assumidas são extremamente distantes da realidade brasileira atual.

Quando se analisa a infraestrutura existente no Brasil para recebimento de produtos que deverão ser recolhidos pelos SLR observa-se um parque instalado concentrado nas regiões Sul e Sudeste, tanto para indústrias recicladoras como para empresas de tratamento de resíduos e

de disposição final de rejeitos. Essa diferença regional irá refletir nos custos logísticos entre as regiões do país e poderá impactar no alcance das metas dos sistemas.

Portanto, após analisar o panorama atual do Brasil em termos de propostas para implantação dos SLR de embalagens e produtos pós-consumo, a expectativa é que os SLR, quando implantados, não sejam geograficamente distribuídos de forma igualitária, e haverá uma concentração de pontos fixos de recebimento em municípios com população mais representativa e com maior adensamento populacional. Isto fará com que a taxa de retorno e eficiência do sistema seja elevada, sem condições de atender uma boa parcela dos municípios brasileiros, como ocorrem nos demais sistemas implantados. Repete-se, portanto, o cenário do saneamento básico brasileiro de água e esgoto em que se têm sistemas implantados apenas onde existe possibilidade de remuneração do serviço. Lembra-se aqui que, como as embalagens são parte dos RSU, trata-se também de saneamento básico.

No Brasil os SLR de embalagens pós-consumo já trazem um enraizamento nos quais estão inseridas as Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) e empresas que realizam triagem e beneficiamento primários destes materiais, muitas vezes similares ao que é realizado pelas OCMR, e empresas recicladoras. Também há de se considerar que paralelamente ao SLR de embalagens existem os SMCS que coletam as mesmas embalagens previstas para serem recolhidas pelos SLR de embalagens pós-consumo. Em vista disto, estes dois sistemas terão que coexistir, seja de forma paralela ou integrada. Fato é que as OCMR são o elo entre os dois sistemas, e por obrigação legal deverão ser prioritariamente inseridos nestes dois sistemas.

Por outro lado, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) traz um importante conceito que visa ampliar a economia de escala no gerenciamento dos resíduos sólidos por meio de consórcios públicos (BRASIL, 2010). Esta forma de organização territorial permite agrupar municípios, principalmente de pequeno e médio porte, visando garantir uma quantidade maior de resíduos e, portanto, diluindo os custos fixos dos sistemas de coleta, transporte, tratamento/valorização de resíduos e disposição final dos rejeitos. Estes consórcios por sua vez podem ser denominados Arranjos Territoriais Ótimos (ATOS).

O conceito de ATOS pode ser expandido para outras áreas relacionadas a Resíduos Sólidos, mesmo que a gestão e operação estejam a cargo do setor empresarial, como os SLR, com o objetivo de ganho de escala.

Os ATOS relativos à SLR poderá ser uma parte da área de um município grande, ou a área formada por vários municípios pequenos e médios, que produza resíduos sólidos com potencial de reciclagem, em boa escala, que viabilize econômica e financeiramente as instalações de unidades de triagem, de tratamento primário e de indústrias recicladoras.

Diante deste cenário, a contribuição desta Tese é o desenvolvimento um modelo logístico para localização de CT e CV necessárias à implantação de SLR de embalagens em ATOS, que necessariamente incorpore os municípios de pequeno porte e otimizem os custos dos SLR e a receita auferida com a comercialização dos materiais recicláveis.

Localizar ou alocar instalações é uma importante decisão estratégica a ser tomada por organizações, sejam privadas ou públicas. Em uma situação ideal, antes de uma facilidade ser instalada fisicamente, deveria ser realizado um estudo de localização para definir o melhor local das instalações e suas respectivas capacidades e fluxos.

Para a construção deste modelo logístico foi desenvolvida uma metodologia que inclui a construção de um modelo conceitual, o desenvolvimento de uma modelagem matemática que represente o modelo conceitual e todos os seus contornos, e o desenvolvimento computacional desde modelo matemático em um *solver*.

O modelo logístico proposto e apresentado no Capítulo 2 visa à localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagem pós-consumo com objetivo de minimizar os custos de instalação e operacionais das instalações e seus fluxos, bem como maximizar a receita com a comercialização dos materiais reaproveitáveis.

As questões relacionadas à logística reversa de embalagens pós-consumo estão em uma categoria de problemas de cunho ambiental em que a modelagem matemática e computacional pode subsidiar decisões estratégicas. Além de possibilitar a abordagem de questões relacionadas à localização de instalações, roteirização, produção e estoques, a modelagem matemática é uma ferramenta que pode ser utilizada como critério técnico com bases científicas para a proposição de metas em instrumentos de regulação da LR.

A logística reversa pode e deve se apoderar de ferramentas já consolidadas na logística de suprimento tradicional, incorporando as questões de cunho ambiental e social que norteiam a PNRS. Quando se trata dos SLR obrigatórios, previstos em instrumentos legais, têm-se diversos interessados, como setores industriais, responsáveis por implantar os SLR, as empresas recicladoras, os consumidores e os catadores de materiais reaproveitáveis, além do poder público. Muitas vezes as demandas que necessitam ser equacionadas são conflitantes, e as decisões tomadas são pautadas em critérios subjetivos. Desta forma, ter um critério técnico pode ser estratégico para o tomador de decisões.

A partir da concepção de um modelo conceitual, seis perguntas foram elaboradas a fim de nortear a construção do modelo matemático:

- Quais CT e CV deverão ser abertos?
- Para qual CT aberto às embalagens geradas em um município deverão ser destinadas para triagem?
- Para qual CV deverão ser enviados os resíduos triados no CT para agregação de valor?
- Para quais empresas recicladoras deverão seguir os materiais das CV?
- Para quais empresas de disposição final deverão seguir os rejeitos dos CT?

Para responder estas perguntas, um modelo matemático foi desenvolvido por meio de Programação Linear Inteira Mista (PLIM), cujo objetivo é minimizar os custos do SLR e maximizar as receitas auferidas com a comercialização dos materiais reaproveitáveis. A função-objetivo do problema é composta por cinco parcelas, divididas em 10 sub-parcelas, que representam: o custo de instalação e operação dos CT e CV, de disposição final dos rejeitos, de transporte entre os nós da rede e receita obtida com a venda dos materiais para indústrias recicladoras.

No modelo são apresentadas seis variáveis de decisão, incluindo a localização dos CT e CV e os quantitativos de fluxos entre PG até CT, CT até CV, CV até ER e o rejeito dos CT até AS.

Para que o modelo se adequasse mais precisamente à realidade foram desenvolvidas 20 restrições que deram os contornos do problema, de forma a reproduzir matematicamente as situações relacionadas à coleta, transporte e tratamento de materiais recicláveis e disposição

final de rejeitos. Para a construção do modelo também foram elencados 20 parâmetros que foram dimensionados de forma a representar o mais próximo possível à realidade.

Para obter estes parâmetros foi realizado um levantamento de dados secundários e uma pesquisa de campo no estado do Espírito Santo/Brasil. A pesquisa de campo foi realizada no período de 15 de março de 2015 a 15 de dezembro de 2015. Para alguns parâmetros, quando não foi possível obter os dados reais em campo, ou quando os dados se mostraram muito frágeis, foram utilizados dados da literatura.

Toda metodologia desenvolvida para a obtenção dos dados na pesquisa de campo, bem como os secundários, são apresentados no Capítulo 3. Os dados foram organizados e estruturados de modo a atender os pré-requisito do modelo conceitual e os parâmetros elencados. Neste estudo, foram considerados seis conjuntos de dados, sendo cinco de nós da rede logística estabelecida e um de tipos de materiais das embalagens.

Os conjuntos de nós foram formados por 78 Pontos de Geração (PG) que representam todos os municípios do estado do Espírito Santo (ES); 54 locais candidatos a CT, correspondente às OCMR existentes no estado em 2015. Para os CT foram definidas 4 faixas de capacidade possíveis de serem escolhidas. Foram definidas também 24 locais candidatos a CV, também com 4 faixas de capacidade, representando as áreas do projeto “ES sem Lixão” e centrais de tratamento de resíduos existentes. Devido às inconsistências encontradas no levantamento de dados sobre as empresas recicladoras existentes no ES, estes nós relacionados às ER foram representados por 14 polos industriais instalados no ES. O conjunto de AS foi formado por 8 aterros sanitários existente no estado. No sexto conjunto, formado pelos materiais recicláveis, considerou-se 4 tipos de materiais das embalagens (papel, plástico, metal e vidro), além do rejeito.

Para obtenção de informações ao processo de triagem foi realizada uma pesquisa junto às OCMR. Esta etapa foi realizada juntamente com o LAGESA (UFES) e Instituto Sindimicro. Como dado relevante, destaca-se a identificação das fontes de obtenção dos materiais triados pelas OAMCR, sendo estes originários de empresas, prefeitura, catação na rua e doações de moradores, bem como são advindos de outros municípios diferentes de onde está instalado, o que indica que o que está sendo proposto no modelo, com fluxo de materiais entre municípios já ocorre na prática.

A produtividade e a renda das associações também foram informações importantes. A análise da produtividade aponta para um valor médio de 85,2 kg/catador.dia ou 1.745,23 kg/catador.mês, considerando todas as associações pesquisadas. Este valor difere do valor de 200 kg/catador.dia, apresentado por Brasil (2008), utilizado também por IBAM (2012). Quanto à renda, a pesquisa aponta para um valor médio mensal de R\$ 767,30/catador.mês, com valores máximos e mínimo de R\$ 1.625,00 e R\$80,00, respectivamente. Na composição de custos do modelo foi considerado a remuneração de um salário mínimo, férias, décimo terceiro e todos os encargos sociais e produtividade base inicial de 200 kg/catador.dia para fins de comparação com o EVTE (IBAM, 2012).

Para a definição de áreas candidatas a CV foram analisadas ao todo 24 áreas sendo 19 áreas do projeto do Governo do Estado “ES sem Lixão” e 5 áreas onde estão localizadas centrais de tratamento de resíduos licenciados no ES.

Para o cálculo dos custos de instalação e de operação dos CT e CV foram elaboradas planilhas de composição de custo para as quatro faixas de capacidade propostas. Para a composição dos custos de instalação e operação de CT e CV foram considerados os custos fixos e os custos variáveis. Os custos fixos representam os gastos com licenciamento ambiental, compra de maquinário e equipamentos, construção do prédio administrativo e galpão, material de limpeza, salários, depreciação, entre outros. Os custos variáveis se referem ao gasto com insumos utilizados para o beneficiamento dos materiais como, água, energia, telefone, combustível, equipamentos de proteção individual, e outros.

Para mapeamento das empresas recicladoras de embalagens foi realizado inicialmente uma pesquisa com aplicação de um *survey*, mas com a baixa adesão de respondentes e inconsistências dos dados. Decidiu-se por utilizar como nó os polos industriais existentes no ES. Esta mudança também favoreceu o modelo, pois foi possível avaliar quais os polos industriais existentes são mais atrativos para a instalação de empresas recicladoras e o quantitativo de material esperado para cada polo, visto que o SLR ainda não existe no estado, um novo mercado que poderá ser iniciado.

Com os resultados do *survey* foi possível concluir que existe uma fragilidade dos bancos de dados sobre empresas recicladoras e até mesmo nos órgãos ambientais, pois muitas que se declaram como recicladora exercem, na verdade, atividades de ferro velho, aparistas, triagem,

prensagem, armazenamento e transporte de resíduos. Aponta também para a necessidade de construção de normas que ofereçam definições e conceitos sobre as diferentes atividades da cadeia de valor da reciclagem.

Para o cálculo de distâncias e os custos de transporte entre os nós da rede, foram mapeados a localização de todos os nós da rede em coordenadas UTM e calculada a distância entre as coordenadas, acrescido de 10%. Para o cálculo do custo foram considerados os custos de transporte obtidos conforme o Índice Nacional de Custos de Transporte de Carga Lotação (INCT-L) de dezembro de 2015 (NTC, 2015). A densidade considerada para os materiais transportados de PG e CT foi de 65 kg/m^3 (BASSANI, 2011), entre CT e CV e entre CV e ER foi de 200 kg/m^3 (BRASIL, 2011) e para o rejeito foi de 230 kg/m^3 (IBAM, 2009). Desta forma, os Coeficientes de Acréscimo de Cubagem (CAC) adotados foram 4,61, 1,5 e 1,3 respectivamente.

Para calcular as estimativas das receitas auferidas com a venda dos materiais recicláveis, foram considerados os valores médios obtidos em pesquisa com as OCMR. Quanto aos valores de venda, observa-se que há uma diferença entre os valores médios praticados pelas associações do estado e valores médios nacionais (CEMPRE, 2015). Chegando a uma diferença de 50,5 % para a embalagem do tipo “Tetrapack”, 16,8% para o Plástico tipo PET e 49,9% para o vidro. Para este estudo são considerados como valores de comercialização, os valores médios de venda praticados pelas OCMR do ES, a saber, Papel: R\$214,9/t; Plástico: R\$625,9/t; Metal: R\$ 1471,6/t; e Vidro: R\$61,7/t.

Todos estes resultados foram organizados em forma de vetores e matrizes na linguagem utilizada pelo *solver* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

No Capítulo 4 foi apresentada a aplicação do modelo matemático descrito no Capítulo 2, utilizando os parâmetros de entrada obtidos a partir do estudo de campo, apresentados no Capítulo 3.

Neste capítulo são discutidos três modelos, sendo o primeiro o Modelo Otimizado, baseado em todas as premissas discutidas no Capítulo 2, cujo objetivo é alocar CT e CV em locais estratégicos, bem como os melhores fluxos entre os nós da rede que se estabelece. O segundo foi o Modelo Alternativo, onde todos os CT candidatos são obrigatoriamente alocados. Desta forma, todas as OCMR são inseridas no sistema. O terceiro foi o Modelo Atual, onde os

materiais recicláveis são sejam encaminhados diretamente dos CT para as ER e desta forma as CV não são alocadas. Esta situação é tratada como Modelo Atual, pois não considera a existência de CV no ES.

De forma a analisar a sensibilidade do modelo às variações que podem ocorrer em função dos parâmetros de entrada foram construídos cenários. Estes, construídos com base na variação da taxa de retorno das embalagens por parte da população, em aspectos operacionais do sistema como a produtividade da associação de catadores, os custos de transporte e preço de venda dos materiais para indústrias recicladoras. Assim, os cenários foram denominados de Cenário Conservador, Cenário Pessimista e Cenário Otimista.

Para avaliação do modelo matemático quanto aos aspectos operacionais foram testados seis cenários. O C1 é considerado Pessimista, o C2 e o C3 são Conservadores e o C4, o C5 e o C6 são Otimistas. Todos os cenários foram analisados para taxas de retorno do potencial de embalagens geradas pela população urbana do município de 5%, 20%, 40% e 60%.

Nos modelos o item que mais contribui para o custo do sistema são os CT, correspondendo a 58,1% no Modelo Otimizado, 68,78% no Modelo Alternativo e 76,3% no Modelo Atual. Em média, 93% destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o processo atual, e considerado nos cenários, é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Portanto, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado.

O número de CT e CV alocados variam com o cenário e com a taxa de retorno. No Modelo Otimizado foram alocados em média 32,01% dos CT candidatos e 24,1% das CV candidatas. No Modelo Alternativo, 100% dos CT são alocadas e a mesma taxa de 24,1% das CV candidatas se mantém. No Modelo Atual onde não existem CV, a taxa de alocação de CT aumenta para 34,9%.

O estudo mostrou que a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduzem os custos totais do sistema, o que é evidenciado quando se compara os resultado do C1-20%, para todos os três modelos, com o EVTE de embalagens (IBAM, 2012). No C1-20% o Modelo Otimizado apresenta um custo unitário de R\$499,37/t e taxa de R/C de 77%, enquanto o EVTE chega a um custo unitário médio de R\$849,01/t e a uma taxa de R/C de 55,4% para o Brasil, sendo que para municípios de pequeno porte, esta relação é de 40,1%.

Portanto, o modelo logístico apresentado mostrou ter uma aplicabilidade real, pois os resultados utilizando dados reais apontou valores otimizados e que refletem para uma organização territorial em ATOS compatíveis com a realidade do estado, em que a regionalização resultante do modelo se aproxima de outras regionalizações já existentes no Estado (ESPÍRITO SANTO, 2011; SEDURB, 2014).

A partir do C3, os três modelos discutidos neste trabalho apresentam resultados positivos, com taxa R/C superior a 100%. O Modelo Otimizado sempre se sobressai, pois ele tem a possibilidade alocar os melhores CT e CV além dos melhores fluxos, o que é limitado nos demais modelos. Mas pode-se concluir que independente do modelo adotado, a utilização de um modelo logístico que defina as capacidades e os fluxos, pode levar a um resultado mais satisfatório do que um planejamento baseado apenas na quantidade de resíduos.

Quanto ao número de postos de trabalho, o Modelo Otimizado requer um número menor de postos de trabalho que o Modelo Otimizado, mas a taxa de R/C é maior. Comparando o Modelo Otimizado com o Atual, o primeiro requer um número maior de postos de trabalho, e da taxa de R/C. Portanto, para estes dois indicadores, o Modelo Otimizado se destaca. Quando comparado o Modelo Alternativo com o Modelo Atual, o primeiro requer mais posto de trabalho. Os dois modelos apresentam taxas de R/C muito próximas, destacando-se o modelo Alternativo.

3 CONCLUSÕES FINAIS

Este estudo aponta uma série de desafios para o desenvolvimento e operacionalização dos SLR de embalagens e produtos pós-consumo no Brasil. Questões como adequação de legislação e normatização, aspectos tributários, instrumentos financeiros e falta de critérios no licenciamento ambiental das atividades relacionadas à cadeia de valor da reciclagem são gargalos que necessitam ser superados para seu avanço. Além disto, as diferenças regionais, em termos de infraestruturas instaladas para tratamento de resíduos e destinação final de rejeitos, podem fazer com que os SLR obrigatórios no Brasil não sejam implementados de forma igualitária em todo o território nacional.

Avaliando os SLR já em operação, conclui-se que os indicadores de desempenho de SLR devem medir não apenas as taxas de retorno dos materiais, mas também a sua cobertura e abrangência. Os resultados de relatórios institucionais e governamentais sobre os SLR já implantados no Brasil apontam para boas taxas de retorno de produtos, porém com poucos municípios atendidos, visto que o atendimento é prioritário para os grandes centros urbanos.

Objetivando apresentar uma metodologia que dê suporte à tomada de decisões quanto à escolha de melhores locais para localização de instalações destinadas à logística reversa, um modelo logístico conceitual e matemático foi proposto.

O modelo tem como objetivo principal a localização de instalações destinadas à logística reversa de embalagens, com alocação de CT e CV, permitindo que diferentes tipos de materiais entrem no sistema seguindo fluxos diferentes, em função das restrições das Empresas Recicladoras (ER). A utilização de parâmetros de entrada no modelo a partir de dados reais coletados no estado do Espírito Santo possibilitou uma representação de forma mais fidedigna da realidade e demonstrou a aplicabilidade do Modelo Otimizado proposto.

A comparação do Modelo Otimizado com outras duas situações possíveis de ocorrerem em relação à alocação dos CT e das CV, o Modelo Alternativo e o Modelo Atual, possibilitou ampliar a discussão em termos de sua aplicabilidade, mostrando que a organização de ATOS para SLR de embalagens pode possibilitar a universalização deste serviço à população, com atendimento aos municípios de pequeno e médio porte.

A construção dos Cenários Pessimista, Conservador e Otimista, construídos com base nas principais condicionantes do modelo, possibilitou avaliar a sua sensibilidade quanto à participação da população, à capacidade produtiva dos CT e CV, aos custos de transporte e aos valores de comercialização alcançados.

Nos cenários analisados o item que mais contribui para o custo do sistema foram os CT, correspondendo a 58,1% no Modelo Otimizado, 68,78% no modelo Alternativo e 76,3% no modelo Atual. Em média 93%, destes gastos são relativos aos custos operacionais, visto que o processo atual é totalmente manual, o que requer o uso de muita mão de obra. Portanto, para melhorias no sistema este é um fator importante a ser considerado. O estudo mostrou que a otimização do SLR com a alocação de CV e CT em locais estratégicos reduz os custos totais dos sistemas, o que é evidenciado quando se compara os resultado do C-20%, para todos os três Modelos, com o EVTE de embalagens.

O número de CT e CV alocados variam com o aumento da taxa de retorno e com o cenário. Dessa forma o modelo pode ser organizado iniciando com instalações de menor porte e aumentando sua capacidade à medida que a quantidade de embalagens aumente. Como a entrada da informação, quanto à quantidade de embalagens é por município, isto permite que o modelo seja reavaliado continuamente, com modificações nos parâmetros de acordo com o crescimento da participação em cada município individualmente.

O que deve ser observado é que, com a implementação de melhorias no sistema, principalmente as que refletem na produtividade, a demanda por CT e CV é reduzida, bem como é reduzido o número de postos de trabalho. De forma análoga, havendo um aumento na taxa de retorno, o número de CT e CV podem ser mantidos, desde que haja melhorias na taxa de produtividade nessas instalações.

É importante destacar que esta pesquisa, apesar de aplicada às embalagens pós-consumo e de ter como local de estudo de campo o estado do Espírito Santo, pode ser aplicada em locais com características territoriais semelhantes, bem como a outros produtos pós-consumo, como eletroeletrônicos, medicamentos vencidos, pilhas e baterias, pneus, embalagens de produtos perigosos, dentre outros, desde que definidos os parâmetros de entrada e da verificação das restrições de contorno do modelo.

4 TRABALHOS FUTUROS

Durante a construção deste trabalho foi possível verificar pontos que necessitam de um melhor aprofundamento em termos de estudos científicos sobre SLR e que poderiam fortalecer e incrementar os resultados aqui alcançados. Dentre os pontos observados destacam-se:

- A definição de critérios técnicos e conceitos para as atividades da cadeia de valor da reciclagem, a fim de padronizar e facilitar a organização de dados sobre a infraestrutura existente para atender aos SLR;
- O mapeamento e formação de base de dados confiável sobre as instalações existentes para reciclagem e tratamento de resíduos e disposição final de rejeitos de forma a reduzir o tempo de coleta de dados de campo para estudos logísticos para outros SLR;
- O estudo de indicadores de sustentabilidade para sistemas de logística reversa a fim de se ter uma ferramenta de monitoramento e avaliação da efetividade dos SLR existentes;
- A definição de critérios para localização de Pontos de Entrega Voluntária de produtos pós-consumo de forma a se ter uma metodologia que facilite a tomada de decisão sobre locais mais adequados para que a taxa de retorno de materiais seja otimizada;
- O estudo de roteirização incluindo a etapa anterior à coleta seletiva em PEV de forma a melhorar a otimização dos SLR a partir da definição de rotas mais adequadas;
- A ampliação do estudo de localização de infraestruturas para SLR, incluindo mais uma camada tendo os PEV como uma variável de decisão do modelo.
- A realização de um estudo mais aprofundado sobre os métodos computacionais de solução dos modelos propostos, a fim de obter um desempenho mais eficaz, no que diz respeito ao tempo gasto para obter as soluções encontradas e para aplicações do modelo a cenários que requerem um maior processamento de dados;
- A necessidade de avaliar o modelo desenvolvido para outros materiais cuja logística reversa é obrigatória como medicamentos inservíveis, eletroeletrônicos, pilha e baterias, embalagens de agrotóxicos e de óleos lubrificantes contaminados, dentre outros.

REFERÊNCIAS

- BASSANI, P. D. *Caracterização de resíduos sólidos de coleta seletiva em condomínios residenciais: Estudo de caso em Vitória-ES*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2011.
- BRASIL. Lei nº. 12.305/ 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. 2010. *Diário Oficial da União de 03/08/2010*.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano. *Elementos para a organização da coleta seletiva e projeto de galpões de triagem*. Brasília, 2008. 53 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Melhoria da Gestão Ambiental Urbana no Brasil – BRA/OEA/08/001. *Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios Públicos*. Brasília, 2011. 75 p.
- CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem. *Base de dados das empresas cadastradas como recicladoras*. 2015 Disponível em <<http://cempre.org.br/servico/mercado2015>>. Acesso em 15 dez. 2015.
- Espírito Santo. Lei Ordinária nº 9.768 de 28/12/2011. Dispõe sobre a definição das Microrregiões e Macrorregiões de Planejamento no Estado do Espírito Santo. 2011. *Diário Oficial-ES de 28/12/2011*.
- IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Manual de Gerenciamento Integrado de resíduos sólidos*. José Henrique Penido Monteiro (Coord.). Rio de Janeiro: IBAM, 2009.
- IBAM - Instituto Brasileiro de Administração Municipal. *Estudo de viabilidade técnica e econômica para implantação da logística reversa por cadeia produtiva - Componente: Produtos e embalagens pós-consumo*. [online]. 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_PRODUTOS_EMBALAGENS_PO_S_CONSUMO/>. Acesso em 13 set. 2014.
- NTC - Associação Nacional do Transporte de Cargas e Logística. DECOPE - Departamento de Custos Operacionais e Pesquisas Técnicas e Econômicas. *Relatório mensal do INCTF e o INCTL: dezembro. 2015*. Disponível em: <http://www.setcarfs.com.br/inct/inct_dezembro2015.pdf>. Acesso em 20 jun. 2016.
- SEDURB - Secretaria de Estado de Saneamento, Habitação e Desenvolvimento Urbano. *ES sem Lixo*. 2014. Disponível em: <<http://www.sedurb.es.gov.br/default.asp>>. Acesso em 13 de ago. 2015.

APÊNDICE I – Modelo matemático desenvolvido no IBM ILOG CPLEX
Optimization Studio

APÊNDICE II – Questionários aplicados às Organizações de catadores de
materiais recicláveis e às empresas recicladoras

APÊNDICE III – Coordenadas dos nós do modelo matemático para SLR

APÊNDICE IV – Planilhas de composição de custos dos Centros de Triagem e
Centrais de Valorização.

Apêndice I – Modelo matemático desenvolvido no IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* (IBM, 2015).

I.A Modelo Otimizado - Cenários 1 a 4

```

/*****
 * OPL 12.5 Model
 * Author: Maria Claudia
 * Creation Date: 04/12/2016 at 17:04:31
 *****/
//DADOS
//número de municípios
int municipios = ...;

//número de Centros de Triagem de Resíduos (CTR)
int ctr = ...;

//número de Centrais de Valorização de Resíduos (CTR)
int cvr = ...;

// número de empresas receptoras
int receptoras = ...;

// número de empresas de destinação final
int destinofinal = ...;

// número de tipos de materiais das embalagens.
int tipos = ...;

// número de tipos faixa de capacidade da CTR.
int CTRcap = ...;

// número de tipos faixa de capacidade da CTR.
int CVRcap = ...;

// *****/

// CONJUNTOS

range L = 1 .. municipios;

range I = 1 .. ctr ;

range M = 1 .. cvr ;

range J = 1 .. receptoras;

range K = 1 .. destinofinal;

range G = 1 .. tipos;

range C = 1 .. CTRcap;

range Q = 1 .. CVRcap;
```



```

// Parâmetros
float d[l in L]= ...;

float Pec[g in G]= ...;

float f[c in C]= ...;

float h[q in Q]= ...;

float cf[l in L][i in I]= ...;

float cs[i in I][m in M]= ...;

float ch[m in M][j in J]= ...;

float ct[i in I][k in K]= ...;

float df[l in L][i in I]= ...;

float ds[i in I][m in M]= ...;

float dh[m in M][j in J]= ...;

float dt[i in I][k in K]= ...;

float caf[c in C]= ...;

float cah[q in Q]= ...;

float cas[j in J][g in G]= ...;

float cat[k in K][g in G]= ...;

float cof[c in C]= ...;

float coh[q in Q]= ...;

float cd[g in G]= ...;

float r[g in G]= ...;

//*****

// VARIÁVEIS

dvar float X[l in L][i in I][c in C];

dvar float P[l in L][i in I][c in C][g in G];

dvar float Z[i in I][c in C][m in M][q in Q][g in G];

dvar float V[m in M][q in Q][j in J][g in G];

dvar float W[i in I][c in C][k in K][g in G];

dvar int Y[i in I][c in C];

dvar int N[m in M][q in Q];

//*****

```

```

// FUNÇÃO OBJETIVO
minimize

sum(i in I, c in C) (f[c] * Y[i,c]) + sum(m in M, q in Q) (h[q] * N[m, q]) +
sum(i in I, c in C) (cof[c]*Y[i,c]) + sum(m in M, q in Q) (coh[q]*N[m,q])+
sum(l in L, i in I, c in C) (df[l,i]*cf[l,i]*X[l,i,c]) + sum(i in I, c in C, m
in M, q in Q, g in G) (ds[i,m]*cs[i,m]*Z[i,c,m,q,g])+ sum(m in M, q in Q, j
in J, g in G) (dh[m,j]*ch[m,j]*V[m,q,j,g]) + sum (i in I, c in C, k in K, g
in G) (dt[i,k]*ct[i,k]*W[i,c,k,g]) + sum (i in I, c in C, k in K, g in
G) (cd[g]*W[i,c,k,g]) - sum (m in M, q in Q, j in J, g in G) (r[g]*V[m,q,j,g]);

//*****
// RESTRIÇÕES

subject to
{
forall (l in L) {
const01: (sum(i in I, c in C) X[l,i,c]) == d[l];}

forall (g in G, l in L, i in I, c in C) {
const02: P[l,i,c,g] == X[l,i,c]*Pec[g];}

forall (i in I, g in G, c in C) {
const03: (sum(l in L) P[l,i,c,g]) - (sum (k in K) W[i,c,k,g])-(sum (m in
M, q in Q) Z[i,c,m,q,g]) == 0;}

forall (g in G, m in M, q in Q) {
const04: (sum(i in I, c in C) Z[i,c,m,q,g])-(sum(j in J) V[m,q,j,g]) == 0;}

forall (i in I, c in C) {
const05: (sum(l in L, g in G) P[l,i,c,g]) - (Y[i,c]*caf[c]) <= 0;}

forall (m in M, q in Q) {
const06: (sum(i in I, c in C, g in G) Z[i,c,m,q,g])-(N[m,q]*(cah[q])) <= 0;}

forall (j in J, g in G) {
const07: (sum(m in M, q in Q) V[m,q,j,g]) - (cas[j,g]) <= 0;}

forall (k in K, g in G) {
const08: (sum(i in I, c in C) W[i,c,k,g]) - (cat[k,g]) <= 0;}

forall (i in I, c in C) {
const09: 0 <= Y[i,c] <= 1; }

forall (m in M, q in Q) {
const10: 0 <= N[m,q] <= 1; }

forall (i in I) {
const11: (sum (c in C) Y[i,c]) <= 1; }

forall (m in M) {
const12: (sum (q in Q) N[m,q]) <= 1; }

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const13: P[l,i,c,g] >= 0;}

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const14: X[l,i,c] >= 0;}

forall (i in I, m in M, g in G, c in C, q in Q) {
const15: Z[i,c,m,q,g] >= 0;}

```

```
forall (m in M, j in J, g in G, q in Q) {
const16: V[m,q,j,g] >= 0;}

forall (i in I, k in K, g in G, c in C) {
const17: W[i,c,k,g] >= 0;}}
```

1.B Modelo Otimizado - Cenários 5 e 6

```

/*****
* OPL 12.5 Model
* Author: Maria Claudia
* Creation Date: 30/11/2016 at 06:46:02
*****/
//DADOS
Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários
/*****

// CONJUNTOS

Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

// Parâmetros
Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários, INCLUINDO:

float Rej[g in G]= ...;

float cr[m in M][k in K]= ...;

float dr[m in M][k in K]= ...;

float cdr[g in G]= ...;

//*****
// VARIÁVEIS

Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários, INCLUINDO:

dvar float T[m in M][q in Q][k in K][g in G];

dvar float R[i in I][c in C][m in M][q in Q][g in G];

//*****
// FUNÇÃO OBJETIVO

minimize

sum(i in I, c in C) (f[c] * Y[i,c]) + sum(m in M, q in Q) (h[q] * N[m, q]) +
sum(i in I, c in C) (cof[c]*Y[i,c]) + sum(m in M, q in Q) (coh[q]*N[m,q])+
sum(l in L, i in I, c in C) (df[l,i]*cf[l,i]*X[l,i,c]) + sum(i in I, c in C, m
in M, q in Q, g in G) (ds[i,m]*cs[i,m]*Z[i,c,m,q,g])+ sum(m in M, q in Q, j
```

```

in J, g in G) (dh[m,j]*ch[m,j]*V[m,q,j,g]) + sum (i in I, c in C, k in K, g
in G) (dt[i,k]*ct[i,k]*W[i,c,k,g]) + sum (i in I, c in C, k in K, g in G)
(cd[g]*W[i,c,k,g]) + sum (m in M, q in Q, k in K, g in G) (dr[m,k] *cr
[m,k]*T[m,q,k,g]) + sum (m in M, q in Q, k in K, g in G) (cdr[g]*
T[m,q,k,g]) - sum (m in M, q in Q, j in J, g in G) (r[g]*V[m,q,j,g]);

//*****
// RESTRIÇÕES
subject to
{
forall (l in L) {
const01: (sum(i in I, c in C) X[l,i,c]) == d[l];}

forall (g in G, l in L, i in I, c in C) {
const02: P[l,i,c,g] == X[l,i,c]*Pec[g];}

forall (i in I, g in G, c in C) {
const03: (sum(l in L) P[l,i,c,g]) - (sum (k in K) W[i,c,k,g])-(sum (m in
M, q in Q) Z[i,c,m,q,g]) == 0;}

forall (m in M, q in Q, g in G) {
const04: (sum(i in I, c in C) Z[i,c,m,q,g]) - (sum(i in I, c in
C) R[i,c,m,q,g]) - (sum(j in J) V[m,q,j,g]) == 0;}

forall (i in I, c in C) {
const05: (sum(l in L, g in G) P[l,i,c,g]) - (Y[i,c]*caf[c]) <= 0;}

forall (m in M, q in Q) {
const06: (sum(i in I, c in C, g in G) Z[i,c,m,q,g]) - (N[m,q]*(cah[q])) <= 0;}

forall (j in J, g in G) {
const07: (sum(m in M, q in Q) V[m,q,j,g]) - (cas[j,g]) <= 0;}

forall (k in K, g in G) {
const08: (sum(i in I, c in C) W[i,c,k,g]) + (sum(m in M, q in Q) T[m,q,k,g])
- (cat[k,g]) <= 0;}

forall (i in I, c in C) {
const09: 0 <= Y[i,c] <= 1; }

forall (m in M, q in Q) {
const10: 0 <= N[m,q] <= 1; }

forall (i in I) {
const11: (sum (c in C) Y[i,c]) <= 1; }

forall (m in M) {
const12: (sum (q in Q) N[m,q]) <= 1; }

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const13: P[l,i,c,g] >= 0;}

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const14: X[l,i,c] >= 0;}

forall (i in I, m in M, g in G, c in C, q in Q) {
const15: Z[i,c,m,q,g] >= 0;}

forall (m in M, j in J, g in G, q in Q) {
const16: V[m,q,j,g] >= 0;}

```

```

forall (i in I, k in K, g in G, c in C) {
const17: W[i,c,k,g] >= 0;}

forall (m in M, q in Q, g in G) {
const18: (sum(k in K) T[m,q,k,g])==(sum(i in I, c in C)R[i,c,m,q,g]);}

forall (m in M, q in Q, k in K, g in G ) {
const19: T[m,q,k,g] >= 0;}

forall (i in I, c in C, m in M, q in Q, g in G) {
const20: R[i,c,m,q,g]== Z[i,c,m,q,g]*Rej[g];}}

```

I.C Modelo Atual

```

/*****
* OPL 12.5 Model
* Author: Maria Claudia
* Creation Date: 06/12/2016 at 21:09:32
*****/
//DADOS
//número de municípios
int municipios = ...;

//número de Centros de Triagem de Resíduos (CTR)
int ctr = ...;

// número de empresas receptoras
int receptoras = ...;

// número de empresas de destinação final
int destinofinal = ...;

// número de tipos de materiais das embalagens.
int tipos = ...;

// número de tipos faixa de capacidade da CTR.
int CTRcap = ...;

/*****
// CONJUNTOS

range L = 1 .. municipios;

range I = 1 .. ctr ;

range J = 1 .. receptoras;

range K = 1 .. destinofinal;

range G = 1 .. tipos;

range C = 1 .. CTRcap;

/*****
// Parâmetros

```

```

float d[l in L]= ...;

float Pec[g in G]= ...;

float f[c in C]= ...;

float cf[l in L][i in I]= ...;

float cs[i in I][j in J]= ...;

float ct[i in I][k in K]= ...;

float df[l in L][i in I]= ...;

float ds[i in I][j in J]= ...;

float dt[i in I][k in K]= ...;

float caf[c in C]= ...;

float cas[j in J][g in G]= ...;

float cat[k in K][g in G]= ...;

float cof[c in C]= ...;

float cd[g in G]= ...;

float r[g in G]= ...;

//*****

// VARIÁVEIS

dvar float X[l in L] [i in I][c in C];

dvar float P[l in L][i in I][c in C][g in G];

dvar float Z[i in I][c in C][j in J][g in G];

dvar float W[i in I][c in C][k in K][g in G];

dvar int Y[i in I][c in C];

//*****
// FUNÇÃO OBJETIVO
minimize

    sum(i in I, c in C) (f[c] * Y[i,c]) + sum(i in I, c in C) (cof[c]
    *Y[i,c])+sum(l in L, i in I, c in C) (df[l,i]*cf[l,i]*X[l,i,c]) + sum(i
    in I, c in C, j in J, g in G) (ds[i,j]*cs[i,j]*Z[i,c,j,g])+ sum (i in I,
    c in C, k in K, g in G) (dt[i,k]*ct[i,k]*W[i,c,k,g]) + sum (i in I, c in
    C, k in K, g in G) (cd[g]*W[i,c,k,g]) - sum (i in I, c in C, j in J, g in
    G) (r[g]*Z[i,c,j,g]);

//*****
// RESTRIÇÕES

subject to
{

```

```

forall (l in L) {
const01: (sum(i in I, c in C) X[l,i,c]) == d[l];}

forall (g in G, l in L, i in I, c in C) {
const02: P[l,i,c,g] == X[l,i,c]*Pec[g];}

forall (i in I, g in G, c in C, j in J) {
const03: (sum(l in L) P[l,i,c,g]) - (sum (k in K) W[i,c,k,g])-(sum (j in
J) Z[i,c,j,g]) == 0;}

forall (i in I, c in C) {
const04: (sum(l in L, g in G) P[l,i,c,g]) - (Y[i,c]*caf[c]) <= 0;}

forall ( j in J, g in G) {
const05: (sum(i in I, c in C) Z[i,c,j,g]) - (cas[j,g]) <= 0;}

forall (k in K, g in G) {
const06: (sum(i in I, c in C) W[i,c,k,g]) - (cat[k,g]) <= 0;}

forall (i in I, c in C) {
const07: 0 <= Y[i,c] <= 1; }

forall (i in I) {
const08: (sum (c in C) Y[i,c]) <= 1; }

forall (l in L,i in I, g in G, c in C) {
const09: P[l,i,c,g] >= 0;}

forall (l in L,i in I, g in G, c in C) {
const10: X[l,i,c] >= 0;}

forall (i in I, j in J, g in G, c in C) {
const11: Z[i,c,j,g] >= 0;}

forall (i in I, k in K, g in G, c in C) {
const12: W[i,c,k,g] >= 0;}}

```

I.D Modelo Alternativo

```
1  *****/
* OPL 12.5 Model
* Author: Maria Claudia
* Creation Date: 29/07/2016 at 11:37:01
*****/
//DADOS
Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

//*****

// CONJUNTOS

Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

// Parâmetros
Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

// VARIÁVEIS

Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

//*****
// FUNÇÃO OBJETIVO
Idem ao Modelo Otimizado para os demais cenários

//*****
// RESTRIÇÕES

subject to
{
forall (l in L) {
const01: (sum(i in I, c in C) X[l,i,c]) == d[l];}

forall (g in G, l in L, i in I, c in C) {
const02: P[l,i,c,g] == X[l,i,c]*Pec[g];}

forall (i in I, g in G, c in C) {
const03: (sum(l in L) P[l,i,c,g]) - (sum (k in K) W[i,c,k,g]) - (sum (m in
M, q in Q) Z[i,c,m,q,g]) == 0;}

forall (g in G, m in M, q in Q) {
const04: (sum(i in I, c in C) Z[i,c,m,q,g]) - (sum(j in J) V[m,q,j,g]) == 0;}

forall (i in I, c in C) {
const05: (sum(l in L, g in G) P[l,i,c,g]) - (Y[i,c]*caf[c]) <= 0;}

forall (m in M, q in Q) {
const06: (sum(i in I, c in C, g in G) Z[i,c,m,q,g]) - (N[m,q]*(cah[q])) <= 0;}

forall (j in J, g in G) {
const07: (sum(m in M, q in Q) V[m,q,j,g]) - (cas[j,g]) <= 0;}

forall (k in K, g in G) {
const08: (sum(i in I, c in C) W[i,c,k,g]) - (cat[k,g]) <= 0;}

forall (i in I, c in C) {
```



```

const09: 0 <= Y[i,c] == 1; }

forall (m in M, q in Q) {
const10: 0 <= N[m,q] <= 1; }

forall (i in I) {
const11: (sum (c in C) Y[i,c]) == 1; }

forall (m in M) {
const12: (sum (q in Q) N[m,q]) <= 1; }

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const13: P[l,i,c,g] >= 0;}

forall (l in L, i in I, g in G, c in C) {
const14: X[l,i,c] >= 0;}

forall (i in I, m in M, g in G, c in C, q in Q) {
const15: Z[i,c,m,q,g] >= 0;}

forall (m in M, j in J, g in G, q in Q) {
const16: V[m,q,j,g] >= 0;}

forall (i in I, k in K, g in G, c in C) {
const17: W[i,c,k,g] >= 0;}

forall (i in I) {
const18: (sum (l in L, c in C) X[l,i,c]) >= 0;}

```

Apêndice II – Questionários

Os questionários foram elaborados e aplicados com apoio do Laboratório de Gestão do Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo (LAGESA/UFES) e Instituto Sindimicro.

II.A Questionário aplicado às Organizações de Catadores de Materiais Recicláveis (OCMR) do Espírito Santo.

INFORMAÇÕES GERAIS
Mês/Ano da entrevista:
Modo da entrevista:
Cooperativa ou Associação
Nome:
SIGLA:
CNPJ:
Município:
Endereço Completo:
Telefone:
E-mail:
Coordenada UTM (latitude):
Coordenada UTM (longitude):
Nome do responsável:
Cargo do responsável:
Telefone do responsável:
E-mail do responsável:
Está formalizada?
Em operação?
Possui contrato com a prefeitura para algum serviço?
Se possui contrato, para que serviço?
a) Coleta
b) Triagem
c) Educação Ambiental
d) Serviços Ambientais
e) Compostagem
Possui convênio com a prefeitura para ajuda nas despesas?
Possui licenciamento ambiental? (Pedir cópia)
Possui regimento interno?
Renda Mensal Média dos trabalhadores (pela associação):
INFRAESTRUTURA
Nº de associados/cooperados
Nº de associados/cooperados do sexo masculino?
Nº de associados/cooperados do sexo feminino?
a) Administrador

b) Coletores de rua
c) Triadores
d) Retriador
e) Deslocadores de Tambor
f) Enfardador
g) Outras atividades (Descrever)
Possui revezamento de atividades?
Equipamentos Existentes (Quantidade, modelo, capacidade):
a) Esteira Manual
b) Esteira mecanizada
c) Mesa de triagem
d) Carrinho plataforma
e) Carrinho manual p/ deslocar tambores?
f) Empilhadeira
g) Picotadeira
h) Prensa?
i) Balança?
j) Elevador de carga?
l) Veículos?
m) Outros?
Galpão:
a) Qual a área do Galpão (m²)?
b) De quem é o galpão?
c) O galpão é coberto?
d) Qual a altura da cobertura? (m)
Armazenamento:
Etapa de Recepção
Etapa de Pós Triagem
Etapa de Pós Prensagem
CUSTOS
Custo médio mensal:
a) Aluguel
Quem paga?
b) Água
Quem paga?
c) Energia
Quem paga?
d) Telefone
Quem paga?
e) Internet
Quem paga?
l) Manutenção de equipamentos
Quem paga?
g) Alimentação
Quem paga?
h) Combustível (Gasolina/Diesel)

Quem paga?			
i) Insumos de produção (cordas, grampos, sacos)			
Quem paga?			
j) Aterramento de rejeitos			
Quem paga?			
k) Equipamentos de Segurança			
Quem paga?			
f) Contador			
Quem paga?			
m) assistente solcial			
Quem paga?			
n) auxiliar de escritório			
Quem paga?			
o) INSS			
Quem paga?			
l) Outros			
Total			
Quem paga?			
RECEPÇÃO			
O município possui Coleta Seletiva?			
Qual a representatividade da coleta seletiva?			
Qual o percentual de resíduos provenientes:			
a) De Empresas?			
b) Da Prefeitura?			
c) Da Catação de rua?			
d) De Moradores?			
e) De Doações?			
Recebem resíduos de outros municípios?			
Qual a qualidade dos resíduos recebidos?			
Por quê?			
TIPOS DE MATERIAIS	PROCESSO PRODUTIVO	MERCADO	
	Triagem/Beneficiamento /Armazenamento:	Quantidade vendida (kg/mês):	Preço médio de venda (R\$/kg):
a) Papel			
Papelão			
Papel Branco			
Jornal			
Tetrapack			
Papel Misturado (revistas, papel liso, seda)			
b) Plástico			
EPS (Isopor)			
PEAD Colorido (garrafas de produtos de limpeza, garrafas de iorgute, potes de sorvete)			
PEAD Cristal (garrafas de produtos de limpeza transparentes)			
PEAD Leitoso (garrafas de produtos de limpeza leitosos)			

PEBD Plástico Filme colorido (sacolas de supermercado, de lixo)			
PEBD Plástico Filme cristal (saquinhos de hortifruti)			
PET cristal (garrafas de refrigerante Coca Cola)			
PET colorido (garrafas de refrigerante Guaraná, etc)			
PP Caixaria (engradados, baldes, bombonas quebradas)			
PP Misto (manteigueira, copo de iorgute, tampa de copo de requeijão, paracheque)			
PS (Copo descartável, pratinhos)			
PVC (bandeijinha ovos)			
PVC (Garrafão de água mineral, copo de requeijão)			
PVC (tubo, forro)			
c) Vidro			
Longneck			
Caco			
Embalagens inteiras			
d) Metal			
Ferro			
Aço			
Alumínio			
Chumbo			
Cobre			
Estanho			
Níquel			
Zinco			
e) Componentes eletrônicos			
Placa de computador			
Computador desmontado			
Computador Inteiro			
Toneer de impressão			
Cartucho de impressão			
Fios			

Segregam outros resíduos? Quais?
Qual o percentual de rejeito?
Possui planilha com histórico de venda?
Entrega ou Comprador busca?
a) Papel
b) Plástico
c) Vidro
d) Metal
Para quem vende?
a) Papel
b) Plástico
c) Vidro
d) Metal

II.B Questionário aplicado às indústrias de reciclagem do Espírito Santo

Formulário aplicado no aplicativo Google Form.

Questionário da Indústria da Reciclagem no Espírito Santo

*Obrigatório

Apresentação

O Questionário apresentado a seguir faz parte de um Projeto de Pesquisa elaborado pelo Laboratório de Gestão em Saneamento Ambiental (LAGESA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) que busca levantar dados e informações sobre a demanda da indústria por materiais recicláveis no Espírito Santo e os gargalos deste setor produtivo diante da infraestrutura disponível e oferta de materiais, servindo de base para a elaboração de duas dissertações de mestrado na área de Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos.

As informações e os dados repassados por este formulário estarão sob total sigilo, interessando apenas como fonte para elaboração de estudos acadêmicos. A divulgação de nomes de empresas ou responsáveis técnicos, caso ocorra, se dará apenas com a permissão dos mesmos.

Informações Gerais

Dados de Identificação e Contato com a Empresa.

* - Resposta obrigatória

1. Data do Preenchimento do Questionário: *

Exemplo: 15 de dezembro de 2012

2. Razão Social: *

3. CNPJ da Empresa: *

4. Nome do Responsável pelo Preenchimento do Questionário: *

5. Telefone: *

6. Email: *

7. Endereço Completo da Unidade que Recebe Resíduos: *

8. Coordenadas UTM - (Lat,Long)

9. Enquadramento

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Informal
- ☐ MEI - Micro Empreendedor Individual
- ☐ Micro Empresa - Faturamento até 360.000,00/ano
- ☐ Pequena Empresa - Faturamento até R\$ 3.600.000,00
- ☐ Média Empresa - Faturamento até R\$20.000.000,00
- ☐ Grande Empresa - Faturamento acima de R\$ 20.000.000,00

10. Atividade Principal *

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Coleta e Transporte de Resíduos
- ☐ Somente Transporte de Resíduos
- ☐ Coleta, Transporte, Triagem e Comercialização de Resíduos
- ☐ Somente Triagem e Comercialização de Resíduos
- ☐ Armazenamento temporário
- ☐ Transbordo de resíduos
- ☐ Beneficiamento (lavagem e/ou moagem, etc...)
- ☐ Indústria de Reciclagem de Resíduos
- ☐ Aterro Sanitário Controlado
- ☐ Catador Independente

Ir para a pergunta 11.

Processo Produtivo

Questões relacionadas ao Processo de Produção com Resíduos

11. A empresa compra resíduos recicláveis secos externos no seu processo produtivo? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 15.*
- ☐ Não *Ir para a pergunta 12.*

Processo Produtivo

Questões relacionadas ao Processo de Produção

12. Por que a empresa não utiliza resíduos sólidos no seu processo produtivo? *

13. Existe alguma barreira para a compra direta de resíduos sólidos das cooperativas/associações? Justifique a resposta. *

14. Há o interesse de iniciar a utilização de algum resíduo futuramente (próximos 10 anos)? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 121.*
- ☐ Não *Pare de preencher este formulário.*

Ir para a pergunta 121.

Processo Produtivo

Questões relacionadas ao Processo de Produção com Resíduos

15. Quem são os fornecedores dos resíduos recicláveis? *

(É possível escolher mais de uma opção)

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Comércio
- ☐ Indústria
- ☐ Residências
- ☐ Governo - Repartições Públicas
- ☐ Aparistas
- ☐ Ferros Velhos
- ☐ Associação/Cooperativa de Catadores
- ☐ Catadores Individuais
- ☐ Portos & Aeroportos
- ☐ Hospitais & Clínicas
- ☐ Construção Civil
- ☐ Outros

16. Existe alguma barreira para a compra direta de resíduos sólidos das cooperativas/associações? *

Processamento de Papel

17. A empresa desempenha alguma atividade com PAPEL? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim Ir para a pergunta 18.
- ☐ Não Ir para a pergunta 42.

Processamento Atual de Papel

Qual a quantidade de PAPEL por tipologia atualmente processados pela empresa (toneladas/mês)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

18. A.1) Papelão

19. A.2) Papel Branco

20. A.3) Jornal

21. A.4) Tetrapak

22. A.5) Revistas

23. A.6) Papel Misturado

Capacidade Instalada de Processamento de Papel

Qual a quantidade máxima de PAPEL que a empresa atualmente pode processar (toneladas/mês)?
(Pleno funcionamento)

(Preencher somente as subdivisões processadas)

24. A.1) Papelão

25. A.2) Papel Branco

26. A.3) Jornal

27. A.4) Tetrapak

28. A.5) Revistas

29. A.6) Papel Misturado

Preço de Compra de Papel

Qual o preço médio (últimos 3 meses) pago pela empresa por tipologia de PAPEL (R\$/tonelada)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

30. A.1) Papelão

31. A.2) Papel Branco

32. A.3) Jornal

33. A.4) Tetrapak

34. A.5) Revistas

35. A.6) Papel Misturado

Processamento do Papel

Quais as atividades de processamento do Papel?

(É possível marcar mais de uma atividade para cada tipo de resíduo processado)

36. A.1) Papelão

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

37. A.2) Papel Branco

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

38. A.3) Jornal

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

39. A.4) Tetrapak

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

40. A.5) Revistas

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

41. A.6) Papel Misturado

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

Processamento de Plásticos

42. A empresa desempenha alguma atividade com PLÁSTICOS? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 43.*
- ☐ Não *Ir para a pergunta 87.*

Processamento Atual de Plásticos

Qual a quantidade de PLÁSTICOS por tipologia atualmente processados pela empresa (toneladas/mês)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

43. B.1) EPS (Isopor)

44. B.2) PEAD

45. B.3) PEAD Filme Colorido

46. B.4) PEAD Filme Transparente

47. B.5) PEBD Filme Colorido

48. B.6) PEBD Filme Transparente

49. B.7) PET Cristal

50. B.8) PET Colorido

51. B.9) PP

52. B.10) PS

53. B.11) PVC

Capacidade Instalada de Processamento de Plásticos

Qual a quantidade máxima de PLÁSTICOS que a empresa atualmente pode processar (toneladas/mês)? (Pleno funcionamento)

(Preencher somente as subdivisões processadas)

54. B.1) EPS (Isopor)

55. B.2) PEAD

56. B.3) PEAD Filme Colorido

57. B.4) PEAD Filme Transparente

58. B.5) PEBD Filme Colorido

59. B.6) PEBD Filme Transparente

60. B.7) PET Colorido

61. B.8) PET Cristal

62. B.9) PP

63. B.10) PS

Preço de Compra de Plásticos

Qual o preço médio (últimos 3 meses) pago pela empresa por tipologia de PLÁSTICOS (R\$/ton)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

65. B.1) EPS (Isopor)

66. B.2) PEAD

67. B.3) PEAD Filme Colorido

68. B.4) PEAD Filme Transparente

69. B.5) PEBD Filme Colorido

70. B.6) PEBD Filme Transparente

71. B.7) PET Colorido

72. B.8) PET Cristal

73. B.9) PP

74. B.10) PS

75. B.11) PVC

Processamento de Plásticos

Quais as atividades de processamento do PLÁSTICOS?

(É possível marcar mais de uma atividade para cada tipo de resíduo processado)

76. B.1) EPS (Isopor)

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

77. B.2) PEAD

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

78. B.3) PEAD Filme Colorido

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

79. B.4) PEAD Filme Transparente

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

80. B.5) PEBD Filme Colorido

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

81. B.6) PEBD Filme Transparente

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

82. B.7) PET Colorido

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

83. B.8) PET Cristal

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

84. B.9) PP

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

85. B.10) PS

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

86. B.11) PVC

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Picotamento
- ☐ Enfardamento
- ☐ Reciclagem

Processamento de Vidro

87. A empresa desempenha alguma atividade com VIDROS? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim *Ir para a pergunta 88.*
- ☐ Não *Ir para a pergunta 100.*

Processamento Atual de Vidro

Qual a quantidade de VIDRO por tipologia atualmente processados pela empresa (toneladas/mês)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

88. C.1) Garrafas Longneck

89. C.2) Cacos de Vidro Transparente

90. C.3) Cacos de Vidro Colorido

Capacidade Instalada de Processamento de Vidro

Qual a quantidade máxima de VIDRO que a empresa atualmente pode processar (toneladas/mês)?
(Pleno funcionamento)

(Preencher somente as subdivisões processadas)

91. C.1) Garrafas Longneck

92. C.2) Cacos de Vidro Transparente

93. C.3) Cacos de Vidro Colorido

Preço de Compra de Vidro

Qual o preço médio (últimos 3 meses) pago pela empresa por tipologia de VIDROS (R\$/ton)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

94. C.1) Garrafas Longneck

95. C.2) Cacos de Vidro Transparente

96. C.3) Cacos de Vidro Colorido

Processamento de Vidro

Quais as atividades de processamento do VIDRO?

(É possível marcar mais de uma atividade para cada tipo de resíduo processado)

97. C.1) Garrafas Longneck

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Lavagem
- ☐ Reutilização
- ☐ Reciclagem

98. C.2) Cacos de Vidro Coloridos

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Moagem
- ☐ Reciclagem

99. C.3) Cacos de Vidro Transparente

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
☐ Triagem
☐ Moagem
☐ Reciclagem

Processamento de Metais

100. A empresa desempenha alguma atividade com METAIS? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim Ir para a pergunta 101.
☐ Não Ir para a pergunta 121.

Processamento Atual de Metais

Qual a quantidade de METAIS por tipologia atualmente processados pela empresa (toneladas/mês)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

101. D.1) Aço

102. D.2) Ferro

103. D.3) Alumínio

104. D.4) Cobre

105. D.5) Zinco

Capacidade Instalada de Processamento de Metais

Qual a quantidade máxima de METAIS que a empresa atualmente pode processar (toneladas/mês)?
(Pleno funcionamento)

(Preencher somente as subdivisões processadas)

106. D.1) Aço

107. D.2) Ferro

108. D.3) Alumínio

109. D.4) Cobre

110. D.5) Zinco

Preço de Compra de Metais

Qual o preço médio (últimos 3 meses) pago pela empresa por tipologia de METAIS (R\$/ton)?

(Preencher somente as subdivisões processadas)

111. D.1) Aço

112. D.2) Ferro

113. D.3) Alumínio

114. D.4) Cobre

115. D.5) Zinco

Processamento de Metais

Quais as atividades de processamento do METAIS?

(É possível marcar mais de uma atividade para cada tipo de resíduo processado)

116. D.1) Aço

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Reciclagem (Fundição)

117. D.2) Ferro

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Reciclagem (Fundição)

118. D.3) Alumínio

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Reciclagem (Fundição)

119. D.4) Cobre

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Reciclagem (Fundição)

120. D.5) Zinco

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Transporte
- ☐ Triagem
- ☐ Reciclagem (Fundição)

Expansão das Atividades com Papel

121. A empresa tem interesse em expandir suas atividades no mercado de PAPEL? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim Ir para a pergunta 122.
- ☐ Não Ir para a pergunta 128.

Interesse Futuro com Papel

Quais as perspectivas de acréscimo das atividades com PAPEL (próximos 10 anos) (ton/mês)?

122. A.1) Papelão

123. A.2) Papel Branco

124. **A.3) Jornal**

125. **A.4) Tetrapak**

126. **A.5) Revistas**

127. **A.6) Papel Misturado**

Expansão das Atividades com Plásticos

128. **A empresa tem interesse em expandir suas atividades no mercado de PLÁSTICOS? ***

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim *Ir para a pergunta 129.*

☐ Não *Ir para a pergunta 140.*

Interesse Futuro com Plásticos

Quais as perspectivas de acréscimo das atividades com PLÁSTICOS (próximos 10 anos) (ton/mês)?

129. **B.1) EPS (Isopor)**

130. **B.2) PEAD**

131. **B.3) PEAD Filme Colorido**

132. **B.4) PEAD Filme Transparente**

133. **B.5) PEBD Filme Colorido**

134. **B.6) PEBD Filme Transparente**

135. **B.7) PET Cristal**

136. **B.8) PET Colorido**

137. **B.9) PP**

138. **B.10) PS**

139. **B.11) PVC**

Expansão das Atividades com Vidro

140. **A empresa tem interesse em expandir suas atividades no mercado de VIDRO? ***

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim *Ir para a pergunta 141.*

☐ Não *Ir para a pergunta 144.*

Interesse Futuro em Vidro

Quais as perspectivas de acréscimo das atividades com VIDROS (próximos 10 anos) (ton/mês)?

141. C.1) Garrafas Longneck

142. C.2) Cacos de Vidro Coloridos

143. C.3) Cacos de Vidro Transparente

Expansão das Atividades com Metais

144. A empresa tem interesse em expandir suas atividades no mercado de METAIS? *

Marcar apenas uma oval.

☐

Sim Ir para a pergunta 145.

☐

Não Pare de preencher este formulário.

Interesse Futuro em Metais

Quais as perspectivas de acréscimo das atividades com METAIS (próximos 10 anos) (ton/mês)?

145. D.1) Aço

146. D.2) Ferro

147. D.3) Alumínio

148. D.4) Cobre

149. D.5) Zinco

Powered by
 Google Forms

Apêndice III – Coordenadas dos nós do modelo matemático para SLR

As coordenadas são indicadas no Sistema Universal Transverso de Mercator (UTM) /24S, Datum WGS 84.

III.A Localização dos Pontos de Geração (PG) – Sedes municipais

Pt	MUNICIPIO	Cood. X	Coord. Y	LOGRADOURO	BAIRRO
1	Afonso Cláudio	278009	7778380	Avenida Quintino Bacaiuva	Centro
2	Água Doce do Norte	291300	7948121	Rua Sebastião Coelho de Souza	Centro
3	Águia Branca	316778	7899978	Rua Vicente Pissinati	Centro
4	Alegre	236415	7701956	Parque Getúlio Vargas	Centro
5	Alfredo Chaves	317636	7717290	Praça Colombo Guardia	Centro
6	Alto Rio Novo	287687	7891498	Rua Paulo Martins	Centro
7	Anchieta	329938	7697776	Rodovia do Sol	Vila Resid. Anchieta
8	Apiacá	233636	7658434	Praça Nossa Senhora de Santana	Centro
9	Aracruz	367547	7807389	Avenida Morobá	Morobá
10	Atílio Vivacqua	272217	7685553	Praça José Valentim Lopes	Centro
11	Baixo Guandú	288783	7840900	Rodovia ES-446	Centro
12	Barra de São Francisco	300628	7925014	Rua Desembargador Danton Basto	Centro
13	Boa Esperança	362960	7949590	Avenida Governador Lacerda de Aguiar	Centro
14	Bom Jesus do Norte	222001	7660954	Praça Astolfo Lobo	Centro
15	Brejetuba	260467	7770368	Rua Ademir da Mota Couto	Centro
16	Cachoeiro de Itapemirim	280143	7693154	Praça Jerônimo Monteiro	Centro
17	Cariacica	356187	7750967	Rodovia BR-262	Alto Lage
18	Castelo	270367	7720074	Avenida Nossa Senhora da Penha	Centro
19	Colatina	328516	7838830	Avenida Ângelo Giubert	Esplanada
20	Conceição da Barra	422867	7943880	Praça Prefeito José© Luiz da Costa	Centro
21	Conceição do Castelo	265669	7747365	Avenida José© Grilo	Centro
22	Divino de São Lourenço	220125	7717544	Praça 10 de Agosto	Centro
23	Domingos Martins	326865	7747614	Rua Bernadino Monteiro	Centro
24	Dores do Rio Preto	203164	7709469	Rua Pedro Alcântara Galveas	Centro
25	Ecoporanga	306382	7967569	Rua Suelon Dias Mendonça	Centro
26	Fundão	332950	7794856	Rua São João	Centro
27	Governador Lindenberg	346174	7870845	Rua Adelino Lubiana	Centro
28	Guaçuí	221235	7700695	Praça João Acacinho	Centro
29	Guarapari	345656	7716955	Rua Alencar Moraes Resende	J. Boa Vista
30	Ibatiba	237733	7760542	Rua Salomão Fadlalah	Centro
31	Ibiraçu	356641	7806679	Avenida Conde D'Eu	Centro
32	Ibitirama	222031	7726674	Rua Edgard Santana Alves	Centro
33	Iconha	311174	7700371	Praça Darcy Machiori	Jardim Jandira
34	Irupi	224198	7748073	Rua Jalmas Gomes de Freitas	Centro

35	Itaguaçu	367547	7807389	Rua Vicente Peixoto de Mello	Centro
36	Itapemirim	309390	7675561	Avenida Cristiano Dias Lopes	Centro
37	Itarana	303619	7801588	Rua Elias Colgago	Centro
38	Iúna	235473	7747975	Rua Desembargador Epaminondas do Amaral	Centro
39	Jaguaré	386797	7909290	Avenida Nove de Agosto	Centro
40	Jerônimo Monteiro	251508	7699594	Avenida Lourival Lougon Moulin	Centro
41	João Neiva	354812	7814789	Avenida Presidente Vargas	Centro
42	Laranja da Terra	284604	7798413	Rua Luiz Ober Muller	Centro
43	Linhares	387823	7854790	Avenida Jones dos Santos Neves	Centro
44	Mantenópolis	276391	7913051	Avenida Presidente Vargas	Centro
45	Marataízes	311309	7674277	Avenida Rubens Rangel	Cidade Nova
46	Marechal Floriano	325257	7742243	Rua David Canal	Centro
47	Marilândia	337938	7852987	Avenida Dom Bosco	Centro
48	Mimoso do Sul	254411	7669066	Praça Cel. Joaquim Paiva Gonsalves	Centro
49	Montanha	355698	7995270	Praça Osvaldo Lopes	Centro
50	Mucurici	339456	7998741	Praça São Sebastião	Centro
51	Muniz Freire	248291	7735310	Rua Pedro Deps	Centro
52	Muqui	255996	7681374	Rua Satiro França	Centro
53	Nova Venécia	352379	7930698	Rua Alegre	Centro
54	Pancas	305593	7873375	Avenida 13 de Maio	Centro
55	Pedro Canário	399056	7975688	Rua São Paulo	Boa Vista
56	Pinheiros	371729	7963914	Avenida Agenor Luiz Heringer	Centro
57	Piúma	320267	7694785	Avenida Isaias Cherry	Centro
58	Ponto Belo	336762	7995582	Rua Espírito Santo	Fundão
59	Presidente Kennedy	287563	7665492	Rua Atílio Vivacqua Vieira	Centro
60	Rio Bananal	360516	7868395	Rua Quatorze de Setembro	São Sebastião
61	Rio Novo do Sul	298500	7691740	Rua Fernando de Abreu	Centro
62	Santa Leopoldina	340659	7776824	Avenida Prefeito Hélio Rocha	Centro
63	Santa Maria de Jetibá	317734	7784096	Rua Dalmácia Espíndola	Centro
64	Santa Teresa	332950	7794856	Rua Darly Nerty Vervloet	Centro
65	São Domingos do Norte	329028	7881357	Avenida Honório Fraga	Centro
66	São Gabriel da Palha	338696	7896213	Praça Vicente Glazar	Centro
67	São José do Calçado	224185	7672727	Praça Pedro Vieira	Centro
68	São Mateus	409813	7930514	Avenida Jones Santos Neves	Centro
69	São Roque do Canaã	326132	7816665	Rua Lourenço Rold	São Roquinho
70	Serra	363611	7774226	Praça Doutor Pedro Feu Rosa	Centro
71	Sooretama	384743	7877771	Rua Vitório Bobbio	Centro
72	Vargem Alta	290334	7712496	Rua Paulino Francisco Moreira	Centro
73	Venda Nova do Imigrante	277445	7750580	Avenida Evandi Américo Comarela	Esplanada
74	Viana	343997	7744719	Avenida Florentino Ávidos	Centro
75	Vila Pavão	330604	7940413	Rua Travessa Pavão	Centro
76	Vila Valério	353635	7898445	Rua Lourenço de Martins	Centro
77	Vila Velha	364429	7748182	Avenida Santa Leopoldina	Coqueiral de Itaparica
78	Vitória	363214	7752813	Avenida Marechal Mascarenhas de Moraes	Bento Ferreira

III.B Localização das locais candidatos à Centrais de Triagem (CT)

Pt	SIGLA	Nome	Cood. X	Coord. Y	Endereço
1	AFONSO CLÁUDIO RECICLA	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Afonso Cláudio	277480	7777903	Est, Floresta - S/N - Floresta - Afonso Cláudio - ES - CEP: 29,600-000
2	ASCOMA	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Aelegre/ES	235848	7702046	Rua Faz Bela Vista, S/N , Alegre - ES - CEP: 29500-000
3	SHALOM	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Alto Rio do Novo/ES	287303	7891557	CRG Santa Rosa - S/N - Alto Rio Novo - ES - CEP: 29,790-000
4	RECICLE ARACUZ	Cooperativa de Trabalho dos Catadores de Materiais Recicláveis de Aracruz	367603	7824727	Rua 8 SN, Gabriel Pandolfi Vila Guarana, Aracruz
5	ASCAMARE	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis Cidadão Amigo do Meio Ambiente	289858	7841022	R, Alvaro Nunes Ferreira - 470 - Santa Monica - Baixo Guandu - ES - CEP: 29,730-000
6	ASCOMTUB A	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Brejetuba/ES	260606	7768974	Rua Brejaubinha, Nº 01 , Brejaubinha, Brejetuba - ES - CEP: 29630,000
7	ASCOMIRI M	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Cachoeiro de Itapemirim/ES	289749	7690901	Rod, Governador Lacerda de Aguiar - S/N - KM 15 - Coronel Borges - Cachoeiro do Itapemirim - ES - CEP: 29,306-095
8	ACAMARP	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Nova Roda da Penha II – Cariacica - ES	356261	7759680	Rua Gaspar, s/n, Nova Rosa da Penha II, CEP 29,157-320, Cariacica
9	FLEXVIDA	Associação de Catadores de Material Reciclável da Região de Flexal e Nova Canaã	355362	7756475	Rua Silvano Ferreira Santos, 11 - Porto Novo, Cariacica - ES
10	RECICLAN DO VIDA	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Castelo/ES	269881	7716567	Rod, ES 166 - S/N - KM 33 Departamento - Zona Rural - Castelo - ES - CEP: 29,360-000
11	ASCCOR	Associação de Catadores Colatinense de Materiais Recicláveis	323492	7839478	Av, Fioravante Rossi - n, 4854 - Honório Fraga - Colatina - ES - CEP: 29,704-426
12	ASCOMCEB	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Conceição da Barra/ES	420603	7946897	R das Almesqueiras - S/N - Sede - Novo Horizonte - Conceição da Barra - ES - CEP: 29,960-000
13	ASCONCA	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Conceição do Castelo/ES	265287	7747054	Rod, ES 165 KM 01 - Centro - Conceição do Castelo - ES - CEP 29,370-000
14	ASCOMDEP	Associação dos catadores de Materiais Recicláveis do Município de Dolores do Rio Preto/ES	203192	7709562	Rua Miguel Moreira da Silva - S/N - Centro - Dolores do Rio Preto - ES - CEP: 29,580-000
15	ASCAMARE	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Ecoporanga	318638	7977419	Rod, ES 320 - S/N - Galpão - Estrada Ecoporanga a Imburana Km 02 - Ecoporanga - ES - CEP: 29,850-000
16	ASGUAMA R	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município	221611	7701294	Rua Projetada - S/N - Horto Florestal - Guaçu - ES - CEP:

		de Guaçuí/ES			29,560-000
17	ASSCAMAR G	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Guarapari	347778	7720120	Rua Ruy Cortes, 01 - Bairro Ilhas Verdes, Guarapari/ES - em frente ao Posto de Perocão
18	COTRAG	Cooperativa de Trabalho de Reciclagem, Limpeza e Conservação de Guarapari	343794	7713416	Rua Zuleima Fortes Farias, 133, Bairro: Centro, Guarapari
19	COOPERLIX O	Cooperativa de Catadores de Lixo de Ibatiba	238038	7760497	CRG BARRO BRANCO, SN, ZONA RURAL , Bairro TROCATE ,Cidade Ibatiba
20	ASCOMCU	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Ibirapu/ES	356644	7806677	Rua Conde D'eu , Nº 344, Centro, - Ibirapu - ES - CEP: 29670-000
21	ASCAMI	Associação Dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Ibitirama/ES	222488	7726561	Est Ibitirama, S/N, Santa Marta, Ibitirama, ES, CEP 29540-000, Brasil
22	AMARI	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Iconha/ES	311421	7699836	Sit Travisani - S/N - Santa Luzia - Iconha - ES - CEP: 29,280-000
23	ASCOMPI	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Irupi/ES	224137	7747800	Rua 05, S/Nº, Bairro Alexandre Costa Peçanha, Irupi/ES, CEP.: 29290-000
24	ACMRI	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itaguaçu	305620	7809246	Rua Luiz Binda - S/N - Lirio do Campo - Itaguaçu - CEP: 29,690-000
25	ASCAMARI	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itapemirim	315173	7689019	Rua Emilio Rohr, 231, Itapemirim, Praia de Itaoca
26	ACI	Associação de Catadores de Itarana	303750	7801827	Rod, Itarana Itaguaçu - S/N - KM 01 - Bairro Itaraninha - Itarana - ES - CEP: 29,620- 000
27	ASCOMRI	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Iúna/ES	235536	7747629	Rua Espírito Santo, 161, Centro, Iúna - ES - CEP: 29,390-000
28	ACAMARES	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Estado do Espírito Santo	386657	7909063	R Vovo Franca - 102 - Novo Horizonte - Jaguaré - ES - CEP: 29,950-000
29	RECICLA- JEM	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Jerônimo Monteiro	251198	7699267	CRG 5ª turma, s/n, Bairro Santa Clara, Jerônimo Monteiro, CEP 29550-000
30	ARMAJON	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de João Neiva/ES	354995	7814855	Rua Cristal Viveiro, S/N , Centro, João Neiva - ES - CEP: 29680-000
31	CRIAR	Centro de Reciclagem, Inovação, Aprendizagem e Renovação (Linhares)	388841	7853878	Avenida Filogônio Peixoto, Linhares
32	ACAMARE M	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Mantenópolis	276440	7913072	Rua São José , S/N , Centro, Mantenópolis - ES - CEP: 29770-000
33	-	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Marilândia/ES	335556	7852796	Corrego do Prata - Zona Rural - Marilândia - ES
34	ASMUC	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Mucurici-ASMUC	347033	7947700	Rod, ES 137 - S/N - Centro - Mucurici - ES - CEP: 29,880- 000
35	ACAGERR	Associação de Catadores e Gerenciamento de Resíduos Recicláveis	248492	7735862	Av, Helia de Assis Martins - S/N - Centro - Muniz Freire - ES - CEP: 29,380-000

36	ASCAMARE M	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Muqui/ES	256525	7681908	Rua Honorio Fraga - S/N - Centro - Muqui - ES - CEP: 29,480-000
37	ACAMARER	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Nova Venécia	350551	7933060	Rua Q, 20 - Aeroporto - Nova Venécia - ES - CEP 29,830-000
38	ASEMAP	Associação de Empreendedores de Ambientais de Pancas	305676	7873313	Rod, Pancas - S/N - Bairro Franchiane Viveiro KM 01 - Pancas - ES - CEP: 29,750-000
39	ASCARENO VO	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Rio Novo do Sul	298438	7691531	Rua Jadir Costa Peçanha, 1 - São José Rio Novo do Sul - ES -
40	ACAD	Associação de Catadores de Materiais Reciclados Dominguense	329019	7881752	Córrego Serra da Mula, 0 - Zona Rural São Domingos do Norte - ES - 29754-000
41	ASCAT	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de São Gabriel da Palha	338763	7896136	CRG São Gabriel - S/N - Zona Rural - São Gabriel da Palha - ES - CEP: 29,780-000
42	ACALC	Associação Calçadense de Catadores de Mat, Recicláveis do Município de São José do Calçado/ES	224269	7671516	R João Marcelino de Freitas - S/N - Centro - São José do Calçado - ES - CEP: 29,470-000
43	RECICLAR	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de São Mateus	409764	7930042	Av, Meteoro - S/N - Vitória - São Mateus - ES - CEP: 29,942-240
44	-	Grupo Pró-Reciclagem do Lixo de São Mateus	410246	7929134	Rua Almir Queiroz, s/n, Jackeline, São Mateus
45	AMARVILA	Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Vila Nova Nova de Colares / ES	373865	7767589	Rua Floriano Peixoto, S/N, Bairro Vila Nova de Colares, Distrito de Carapina , Serra-ES - CEP: 29172-836
46	RECUPERLI XO	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis do Município de Serra	366943	7764747	Rua Assembléia de Deus, 41 – Jardim Tropical – Serra - ES
47	ASCOMSOO R	Associação Calçadense de Catadores de Mat, Recicláveis do Município de Sooretama/ES	384372	7875651	Rua Projetada, S/N - Corrego Alegre - ES - CEP: 29,927-000 Sooretama
48	ASCAVENI	Associação de Catadores de Material Reciclável de Venda Nova do Imigrante ES	272992	7746424	Rod, ES 473 - KM 4,5 - S/N - Vicosinha - Venda Nova do Imigrante - ES - CEP: 29,375-000
49	ASCAMAVI	Associação de Catadores de Material Reciclável de Viana/ES	350010	7746334	Rua Santa Helena, 49 - Vila Betânia Viana - ES - 29136-013
50	ASCOMVIP	Associação de Catadores de Material Reciclável de Vila Pavão/ ES	330516	7940561	Sítio Valdiris, s/nº, Área Rural, no Município de Vila Pavão/ES, CEP, :29,843-000
51	ASCAVILA	Associação dos catadores e cataoras de Vila Velha	365182	7749540	Rua Alfredo Santana, nº 3, Morada da Barra, Vila Velha
52	REVIVE	Associação Vila Velhense de Coletores e Coletores de Materiais Recicláveis	364023	7750276	Rua 3, s/n/, Polo Industrial, Novo México, Cep 29104-374, Vila Velha
53	AMARIV	Associação de Catadores de Materiais Reciclados da Ilha de Vitória	363689	7755498	Rua Dr. Arlindo Sodré, 686 – Itararé, Vitória - ES - 29047-500
54	ASCAMARE	Associação dos Catadores de Materiais Recicláveis de Vitória,	364378	7758136	Rua Pedro Depiante, 75 – Goiabeiras, Vitória

III.C Localização das locais candidatos à Centrais de Valorização (CV)

Pt	Cood. X	Coord. Y	Atividade Licenciada	Localização	Município
1	288648	7890528	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 164 - Km 01 - Barra da Floresta	Alto Rio Novo
2	326597	7869104	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 080 - Km 170 - Córrego Santo Inácio E Miracema	Colatina
3	305105	7801508	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 261 - Km 01 - Zona Rural	Itarana
4	283542	7791316	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 460 - S/Nº - Distrito de São Luiz de Miranda	Laranja da Terra
5	337609	7892046	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 137 - S/N - Km 168 - Zona Rural	São Domingos do Norte
6	312750	7937000	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 220 - Km 03 - Zona Rural - Distrito Paulista	Barra de São Francisco
7	364669	7947256	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 130 - Km 93,9 - Zona Rural - Córrego Fundo	Boa Esperança
8	405298	7946468	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia BR 101 - Zona Rural	Conceição da Barra
9	395815	7906718	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 430 - S/Nº - Zona Rural - Distrito Água Limpa	Jaguaré
10	353890	7996623	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 130 - Zona Rural	Montanha
11	403024	7932281	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 381 - Km 6 - Zona Rural	São Mateus
12	316772	7705053	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rod. BR 101, Km 364 - Zona Rural	Anchieta
13	225315	7660775	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rod. ES 297, Km5 - Zona Rural	Bom Jesus do Norte
14	218930	7697010	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rod. ES 482, Km 77 - Sítio Graminha - Zona Rural	Guaçuí
15	306556	7684209	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Fazenda Santa Rita - Zona Rural	Itapemirim
16	251733	7754765	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rod. ES 181 Prox. Ao Km 09 da Rod. Br393 - Zona Rural	Muniz Freire
17	276461	7744154	Estação de Transbordo de Resíduos Sólidos Urbanos (ETRSU).	Rodovia ES 166 Km 07 - Localidade Pindobas - Zona Rural	Venda Nova do Imigrante
18	355085	7737344	Aterro Sanitário	Estrada Ayrton Senna - S/Nº - Km 11 - Jabaeté	Vila Velha
19	369746	7805423	Aterro Sanitário	Rodovia Demócrito Moreira - S/Nº - Zona Rural	Aracruz
20	356003	7760605	Aterro Sanitário	Rodovia BR 101 - Km 282 - Nova Rosa da Penha	Cariacica
21	274477	7699822	Aterro Sanitário	Fazenda São Joaquim - Distrito Industrial de São Joaquim - S/Nº - Morro Grande	Cachoeiro de Itapemirim
22	327687	7843603	Aterro Sanitário	Rodovia do Contorno - BR 259 - Córrego Estrela	Colatina
23	377227	7844078	Aterro Sanitário	Zona Rural - Fazenda Colorado Ii - Estrada de Poção - Rio Quartel	Linhares
24	371939	7931474	Aterro Sanitário	Rodovia ES 381 - Km 81 - Distrito Nestor Gomes	São Mateus

III.D Localização dos Aterros Sanitários (AS)

Pt	Cood. X	Coord. Y	Operador	Endereço	Município
1	355085	7737344	CTRVV - Central de Tratamento de Resíduos de Vila Velha LTDA	Estrada Ayrton Senna - S/Nº - KM 11 - Jabaeté	Vila Velha
2	369746	7805423	Brasil Ambiental Tratamento de Resíduos S/A	Rodovia Demócrito Moreira - S/Nº - Zona Rural	Aracruz
3	356003	7760605	Marca - Construtora e Serviços LTDA	Rodovia BR 101 - KM 282 - Nova Rosa da Penha	Cariacica
4	274477	7699822	CTRCI - Central de Tratamento de Resíduos Cachoeiro de Itapemirim LTDA	Fazenda São Joaquim - Distrito Industrial de São Joaquim - Morro Grande	Cachoeiro de Itapemirim
5	327687	7843603	Serviço Colatinense de Meio Ambiente d Saneamento Ambiental - SANEAR	Rodovia do Contorno - BR 259 - Córrego Estrela	Colatina
6	377227	7844078	Vital Engenharia Ambiental S.A	Zona Rural - Fazenda Colorado II - Rio Quartel	Linhares
7	327473	7844675	CONDOESTE/SEDURB/ ES sem Lixão	Rodovia ES 259 - KM 54 - Córrego Estrela	Colatina
8	371939	7931474	CONORTE/SEDURB/ ES sem Lixão	Rodovia ES 381 - KM 81 - Distrito Nestor Gomes	São Mateus

III.E Localização dos Polos Industriais/ Empresas Recicladoras (ER)

Pt	Cood X	Coord Y	Parque Industrial	Endereço	Município
1	236022	7746491	Parque Industrial Ronaldo Ambrósio	Parque Industrial "Ronaldo Ambrósio", bairro Guanabara	Iúna
2	274264	7699377	Loteamento São Joaquim	Rodovia que liga Cachoeiro de Itapemirim a Muqui, próximo ao aeroporto.	Cachoeiro de Itapemirim
3	319675	7695799	Micropolo Industrial de Piúma	Rod. 375 (Piúma x Iconha) Km 01 (Próximo a Sub.Estação da Escelsa).	Piúma
4	363212	7748725	Micropolo Industrial de Vila Velha – MIVV	Micropolo Industrial de Vila Velha, Santa Inês - Vila Velha/ES	Vila Velha
5	266776	7749668	Área Industrial de Jatobá	Rodovia ES-472, Jatobá, zona rural.	Conceição do Castelo
6	273761	7744129	Polo de Vargem Grande	Vargem Grande, Zona Rural, Venda Nova do Imigrante/ES.	Venda Nova do Imigrante
7	389902	7814698	Polo Industrial/Empresarial Guilherme Devens	Rodovia Primo Bitti - Aracruz/ES	Aracruz
8	354769	7814711	Polo de João Neiva	Av. Hélio Guasti, João Neiva/ES.	João Neiva
9	343926	7839119	Polo Industrial Maria Ortiz	BR 259 km 35 - Polo Industrial Maria Ortiz, Baunilha - Colatina/ES.	Colatina
10	289635	7839992	Polo Empresarial de Baixo Guandu	Entrocamento do Km 114 da BR-259 com a BR-446, Val Paraíso - Baixo Guandu/ES -	Baixo Guandú
11	380379	7842035	Área 8 - Polo Industrial	BR 101, km 142, Prefeito Samuel Batista Cruz, Canivete, Linhares/ES.	Linhares
12	347732	7926864	Polo Industrial Darcílio Duarte Santos	Rodovia ES-137, Bairro São Cristóvão - Nova Venécia/ES	Nova Venécia
13	361137	7949398	Polo de Boa Esperança	Rodovia ES-315, km 01.	Boa Esperança
14	362015	7765302	Polo Industrial Piracema	BR 101, Km 275, Rodovia do Contorno, Carapina.	Serra

Apêndice IV – Planilhas de composição de custos dos Centros de Triagem (CT) e Centrais de Valorização (CV).

IV.A Custo de instalação dos Centros de Triagem (CT)

Faixa de Capacidade			Faixa 1		Faixa 2		Faixa 3		Faixa 4	
População estimada (hab.)			30.000		100.000		250.000		500.000	
Material reciclado (t/dia)			1,94		6,48		16,20		32,39	
Capacidade (t/mês)			50,53		168,43		421,08		842,16	
Itens	Unidade	Valor unitário (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)
Prédio administrativo e galpão industrial, com escritório, vestiário e sanitários (m²)	m²	695,72	1.000	695.720,00	1.500	1.043.580,00	2.500	1.739.300,00	4.000	2.782.880,00
Mesa de catação em madeira, L= 1,0; C=21,00 e H =0,90m(30000)	un.	6.470,94	1	6.470,94	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Esteira de catação eletromecânica com L=42', C =21,00 e h=0,90m	un.	38.825,62	0	0,00	1	38.825,62	3	116.476,87	5	194.128,11
Balança eletrônica digital industrial - Capacidade: 1t	un.	2.200,12	2	4.400,24	2	4.400,24	4	8.800,47	4	8.800,47
Empilhadeira com garra para fardos - 23,5 HP de potência, 318 kg de capacidade de operação.	un.	51.767,50	1	51.767,50	1	51.767,50	2	103.534,99	4	207.069,99
Prensa Hidráulica vertical para enfardamento de recicláveis (20t)	un.	19.542,23	1	19.542,23	3	58.626,69	5	97.711,15	8	156.337,84
Carrinho plataforma, capacidade 300kg	un.	517,67	1	517,67	3	1.553,02	6	3.106,05	10	5.176,75
Carrinho manual para transportes, capacidade 300Kg	un.	252,37	1	252,37	3	757,10	6	1.514,20	6	1.514,20
Mini pá carregadeira tipo Bob-Cat	un.	103.534,99	0	0,00	1	103.534,99	1	103.534,99	2	207.069,99
Contêiner plástico de 240 litros, para movimentação de materiais	un.	342,96	40	13.718,39	40	13.718,39	120	41.155,16	120	41.155,16
Equipamentos para proteção e prevenção de incêndio	Vb.	3.688,43	1	3.688,43	1	3.688,43	1	3.688,43	1	3.688,43
Móveis e utensílios para escritório	Vb.	7.506,29	1	7.506,29	2	11.259,43	2	15.012,57	3	22.518,86
Total equipamento	R\$			107.864,05		288.131,42		494.534,90		847.459,81
Custo Total	R\$			803.584,05		1.331.711,42		2.233.834,90		3.630.339,81
Custo Unitário	R\$/t.mês			66,26		32,94		22,10		17,96
Custo mensal	R\$/mês			3.348,27		5.548,80		9.307,65		15.126,42

IV.B Custo de operação dos Centros de Triagem (CT)

Faixa de Capacidade			Faixa 1		Faixa 2		Faixa 3		Faixa 4	
População estimada (hab.)			30.000		100.000		250.000		500.000	
Material reciclado (t/dia)			1,94		6,48		16,20		32,39	
Área do Galpão (m2)			1.000,00		1.500,00		25.000,00		1.000,00	
Descrição do item	Unidade	Valor Unit. (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)
Salários e encargos – Capacidade de triagem proposta de 200Kg/catador.dia	Catador	1.173,33	10	11.733,33	33	38.720,00	81	95.040,00	162	190.080,00
Equipamentos de proteção individual - Protetor auricular, máscara protetora, óculos de segurança, botina, luvas de raspa de couro e capacete de segurança (kit/funcionário) (2 x ao ano)	Vb.	138,52	20	2.770,40	66	9.142,32	162	22.440,24	324	44.880,48
Manutenção do prédio - 25% do valor ao longo da vida útil, 20 anos de vida útil (unidade)	Vb.	0,25* valor da construção /(20*12)	1	724,71	1	1.087,06	1	1.811,77	1	2.898,83
Manutenção dos equipamentos - 85% do valor ao longo da vida útil, 10 anos de vida útil (unidade)	Vb.	0,85*valor dos equipamentos /(10*12)	1	764,04	1	2.040,93	1	3.502,96	1	6.002,84
Água e esgoto - 0,07m³ de água/dia/pessoa e 0,01m³/m² por dia para limpeza do local (26 dias/mês)	m3	13,95	29	398,97	90	1.251,32	276	3.844,62	424	5.912,01
Energia elétrica - Eletrodomésticos de cozinha, computador com impressora, lâmpadas e equipamentos de beneficiamento.	Vb.	2.000,00	1	2.000,00	2	3.000,00	3	6.000,00	1	2.000,00
Telefonia e Internet - Assinatura mensal	Vb.	300,00	1	300,00	2	450,00	2	600,00	1	300,00
Material de copa e limpeza	Vb.	200,00	1	200,00	2	300,00	2	400,00	1	200,00
Custo Total/mês	R\$/mês			18.891,45		55.991,63		133.639,59		252.274,16
Custo Unitário	R\$/t.dia			373,87		332,43		317,37		299,56

IV.C Custo de instalação das Centrais de Valorização (CV)

Faixa de Capacidade			Faixa 1		Faixa 2		Faixa 3		Faixa 4	
Capacidade - Material reciclado (t/dia)			10,00		20,00		50,00		100,00	
Capacidade - Material reciclado (t/mês)			260,00		520,00		1.300,00		2.600,00	
Descrição do item	Unidade	Valor Unit. (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)
Inicial										
Registro empresarial (unidade)	Vb.	1.000,00	1	1.000,00	1	1.000,00	1	1.000,00	1	1.000,00
Licença ambiental e consultoria (unidade)	Vb.	15.755,77	1	15.755,77	1	15.755,77	1	15.755,77	1	15.755,77
Elaboração de projeto (unidade)	Vb.	5.000,00	1	5.000,00	1	5.000,00	1	5.000,00	1	5.000,00
Construção civil e infraestrutura										
Prédio administrativo e galpão industrial, com escritório, vestiário e sanitários (m²)	m2	695,72	500	347.860,00	1000	695.720,00	1500	1.043.580,00	2500	1.739.300,00
Equipamentos										
Carrinho para mover fardos - tipo tubular aberto. Marca Kubitz (unidade)	Un.	178,00	2	356,00	4	712,00	6	1.068,00	10	1.780,00
Balança eletrônica digital industrial - Marca Líder - Capacidade: 2t (unidade)	Un.	3.885,00	1	3.885,00	1	3.885,00	2	7.770,00	2	7.770,00
Empilhadeira com garra para fardos - 23,5 HP de potência, 318 kg de capacidade de operação (unidade)	Un.	60.000,00	2	120.000,00	3	180.000,00	4	240.000,00	8	480.000,00
Palets (unidade)	Un.	15,00	30	450,00	50	750,00	80	1.200,00	160	2.400,00
Balança rodoviária para Carreta e Bitrem capacidade de 60t a 100t	Un.	60.000,00	1	60.000,00	1	60.000,00	1	60.000,00	1	60.000,00
Extintor de pó químico ABC 12 kg (unidade)	Un.	247,32	5	1.236,60	10	2.473,20	15	3.709,80	30	7.419,60
Móveis e utensílios (utensílios para escritório, mesas, cadeiras, armários, computador, impressora, telefone)	Vb.	5.000,00	1	5.000,00	1,5	7.500,00	2	10.000,00	3	15.000,00
Total equipamento	R\$			190.927,60		255.320,20		323.747,80		574.369,60
Custo Total	R\$			560.543,37		972.795,97		1.389.083,57		2.335.425,37
Custo Unitário	R\$/t.dia			107,80		93,54		53,43		44,91
Custo mensal	RS/mês			2.335,60		4.053,32		5.787,85		9.730,94

IV.D Custo de operação das Centrais de Valorização (CV)

Faixa de Capacidade			Faixa 1		Faixa 2		Faixa 3		Faixa 4	
Capacidade - Material reciclado (t/dia)			10,00		20,00		50,00		100,00	
Capacidade - Material reciclado (t/mês)			260,00		520,00		1.300,00		2.600,00	
Descrição do item	Unidade	Valor Unit. (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total (R\$)	Quant.	Valor Total(R\$)	Quant.	Valor Total(R\$)
Salários e encargos – 10, 15 e 20 serventes de reciclagem (unidade)	Catador	1.173,33	5	5.866,67	9	10.560,00	21	24.640,00	41	48.106,67
Equipamentos de proteção individual - Protetor auricular, máscara protetora, óculos de segurança, botina, luvas de raspa de couro e capacete de segurança (kit/funcionário) (2 x ao ano)	Vb.	138,52	10	1.385,20	18	2.493,36	42	5.817,84	82	11.358,64
Manutenção do prédio - 25% do valor ao longo da vida útil, 20 anos de vida útil (unidade)	Un.	0,25* valor da construção /(20*12)	1	362,35	1	724,71	1	1.087,06	1	1.811,77
Manutenção dos equipamentos - 85% do valor ao longo da vida útil, 10 anos de vida útil (unidade)		0,85 * valor dos equipamentos /(10*12)	1	1.352,40	1	1.808,52	1	2.293,21	1	4.068,45
Água e esgoto - 0,10m³ de água/dia/pessoa e 0,05m³ a 0,90m³ por dia para limpeza do local (0,10m³/26 dias por mês)	m3	13,95	13	181,35	23	326,43	55	761,67	107	1.487,07
Energia elétrica - Eletrodomésticos de cozinha, computador com impressora, lâmpadas e equipamentos de beneficiamento.	Vb.	2.000,00	1	2.000,00	1,5	3.000,00	2	4.000,00	3	6.000,00
Telefonia e Internet - Assinatura mensal	Vb.	300,00	1	300,00	1,5	450,00	2	600,00	3	900,00
Material de copa e limpeza	Vb.	200,00	1	200,00	1,5	300,00	2	400,00	3	600,00
Custo Total/mês	R\$/Mês			11.647,97		19.663,02		39.599,79		74.332,60
Custo Unitário	R\$/t.dia			44,80		37,81		30,46		28,59