

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO DE
RENDIMENTOS DE CATADORES DE
MATERIAIS RECICLÁVEIS COM USO DA
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Rafael Costa Ferreira

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Produção como parte dos requisitos
para obtenção do título de *Mestre em Engenharia de*
Produção

Linha de Pesquisa:
Modelagem e Otimização

Orientador: Prof. Dr. Renato da Silva Lima

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano Leal

Itajubá, Dezembro de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE
PRODUÇÃO

ESTRATÉGIAS PARA O AUMENTO DE
RENDIMENTOS DE CATADORES DE
MATERIAIS RECICLÁVEIS COM USO DA
SIMULAÇÃO A EVENTOS DISCRETOS

Rafael Costa Ferreira

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Renato da Silva Lima (Orientador)

Prof. Dr. Fabiano Leal (Co-orientador)

Prof. Dr. Alexandre Ferreira de Pinho

Prof. Dr. Marcelo Machado Fernandes

Itajubá, Dezembro 2017

“Dedico este trabalho a minha família, aos meus pais, irmãos e amigos pela grande torcida e incentivo para terminar a dissertação. Aos amigos Bruno, Paula e Eduardo os quais tive o prazer de conhecer em Itajubá”.

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial ao meu orientador Doutor Prof. Renato Lima, por quem tenho grande respeito e admiração, por ter a paciência, empenho e a dedicação de me ajudar a terminar este trabalho. Ao meu co-orientador, Prof. Fabiano Leal, pelo auxílio e grande ajuda nas correções.

Ao Instituto de Engenharia de Produção e Gestão da UNIFEI, bem como aos colegas do Instituto com os quais tive a oportunidade de trocar experiências e contar com seus auxílios, em especial os alunos Harlenn, Ana Paula, Marcella, Roberta, Andriani, Liliane e Raquel. Ao funcionário Ivan Carvalho (INTECOOP/UNIFEI - Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares) e a ACIMAR (Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis).

E por fim, gostaria de agradecer às agências de fomento CAPES, FAPEMIG e CNPq que permitiram a participação em congressos, subsidiaram projetos de pesquisa associados à este trabalho e concederam uma bolsa de estudo. E por fim, aos membros da banca examinadora pelas contribuições.

RESUMO

A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 promulgada em 2010, previa uma série de diretrizes e metas que corroboravam para que até 2014 todos os lixões a céu aberto no Brasil fossem extintos. Para tal, era destacada nesta lei a importância da implantação de programas de Logística Reversa (LR) com a inserção de associações de catadores de materiais recicláveis. No entanto, grande parte dessas associações apresentam problemas financeiros, muitos destes pelo fato de venderem os materiais recicláveis para intermediários em vez de diretamente às indústrias recicladoras, diminuindo assim o rendimento dos associados e a continuação destes projetos. Além disso, a maioria das associações de catadores apresentam baixa eficiência e baixa produtividade, o que faz com que grande volume de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) não sejam reaproveitados na cadeia produtiva e, desta forma, tendo sua disposição final em lixões. Por estas razões, o objeto de estudo dessa pesquisa é uma associação de catadores de materiais recicláveis, ACIMAR, e o objetivo deste trabalho é a utilização da Simulação a Eventos Discretos (SED) para propor e elaborar estratégias que possam aumentar a renda mensal dos catadores, com a análise da venda direta às indústrias recicladoras próximas. A vantagem da utilização da SED é que esta permite observar o comportamento de um modelo ao se fazer alterações nos parâmetros de suas variáveis sem a necessidade de uma interferência no sistema real. O projeto teve a participação da Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares (INTECOOP) e dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Logística, LOGtrans. Uma análise de cenários foi feita aumentando a taxa de coleta de RSU em 20%, 40% e 60%, e foram discutidos os impactos da utilização dos galpões cobertos da ACIMAR no armazenamento exclusivo de fardos de papel, papelão e embalagens longa vida. Houve a comparação entre a venda dos materiais recicláveis para recicladoras em detrimento da venda destes materiais para atravessadores. Também foram analisados cenários que avaliavam a possibilidade da ACIMAR operar de forma autônoma, sem nenhum vínculo com a prefeitura, e, por fim, também foram discutidas as vantagens da coleta seletiva de cidades do Sul de Minas Gerais integrantes de um consórcio intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU). Percebeu-se que a associação pode aumentar seus ganhos com a ampliação da sua área coberta, adicionando ganhos mensais de R\$729,00 para cada catador. Conclui-se também que a possibilidade da associação manter-se sem ajuda da prefeitura diminui os ganhos dos catadores para níveis abaixo aos de um salário mínimo. Por fim, calculou-se que a reciclagem feita pela coleta seletiva da ACIMAR em um ano permitiu que mais de R\$504.000,00 fossem economizados e que, mais de 700 toneladas de materiais recicláveis não fossem mais destinadas ao lixão de Itajubá.

Palavras-chave: Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos (GRSU); Logística Reversa; Catadores de Materiais Recicláveis; Simulação a Eventos Discretos (SED).

ABSTRACT

The Brazilian Solid Waste Policy (PNRS), Law No.12.305, promulgated in 2010, provided a series of guidelines and goals inferring that by 2014 all open dumps in Brazil should have been extinguished. For that purpose, the importance of implementing Reverse Logistics (LR) programs was emphasized with the insertion of associations of waste pickers in those goals. Much of the problems in waste pickers' associations come from the fact that they sell recyclable materials to intermediaries instead of selling them directly to the recycling industries, reducing therefore their profits and their projects to continue. Moreover, most of waste pickers associations present low efficiency and low productivity in their operations, which means that large volumes of Urban Solid Waste (USW) are not reused in production chains and, in that sense, they end up having their final disposal in open dumps. For those reasons, the study object of this research is a waste picker association (ACIMAR) and the objective of this work is to use Discrete Event Simulation (DES) in order to propose and analyze scenarios that can increase the monthly income and the productivity of ACIMAR, with direct selling to recycling industries. The advantage of using DES is that it allows the observation of a model's behavior whenever making changes in its variables' parameters without the need to interfere in the real system. The project was attended by the Technological Incubator of Popular Cooperatives (INTECOOP) and researchers from the Logistics Research Group, LOGtrans. A scenario analysis was done by increasing the MSW collection rate in 20%, 40% and 60%, and by calculating the impacts of the use of covered sheds exclusively for the storage of paper, cardboard and aseptic carton packages. Scenarios that evaluated the possibility of ACIMAR operating with no aid from the city government were evaluated, and, finally, the advantages of the selective collection of cities in the South of Minas Gerais that joined an inter-municipal consortium of Urban Solid Waste Management (USWM). It was noticed that the association can increase its gains with the expansion of its covered area, adding monthly R\$729 for each waste picker. It was also concluded that the possibility of the association to operate without the help of the city hall reduces the earnings of the collectors to levels below those of minimum wage. Finally, it was calculated that recycling done by ACIMAR in one year allowed more than R\$504,000.00 to be saved and more than 700 tons of recyclable materials were no longer destined to the Itajubá's open dump.

Keywords: Urban Solid Waste Management (USWM); Reverse Logistics; Waste Pickers; Discrete Event Simulation (DES).

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Destinação dos Resíduos Sólidos por tamanho do município em 2008.	19
Figura 2.1: Destinação final dos RSU coletados por dia, em porcentagem	23
Figura 2.2: Distribuição dos municípios com iniciativa de coleta seletiva no país (sim) e sem iniciativas de coleta seletiva (não).....	24
Figura 2.3: Destinação final dos RSU em alguns países.....	24
Figura 2.4: Composição gravimétrica dos RSU de grupo de países com renda baixa, média (inferior e superior) e alta.	25
Figura 2.5: Evolução das taxas de reciclagem de RSU no Brasil, 1999-2008 (em %).	27
Figura 2.6: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.	29
Figura 2.7: Modelos de Gestão dos Resíduos Sólidos.	31
Figura 2.8: Processo Logístico Reverso.	33
Figura 2.9: Logística reversa de pós-consumo e de pós-venda.....	34
Figura 2.10: Modelo relacional entre os fatores.....	35
Figura 2.11: Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem.....	36
Figura 2.12: Pirâmide genérica de arranjos do setor informal de reciclagem.....	37
Figura 2.13: Principais países com artigos sobre Catadores de Materiais Recicláveis.....	39
Figura 2.14: Total de 57 artigos potenciais para a revisão bibliográfica da pesquisa.....	40
Figura 2.15: Evolução do número de catadores no país.....	42
Figura 2.16: Classificação das associações de catadores.	43
Figura 2.17: Rendimento médio do trabalho entre os catadores e microrregiões.....	46
Figura 3.1: Classificação da presente pesquisa quanto às suas características.	56
Figura 3.2: Etapas para um projeto de simulação propostas por Montevechi <i>et al.</i> (2010)....	58
Figura 4.1: Associados da ACIMAR no restabelecimento do convênio com a prefeitura municipal de Itajubá.	60
Figura 4.2: Caminhão de coleta seletiva com capacidade de 8 toneladas.....	61
Figura 4.3: Galpão coberto da ACIMAR de 286 m ² e estocagem de fardos. Ao fundo, o galpão menor de 125m ²	61
Figura 4.4: <i>Layout</i> da ACIMAR e área pretendida para reforma.....	62
Figura 4.5: Modelo Conceitual de um Projeto de Simulação.	63
Figura 4.6: Modelo conceitual desenvolvido utilizando a técnica de modelagem IDEF-SIM.....	68

Figura 4.7: Receita Total obtida com os principais materiais recicláveis que chegam à ACIMAR.	69
Figura 4.8: Cálculo da distribuição de probabilidade do papelão no <i>software</i> StatFit®.	72
Figura 4.9: Teste gravimétrico realizado na ACIMAR em junho de 2016.	75
Figura 4.10: Gravimetria dos RSU coletados coleta comum em Itajubá.	76
Figura 5.1: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com a lógica de roteirização.	79
Figura 5.2: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com as entidades utilizadas na programação.	81
Figura 5.3: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com os locais utilizados na programação.	82
Figura 5.4: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com as variáveis utilizadas na programação.	83
Figura 5.5: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com os lógica de finalização utilizada na programação.	83
Figura 5.6: Número de replicações e resultados simulados no <i>software</i> Promodel® com variável de saída receita total anual.	84
Figura 5.7: Teste de normalidade Anderson-Darling realizado na variável “Receita Total” após 50 replicações do modelo computacional.	85
Figura 5.8: Teste de hipóteses <i>Two sample-t</i> realizado no <i>software</i> Minitab.	86
Figura 5.9: Documentação da lógica do modelo computacional desenvolvido no <i>software</i> Promodel®.	89
Figura 6.1: Resumo dos cenários realizados na presente pesquisa.	91
Figura 6.3: Cálculo da distribuição de probabilidade do papelão com 20% de aumento na taxa de chegada utilizando o <i>software</i> StatFit®.	93
Figura 6.4: Receita proveniente de cada material da ACIMAR em 2016.	96
Figura 6.5: Número de fardos simulados na ACIMAR por tipo de material.	97
Figura 6.6: Produtividade média por tipo de materiais recicláveis e produtividade média da ACIMAR.	97
Figura 6.7: Rendimento médio dos catadores em alguns trabalhos pesquisados.	98
Figura 6.8: Receitas obtidas na simulação de venda de materiais recicláveis anuais para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento na coleta seletiva de RSU em Itajubá, MG.	99
Figura 6.9: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva e, utilização dos galpões menores da ACIMAR para armazenamento.	100

Figura 6.10: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva após reforma da área coberta na ACIMAR.	101
Figura 6.11: Rendimentos mensais dos catadores nos cenários simulados, com vendas para atravessadores.....	102
Figura 6.12: Receitas obtidas com vendas preferencialmente às recicladoras com 20%, 40% e 60% do aumento da coleta seletiva, sem a utilização dos galpões menores para armazenamento de fardos celulósicos.	103
Figura 6.13: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis preferencialmente para recicladoras com 20%, 40% e 60% no aumento da coleta seletiva e, utilização dos galpões menores da ACIMAR para armazenamento de fardos celulósicos.	103
Figura 6.14: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva após reforma na área coberta da ACIMAR..	104
Figura 6.15: Rendimentos mensais dos catadores com vendas preferencialmente para recicladoras.....	105
Figura 6.16: Rendimentos mensais dos catadores com a ACIMAR autônoma e venda preferencialmente às recicladoras.....	107
Figura 6.17: Rendimento médio dos catadores em alguns trabalhos pesquisados e cenários apresentados.....	108
Figura 6.18: Porcentagem de reciclagem feita pela ACIMAR em 2016 no município de Itajubá.	109
Figura 6.19: Cenários simulados com a coleta seletiva de cidades do consórcio CIMASAS, com exceção de Santa Rita do Sapucaí, e, respectivos aumentos de 20 e 40%.	112
Figura 6.20: Rendimentos obtidos com a participação da ACIMAR na coleta seletiva das cidades do consórcio CIMASAS (Cenários 26 a 28) e rendimentos com coleta realizada somente em Itajubá.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1: Divisão de municípios por tamanho e população.....	19
Tabela 1.2: Bases acadêmicas consultadas e termos utilizados.....	20
Tabela 2.1: Embalagens recuperadas após o uso.	29
Tabela 2.2: Número de postos de trabalho por 10 mil toneladas/ano RSU para diferentes setores.	38
Tabela 2.3: Produtividades relativas das associações de catadores de materiais recicláveis. .	44
Tabela 2.4: Principais problemas relacionados com as associações de catadores.	45
Tabela 2.5: Rendimento médio do trabalho dos catadores (R\$).	46
Tabela 2.6: Rendimento médio dos catadores segundo alguns autores.	47
Tabela 4.1: Pesos médios dos fardos de materiais recicláveis na ACIMAR.	70
Tabela 4.2: Taxas de chegadas diária dos materiais na ACIMAR, em quilos/dia.	71
Tabela 4.3: Preços pagos pelos intermediários para os principais materiais recicláveis da ACIMAR (por quilo).	72
Tabela 4.4: Preços pagos pelas recicladoras pelos principais materiais recicláveis da ACIMAR (por quilo).	73
Tabela 5.1: Parâmetros de implementação do modelo computacional no <i>software</i>	80
Tabela 5.2: Número de fardos capazes de serem transportados nos caminhões.	81
Tabela 5.3: Determinação do número de replicações para os cenários comparativos.	85
Tabela 6.1: Materiais recicláveis e distribuições encontradas para os aumentos de 20, 40 e 60% utilizados na montagem dos Cenários 2 a 25.	94
Tabela 6.2: Parâmetros utilizados na composição dos cenários.	95
Tabela 6.3: Receitas totais por tipo de material reciclável.	96
Tabela 6.4: Produtividade média geral das associações.....	98
Tabela 6.5: Aumento das receitas anuais da ACIMAR com a utilização de seus galpões menores para armazenagem de fardos celulósicos, com venda exclusiva para atravessadores.	100
Tabela 6.6: Aumento da receita anual da associação de catadores com a reforma pretendida na ACIMAR.	101
Tabela 6.7: Custo com transporte e combustível anuais para cada um dos cenários da simulação.	104

Tabela 6.8: Comparação entre cenários de vendas para recicladoras e cenários de vendas para atravessadores.	105
Tabela 6.9: Comparação entre cenários da ACIMAR autônoma e cenários onde há o convênio com a prefeitura.	108
Tabela 6.10: Cálculo de porcentagens de reciclagem referentes à ACIMAR em 2016, no município de Itajubá.	110
Tabela 6.11: Dados de taxa de chegada inseridos nos Cenários 26, 27 e 28.	112
Tabela 6.12: Custos com transporte e combustível na coleta seletiva de cidades do Consórcio CIMASAS.	113
Tabela 7.1: Benefícios econômicos e ambientais gerados pela reciclagem feita pela ACIMAR em Itajubá, em 2015.	117
Tabela 7.2: Estimativa dos benefícios obtidos pela ACIMAR com a reciclagem em 2015.	117

LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1: Classificação dos RSU em razão da sua perecibilidade.....	22
Quadro 2.2: Fatores que influenciam a composição gravimétrica dos RSU.	25
Quadro 2.3: Antes e depois da PNRS.	30
Quadro 2.4: Critérios utilizados para inclusão de artigos na revisão bibliográfica	40
Quadro 2.5: Grau de eficiência das associações de catadores e características.	44
Quadro 2.6: Tipos de simulação de acordo com referidos autores.	50
Quadro 4.1: Execução dos passos propostos construção do modelo conceitual.....	65
Quadro 4.2: Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública
ACIMAR	Associação de Catadores Itajubenses de Materiais Recicláveis
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CIMASAS	Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí para Aterro Sanitário
GRSU	Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEF-SIM	<i>Integrated Definition Methods – Simulation</i>
INTECOOP	Incubadora Tecnológica de Cooperativas Populares
LR	Logística Reversa
PNRS	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SED	Simulação a Eventos Discretos
SEMEA	Secretaria Municipal de Meio Ambiente
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 Objetivos	17
1.2 Justificativas	18
1.3 Estrutura da dissertação.....	20
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	22
2.1 Resíduos Sólidos Urbanos.....	22
2.1.1 Características e Geração dos RSU	22
2.1.2 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos	26
2.1.3 Coleta Seletiva dos RSU	28
2.1.4 A Política Nacional de Resíduos Sólidos	30
2.2 Logística Reversa	32
2.2.1 Caracterização da Logística Reversa	32
2.2.2 A Cadeia da Reciclagem	35
2.3 Catadores de Materiais Recicláveis	39
2.3.1 Catadores de materiais recicláveis em artigos científicos	39
2.3.2 Catadores de materiais recicláveis no Brasil	42
2.3.3 Associações de Catadores de Materiais Recicláveis	43
2.3.4 Rendimento dos Catadores de Materiais Recicláveis.....	46
2.4 Modelagem e Simulação	47
2.4.1 Definições e características	47
2.5 Logística Reversa ou Simulação com Inclusão de Catadores	51
2.6 Análise a partir da Fundamentação Teórica.....	53
3. MÉTODO DE PESQUISA	55
3.1 Classificação da Pesquisa.....	55
3.2 Etapas de uma Pesquisa com Modelagem e Simulação.....	56
4. CONCEPÇÃO	60
4.1 Objeto de Estudo	60
4.2 <i>Framework</i> para modelagem conceitual	63
4.2.1 Objetivos da Modelagem e Objetivos Gerais do Projeto	63
4.2.2 Fatores Experimentais, Respostas e Conteúdo	64
4.3 Modelagem utilizando a Técnica IDEF-SIM	65

4.4 Validação do modelo conceitual	69
4.5 Modelagem dos Dados de Entrada.....	69
4.6 Teste de Gravimetria	74
4.7 Consórcio CIMASAS e cidades integrantes.....	76
5. IMPLEMENTAÇÃO	79
5.1 O modelo computacional.....	79
5.2 Parâmetros de entrada ou construção do modelo computacional.....	80
5.3 Verificação e Validação do Modelo Computacional.....	84
5.4 Lógica do Modelo Computacional	86
6. SIMULAÇÕES E ANÁLISES	90
6.1 Cenário Atual	95
6.2 Incremento da taxa de coleta seletiva com venda de materiais para atravessadores.....	99
6.3 Incremento da taxa de coleta seletiva com venda de materiais para recicladoras.....	102
6.4 ACIMAR atuando de maneira autônoma.....	106
6.5 ACIMAR e as cidades integrantes do Consórcio CIMASAS	109
7. CONCLUSÕES	114
7.1 Considerações iniciais	114
7.2 Conclusões obtidas com a pesquisa	114
7.3 Resultados práticos obtidos.....	116
7.3 Sugestões para pesquisas futuras	117
ANEXO.....	119
REFERÊNCIAS	122

1. INTRODUÇÃO

Tanto nos países desenvolvidos como nos países em desenvolvimento, o crescimento da população e bem como o crescimento dos padrões de produção e consumo aumentaram as taxas de produção de resíduos sólidos urbanos (RSU). Em vários países em desenvolvimento, uma proporção significativa de pobres urbanos está envolvida na coleta e reciclagem de resíduos como fonte de renda, sendo eles conhecidos como catadores de materiais recicláveis (COLETTO e BISSCHOP, 2017; SÁNCHEZ e MALDONADO, 2006).

Segundo o relatório publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a produção de RSU no Brasil não para de crescer, bem como também cresce em um ritmo muito mais acelerado do que a próprio ritmo de crescimento da população. Entre 2014 e 2015, dados do último relatório da ABRELPE (2015), a geração aumentou 1,7%, e, neste mesmo período, a população brasileira teve um crescimento de apenas 0,8%, ou seja, menos da metade. Segundo o IBGE (2010b), o Brasil coleta 259.547 toneladas/dia de RSU.

Quando se discute os impactos da geração de RSU nas cidades, a maioria das abordagens leva em conta sobretudo os impactos ambientais, já que estes parecem estar mais diretamente relacionados. Entretanto, a geração de RSU também implica em impactos sociais e econômicos. Em 2010 foi aprovada a Lei nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), lei que predispõe de uma visão holística acerca da geração de RSU e sua correta gestão, considerando nesta lei, além dos impactos ambientais, os impactos econômicos e sociais (BRASIL, 2010). A PNRS dispõe de princípios, objetivos, metas e instrumentos relativos à gestão de resíduos sólidos no país, enfatizando na legislação a importância da utilização da coleta seletiva; de mecanismos de Logística Reversa (LR); de geração de energia a partir dos resíduos; e, por fim, do incentivo à criação de cooperativas/associações de catadores de materiais recicláveis (REBEHY *et al.*, 2017; GHISOLFI *et al.*, 2017)

É preciso destacar que a importância da PNRS no contexto da gestão dos Resíduos Sólidos (GRSU) nas cidades é que essa lei pretende extinguir todos os lixões a céu aberto existentes nos municípios brasileiros. O prazo anteriormente estabelecido para que isso ocorresse era 2014, porém esse prazo não foi cumprido em grande parte devido à baixa adesão de cidades de pequeno porte, cidades estas com no máximo 100 mil habitantes. Um novo prazo

para a extinção dos lixões a céu aberto foi estabelecido pelo Congresso Nacional e varia de acordo com o número de habitantes de cada município. A cidade de Itajubá, objeto de estudo deste trabalho, está inserida na categoria 1 (cidades com até 100 mil habitantes) e, dessa forma, terá o prazo de 31 de julho de 2020 para poder se adequar às exigências da PNRS.

Segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2016), apenas 1055 municípios brasileiros possuem programas de coleta seletiva, ou seja, 18% do total. A taxa se manteve praticamente estável em relação à pesquisa da mesma entidade em 2014, onde se verificou que apenas 17% dos municípios brasileiros possuíam programas de coleta seletiva naquele ano. Além dessa estagnação, de acordo com Paschoalin Filho *et al.* (2014) e Damásio (2010), mesmo nos municípios onde já existem programas de coleta seletiva nota-se que estes ainda são pouco maduros e apresentam baixa eficiência, corroborando para a visão de que os problemas gerados pelos RSU ainda estão longe de serem resolvidos no país.

Segundo Besen *et al.* (2014), entre 40 e 60 mil catadores de materiais recicláveis estão incorporados a mais de 1.100 organizações (cooperativas e associações) em funcionamento em todo o território nacional, número que implicaria em menos de 10% do total de catadores atuando de forma organizada. Um dos grandes problemas que muitos catadores têm que lidar diariamente se dá pelas condições extremamente desfavoráveis e precárias que estes apresentam em termos de garantias legais (trabalhista e/ou assistencial) e sobretudo, garantias financeiras. Conforme o IBGE (2010a), 27% dos municípios com coleta seletiva declararam ter conhecimento das condições precárias de catadores em seus respectivos municípios bem como sabiam que seus rendimentos eram inferiores ao salário mínimo, porém, mesmo assim, nenhuma iniciativa prática foi tomada para incrementar o rendimento dos catadores nestas cidades ou sequer houve atenção para o assunto.

De maneira geral, a reciclagem envolve várias etapas em sua cadeia de produção de valor, tais como: o processo de gerenciamento de resíduos desde o descarte, passando pela coleta, a triagem, o enfardamento, a comercialização do material, a logística de transporte, o beneficiamento pela indústria chegando até o desenvolvimento do mercado para o novo produto (SANTOS *et al.*, 2011). Os materiais são separados de acordo com suas características e ao serem reciclados, voltam a ser utilizados como matéria-prima nas indústrias recicladoras. Uma das principais características do trabalho dos catadores, segundo Pereira e Teixeira (2011), é que estes trabalham como se fossem operários terceirizados da indústria da reciclagem, já que uma vez atuando precariamente, não englobariam os grandes lucros desta prática. Além disso, o trabalho dos catadores muitas vezes ainda conta com a ação de intermediários comerciais,

conhecidos popularmente como “atravessadores”, que sendo mais organizados e tendo maior poder de barganha, determinam os preços, o volume e as condições dos materiais que são adquiridos pelo mercado das indústrias de reciclagem em geral. Uma grande ajuda à estas associações deveria partir da população, do poder público, das universidades ou de instituições financeiras (TIRADO-SOTO e ZAMBERLAN, 2013).

Dentro deste contexto, vê-se uma oportunidade para a realização de pesquisas que forneçam apoio à tomada de decisão por parte dos catadores de materiais recicláveis para que estes possam se organizar melhor e, de maneira efetiva, evitar a ação de atravessadores nas vendas às indústrias recicladoras. Miranda (2012) apresenta vários estudos que destacam que a simulação computacional tem sido utilizada de forma crescente para auxílio à tomada de decisões e é apontada como uma das técnicas de pesquisa mais utilizadas em vários setores, devido, principalmente, à sua versatilidade, flexibilidade e poder de análise. Para tanto, acredita-se que a Modelagem e Simulação a Eventos Discretos (SED) aplicada em uma associação de catadores poderá contribuir de maneira efetiva para o aumento dos rendimentos anuais destes trabalhadores (MONTEVECHI *et al.*, 2007; BANKS *et al.*, 2009; SARGENT, 2011).

1.1 Objetivos

Com base nas considerações efetuadas, foram estabelecidos o objetivo geral e os específicos do presente trabalho.

Objetivo geral: Propor e elaborar estratégias que possibilitem aumentar a renda obtida pelos catadores da ACIMAR – Associação Itajubense de Catadores de Materiais Recicláveis – utilizando a Modelagem e Simulação computacional no âmbito dos principais materiais recicláveis coletados pela associação.

Objetivos específicos:

- Analisar o impacto nos ganhos obtidos pelos catadores ao venderem os materiais recicláveis diretamente às indústrias recicladoras da região, sem a venda para intermediários.
- Verificar se uma reforma da área coberta da associação no armazenamento de fardos de papel, papelão e embalagens longa vida poderia aumentar o rendimento dos catadores de materiais recicláveis.

- Analisar a possibilidade da associação de catadores se manter sem ajuda financeira da prefeitura, de maneira autônoma, bem como o impacto desta decisão no rendimento dos catadores.
- Verificar se a união de coleta seletiva com outras cidades do sul de Minas Gerais integrantes de um consórcio intermunicipal de GRSU causa impacto na renda dos catadores.

Espera-se, portanto, que este trabalho possa fornecer aos catadores de materiais recicláveis de Itajubá dados que auxiliem na tomada de futuras decisões verificando o impacto destas nos seus rendimentos atuais, através do uso da Modelagem e Simulação.

1.2 Justificativas

Os catadores associados à ACIMAR separam os materiais recicláveis de acordo com suas características físicas (papéis, papelão, plásticos, sucatas ferrosas, alumínio e outros). Cada tipo de material possui um determinado valor de mercado, processo próprio de reciclagem e uma demanda específica na região. O trabalho dos catadores vem sendo prejudicado devido a ação de intermediários (atravessadores), que estão reduzindo os ganhos da associação. A atuação dos atravessadores ocasiona a diminuição do preço pelo qual as recicladoras pagam pelos materiais, e por esta razão, a ACIMAR necessita de estratégias que possam suavizar essa influência e a de outros fatores externos, como por exemplo a variação dos preços dos materiais recicláveis ao longo do ano.

Uma outra justificativa deste presente trabalho também se encontra no fato de que a prefeitura de Itajubá encerrou o convênio que detinha com a ACIMAR em 2017 por cinco meses, e, dessa forma, a associação necessita analisar a possibilidade de se mudar para um espaço próprio e se manter de maneira autônoma, caso o apoio da prefeitura venha novamente a faltar.

Por último, o presente trabalho também pretende auxiliar na decisão da associação de catadores de também reciclar materiais provenientes das cidades que fazem parte do Consórcio CIMASAS (Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí para Aterro Sanitário). Este consórcio integra a GRSU das cidades de Itajubá, Delfim Moreira, Wenceslau Brás, Piranguinho, Piranguçu e São José do Alegre e, em 2015, também começou a incluir as cidades de Santa Rita do Sapucaí, Cachoeira de Minas, Brazópolis, Marmelópolis e Maria da Fé (ASSEMBLÉIA DE MINAS, 2014). Desta maneira, pretende-se avaliar a

capacidade da ACIMAR conseguir trabalhar com a reciclagem dos materiais provenientes destas cidades todas, bem como seu impacto no rendimento mensal dos catadores.

O que motivou a escolha do objeto de estudo – uma associação de catadores em Itajubá/MG - é o fato de que 94,91% do total de municípios brasileiros têm a população de até 100.000 habitantes, e que, foram estes mesmos municípios os que menos atenderam as adequações pretendidas pela PNRS (ABRELPE, 2015; IPEA, 2012). É possível observar tais fatos nas Tabela 1.1 e Figura 1.1.

Tabela 1.1: Divisão de municípios por tamanho e população.

Unidade de Análise	Faixa Populacional	Número de Municípios	
		2000	2008
Municípios pequenos	Menos de 100 mil	5341	5299
Municípios médios	Entre 100 mil e 1 milhão de habitantes	211	252
Municípios grandes	Mais de 1 milhão de habitantes	13	14
Brasil		5565	5565

Fonte: IPEA (2012).

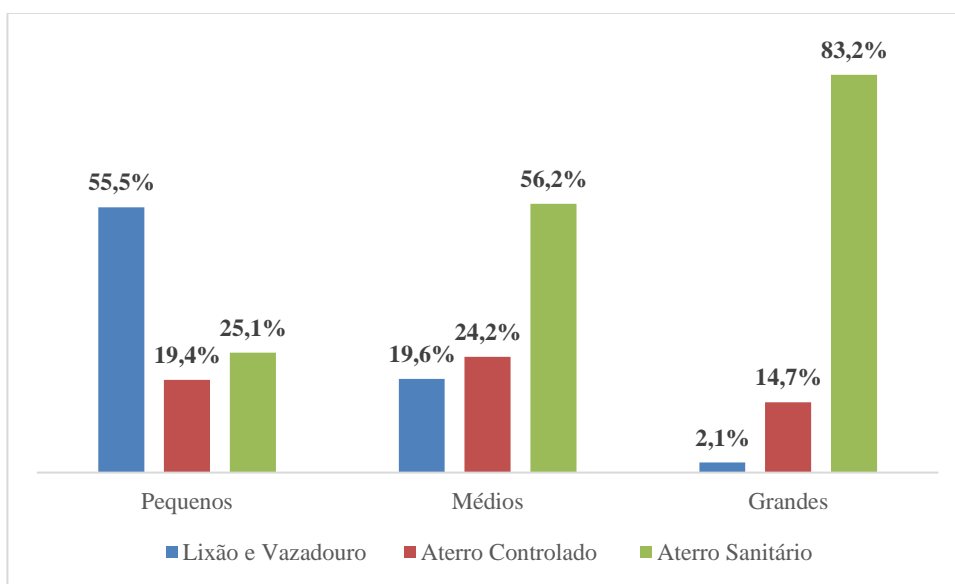


Figura 1.1: Destinação dos Resíduos Sólidos por tamanho do município em 2008.

Fonte: IPEA (2012).

Em relação à contribuição acadêmica, este trabalho pretende demonstrar o passo-a-passo utilizado na Modelagem e Simulação de um sistema de Logística Reversa com a inserção de catadores de materiais recicláveis, em um pequeno município brasileiro. Tal fato vêm a acrescentar uma lacuna de poucos trabalhos científicos verificados nesta área até o período de 2017, demonstrado na Tabela 1.2.

No segundo semestre de 2017, fez-se um levantamento bibliométrico de artigos publicados em periódicos indexados. As buscas foram realizadas na base de dados *Web of Science*, na base *Scopus* e também *Emerald*, utilizando as palavras-chave “*Waste Picker*”, “*Reverse Logistics*” e “*Simulation*”. Segundo Herculano e Norberto (2012), estas bases pesquisadas apresentam importantes periódicos multidisciplinares e reconhecidos internacionalmente, sendo a base *Scopus* a maior base de artigos e resumos existente. A análise bibliométrica apresentada na Tabela 1.2 contém os três termos selecionados com a busca nos títulos, palavras-chave ou nos resumos, sem restrição de data de publicação.

Tabela 1.2: Bases acadêmicas consultadas e termos utilizados.

	Scopus	Web of Science	Emerald
<i>Reverse Logistics (RL)</i>	2544	2122	673
<i>Discrete-Event Simulation (DES)</i>	13603	6117	382
<i>Waste Picker (WP)</i>	153	5	5
<i>RL + WP</i>	5	1	0
<i>DES + WP</i>	4	1	0

Fonte: Próprio autor.

1.3 Estrutura da dissertação

Além dessa introdução, onde se demonstrou a contextualização do problema da pesquisa, os objetivos, a justificativa do tema, o presente trabalho está estruturado em mais seis capítulos:

- ✓ **Capítulo 2 - Fundamentação Teórica:** forma a base conceitual para o desenvolvimento deste trabalho. No capítulo são apresentados os temas Resíduos Sólidos Urbanos, Logística Reversa e Reciclagem, destacando a atual situação das associações de catadores de materiais recicláveis no Brasil. Por fim, também são apresentados conceitos sobre Modelagem e Simulação Computacional. Há uma conclusão do capítulo demonstrando onde está localizado este presente trabalho na literatura.
- ✓ **Capítulo 3 – Metodologia da Pesquisa:** este capítulo detalha a descrição da presente pesquisa com relação à sua metodologia, bem como as etapas para a Modelagem e Simulação propostas por Montevechi *et al* (2010).
- ✓ **Capítulo 4 – Concepção:** este capítulo detalha a concepção do modelo conceitual seguindo primeiramente os passos do *framework* desenvolvido por Robinson

(2008). Por fim, nesse capítulo será apresentado a técnica de modelagem IDEF-SIM e o modelo conceitual proposto.

- ✓ **Capítulo 5 – Modelagem Computacional:** este capítulo detalha a implantação do modelo computacional no *software* Promodel® e documenta a lógica utilizada também com o IDEF-SIM, facilitando posterior replicações em outros *softwares* de simulação, caso haja alguma necessidade.
- ✓ **Capítulo 6 – Análise dos Resultados:** utilização do modelo computacional para a elaboração de cenários, realizando alterações nas variáveis de entrada e fornecendo dados para tomada de decisão. Os cenários estão agrupados em grupos com mesmo propósito.
- ✓ **Capítulo 7 - Conclusões:** são feitas as conclusões referentes aos objetivos estabelecidos e ao referencial teórico. Também são apresentados alguns resultados práticos, limitações da pesquisa e recomendações para trabalhos futuros. Por último, são apresentadas as referências bibliográficas utilizadas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os autores e os temas que formam a base teórica deste trabalho: Resíduos Sólidos, Logística Reversa, Catadores de Materiais Recicláveis e Simulação a Eventos Discretos.

2.1 Resíduos Sólidos Urbanos

2.1.1 Características e Geração dos RSU

Há diferentes classificações dos resíduos sólidos urbanos. De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), são RSU os resíduos nos estados sólido e semissólido, que resultam de atividades da comunidade, de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição (NBR10004/2004). Já segundo Oliveira (2015), o termo “resíduo”, proveniente do latim *residuu* - aquilo que sobra, passou a ser um termo utilizado em substituição ao desgastado termo “lixo”. Para Logarezzi (2006), o termo resíduo destina-se às sobras de uma atividade qualquer e neste termo estão embutidos valores culturais, sociais, econômicos e ambientais. Para alguns autores, os RSU são o conjunto de detritos gerados em decorrência das atividades humanas nos aglomerados urbanos (VILHENA, 2016; SUTHAR, RAYAL e AHADA, 2016; AKHTAR *et al.*, 2015; JACOBI e BESEN, 2011).

Demirbas (2011) classifica os RSU em resíduos de bens duráveis, não duráveis, e resíduos inorgânicos residenciais, comerciais e industriais. Ribeiro *et al.* (2014) em seu artigo relatam que a classificação mais adequada é aquela que considera o momento em que o resíduo é gerado, sendo estes classificados como resíduos pós-industriais ou resíduos de pós-consumo. Considera-se os resíduos pós-industriais aqueles gerados como rebarba dos processos produtivos, e, resíduos de pós-consumo, provenientes das sobras do consumo de bens ou serviços. Os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), utilizados neste trabalho, são exemplos desta última categoria.

Quadro 2.1: Classificação dos RSU em razão da sua perecibilidade.

Categorias	Características
Facilmente degradáveis	Restos de alimentos, podas, animais mortos e excrementos.
Moderadamente degradáveis	Produtos celulósicos, como o papel e papelão.
Difícilmente degradáveis	Materiais ferrosos, madeira, borracha, plásticos, etc.
Não-degradáveis	Metais não ferrosos, vidros, etc.

Fonte: Adaptado de Brasil (2011).

Existem várias outras classificações dos RSU. Uma caracterização importante para a realização deste trabalho é quanto à sua perecibilidade. O Quadro 2.1 apresenta essa classificação de acordo com o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2011).

De acordo com Valencia-Vázquez *et al.* (2014), os RSU são uma preocupação crescente em qualquer local do mundo. Os RSU podem resultar em sérios danos à sociedade e ao meio ambiente, como por exemplo a proliferação de vetores de doenças, a geração de maus odores, emissões de poluentes atmosféricos, contaminação do solo e por fim, contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

O último levantamento oficial sobre a coleta de resíduos sólidos de alcance nacional foi conduzido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2008. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2008) apurou que naquele ano eram coletadas ou recebidas diariamente 259.547 toneladas de resíduos sólidos domiciliares ou públicos, das quais 17,6% ainda eram destinadas a vazadouros a céu aberto, conhecidos como lixões. Segundo Ribeiro *et al.* (2014), os aterros controlados também não atendem as exigências sanitárias e ambientais requeridas para a disposição final dos resíduos, deste modo, até o ano de 2008, 33,3% dos resíduos coletados no país recebiam destinação final inadequada. A Figura 2.1 apresenta esses dados para o Brasil.

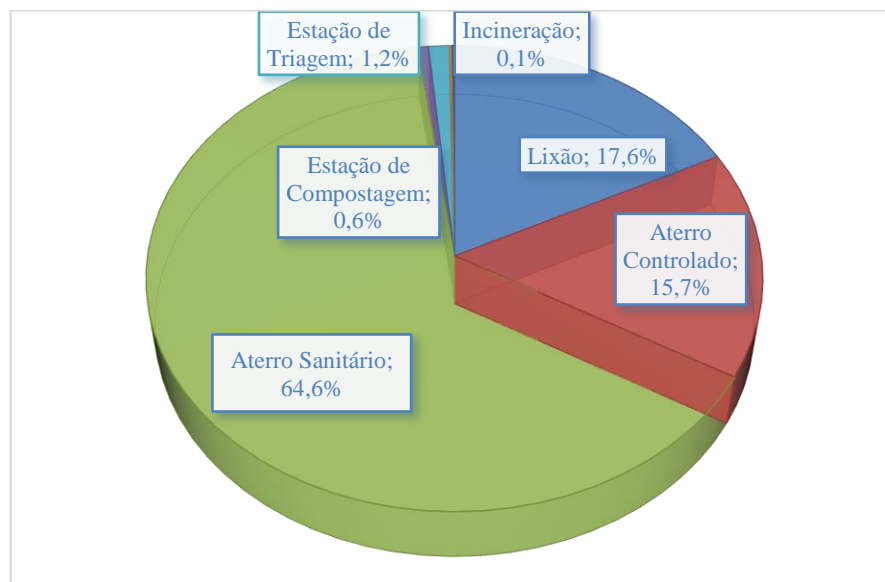


Figura 2.1: Destinação final dos RSU coletados por dia, em porcentagem.

Fonte: IBGE (2008).

Segundo o IBGE (2008), as inexpressíveis quantidades de lixo destinadas às estações de compostagem e triagem refletiam a baixa adesão aos programas de coleta seletiva entre os

municípios brasileiros na época. No entanto, segundo a ABRELPE (2015) o problema ainda se mostra acentuado, como mostra a Figura 2.2, com a distribuição dos municípios com alguma iniciativa de coleta seletiva no Brasil. Além disso, essas taxas de compostagem e reciclagem quando comparadas às de alguns países desenvolvidos ou outros países em desenvolvimento demonstram de maneira mais clara como o país ainda segue atrasado quando se trata de dar a correta destinação aos RSU, como observado na Figura 2.3.

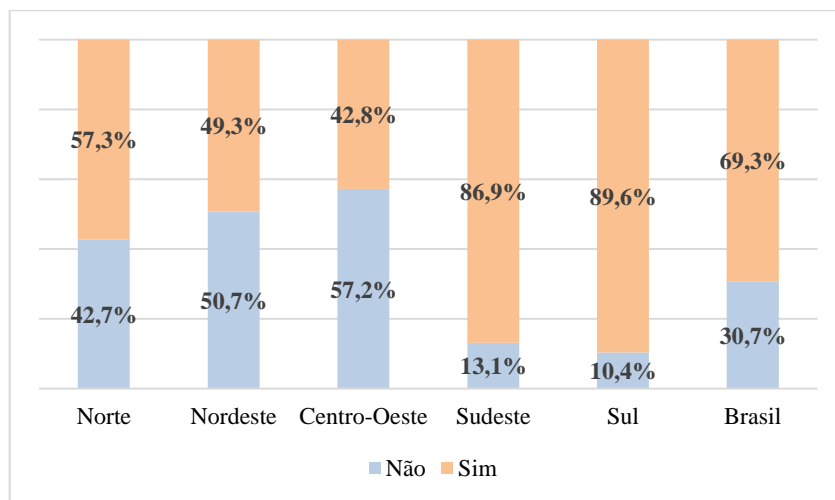


Figura 2.2: Distribuição dos municípios com iniciativa de coleta seletiva no país (sim) e sem iniciativas de coleta seletiva (não). Fonte: ABRELPE (2015).

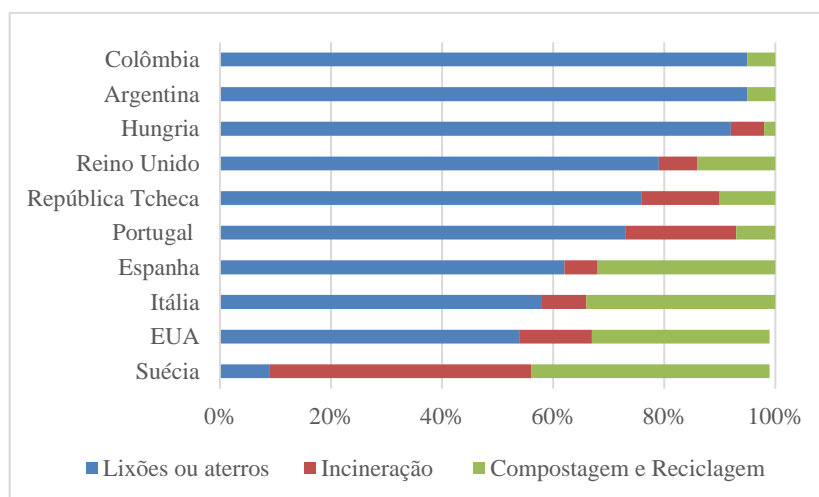


Figura 2.3: Destinação final dos RSU em alguns países.

Fonte: Ribeiro *et al.* (2014).

Uma característica comum na gravimetria dos RSU é que países mais ricos apresentam menores quantidades de resíduos orgânicos (principalmente restos alimentares) e maior geração de papel/papelão quando comparados com países em desenvolvimento (AKHTAR *et al.*, 2015).

Países com renda baixa (até US\$876 per capta) e renda média inferior e superior (de US\$876 até US\$10.725 per capta) apresentam uma composição gravimétrica bem diferente dos países com renda alta (acima de US\$10.725 per capta), como demonstrado na Figura 2.4. Diversos outros fatores interferem na caracterização dos RSU, desde as preferências dos consumidores, seus hábitos e costumes, variações sazonais, climáticas, densidade demográfica, leis e regulamentações específicas (RIBEIRO *et al.*, 2014; REZENDE *et al.*, 2013; COSTA *et al.*, 2012; FERGUTZ, DIAS e MITLIN, 2011; MUTTAMARA, VISVANATHAN e ALWIS, 1994). Algumas destas variações foram demonstradas no Quadro 2.2.

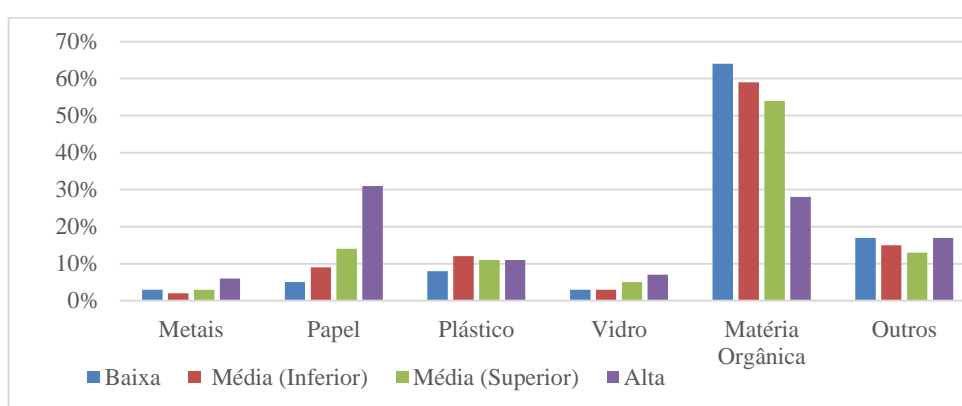


Figura 2.4: Composição gravimétrica dos RSU de grupo de países com renda baixa, média (inferior e superior) e alta. Fonte: World Bank (2012).

Quadro 2.2- Fatores que influenciam a composição gravimétrica dos RSU.

	Fatores	Influência
<i>Climáticos</i>	Chuvas	Aumento do teor de umidade
	Outono	Aumento do teor de folhas
	Verão	Aumento do teor de embalagens de bebidas (latas, vidros e plásticos rígidos)
<i>Épocas Especiais</i>	Carnaval	Aumento do teor de embalagens de bebidas (latas, vidros e plásticos rígidos)
	Natal, Ano Novo, Páscoa	Aumento de papel, papelão, plásticos maleáveis e metais Aumento da matéria orgânica
	Dias dos Pais/ Mães	Aumento de papel, papelão, plásticos maleáveis e metais
	Férias	Esvaziamento de áreas da cidade em locais não turísticos Aumento populacional em locais turísticos
<i>Épocas Especiais</i>	População urbana	Quanto maior a população urbana, maior a geração per capta

<i>Demográficos</i>	Nível cultural	Quanto maior, maior a incidência de materiais recicláveis e menor de matéria orgânica
	Nível educacional	Quanto maior, menor a incidência de matéria orgânica
<i>Socioeconômicos</i>	Poder aquisitivo	Quanto maior, maior a incidência de materiais recicláveis e menor de matéria orgânica
	Desenvolvimento tecnológico	Redução do peso dos resíduos
	Lançamento de novos produtos	Aumento de embalagens
	Promoções de lojas	Aumento de embalagens

Fonte: IBAM (2001).

2.1.2 Gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos

Segundo Lima *et al.* (2015), a adequada GRSU é benéfica para o meio ambiente, as cidades e as pessoas que dependem da renda gerada pela coleta deste material para sobreviver. Segundo Ribeiro *et al.* (2014) a GRSU é compreendida pela elaboração, implantação e execução de um modelo de administração dos resíduos sólidos, considerando a participação das autoridades competentes. Os autores argumentam que um bom plano de GRSU deve considerar: a redução da geração de lixo na fonte, a reutilização do material produzido, a reciclagem, a recuperação de energia e, o aterro sanitário.

Segundo a ABRELPE (2015), 30,7% dos municípios brasileiros destinavam seus resíduos para lixões, que são vazadouros a céu aberto sem nenhum tratamento. As demais formas possíveis encontradas para disposição final de resíduos sólidos são apresentadas por IBAM (2001):

1. Aterro Sanitário: adequada disposição dos RSU no solo, sob controle técnico e operacional permanente, de modo que nem os resíduos, nem seus efluentes líquidos e gasosos venham a causar danos à saúde pública e/ou ao meio ambiente.
2. Aterro Controlado: local utilizado para despejo de resíduos sólidos coletados em estado bruto, com cuidado de, diariamente, cobrir os resíduos com uma camada de terra.
3. Reciclagem e Compostagem: A reciclagem é o reaproveitamento dos materiais que entram novamente como matéria-prima em ciclos produtivos. A compostagem é a transformação em adubo do restante de matéria orgânica. Estes geram emprego e renda e podem reduzir a quantidade de resíduos que deverão ser dispostos em aterros sanitários. A economia de energia que seria gasta na transformação da matéria-prima e a transformação do material orgânico do lixo

em composto orgânico adequado para nutrir o solo destinado à agricultura representam vantagens ambientais e econômicas (DIAZ e OTOMA, 2014; LIMA *et al.*, 2015).

4. Incineração: é a transformação da maior parte dos resíduos sólidos em gases por meio da queima em altas temperaturas por um período predeterminado. A incineração do lixo é também um tratamento eficaz para reduzir o seu volume. Sua instalação e funcionamento são geralmente dispendiosos, principalmente em razão da necessidade de filtros para diminuir ou eliminar a poluição do ar provocada por gases produzidos durante a queima do lixo (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016).

Ainda de acordo com IBAM (2001), as baixas taxas de compostagem/reciclagem podem ser explicadas por motivos de que no Brasil, apesar de algumas unidades já instaladas, muitas dessas usinas utilizam tecnologia simplificada, com segregação manual de recicláveis em correias transportadoras e compostagem deixadas sob o céu aberto. Ainda segundo o IBAM (2001), muitas unidades que foram instaladas na época estavam paralisadas e sucateadas por dificuldade dos municípios em operá-las e mantê-las convenientemente. A Figura 2.5 ilustra a evolução das taxas de reciclagem no país de 1989 a 2008, onde se pode observar que a taxa de reciclagem se manteve sempre abaixo de 14%.

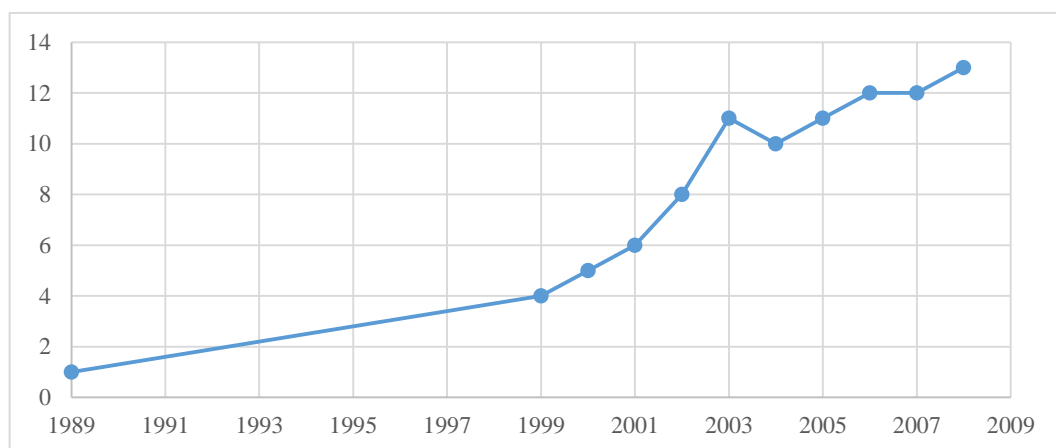


Figura 2.5: Evolução das taxas de reciclagem de RSU no Brasil, 1999-2008 (em %).

Fonte: CEMPRE (2013).

Além das já citadas, as demais dificuldades para a efetiva implantação de um sistema de reciclagem de materiais no Brasil estão relacionadas também a: falta de adesão da população à coleta seletiva; pouca participação do setor industrial no desenvolvimento de um sistema de

Logística Reversa; inexistência de locais adequados para separação dos resíduos por tipo de material; além de, em muitos casos, longas distâncias entre os centros geradores de resíduos e as indústrias de processamento e reciclagem de materiais (MANNARINO, FERREIRA e GANDOLLA, 2016; OLIVEIRA, 2015; PINTO, 2016). Uma correta gestão dos resíduos deve ser feita de forma integrada, considerando os vários aspectos que este tema aborda.

Segundo IBAM (2001), a gestão integrada dos resíduos sólidos revela-se com a atuação de subsistemas específicos que demandam instalações, equipamentos, pessoal e tecnologia, não somente disponibilizados pelo poder público, mas oferecidos também pelos demais agentes envolvidos na gestão, entre os quais se enquadram:

- A própria população, empenhada na separação e acondicionamento diferenciado dos materiais recicláveis em casa;
- Os grandes geradores, sendo eles responsáveis pelos próprios rejeitos;
- Os catadores, organizados em cooperativas, capazes de atender à coleta de recicláveis oferecidos pela população e comercializá-los junto às fontes de beneficiamento.

2.1.3 Coleta Seletiva dos RSU

De maneira geral, os programas de coleta seletiva costumam utilizar a seguinte estrutura de separação: *i*) lixo seco: materiais passíveis de reciclagem quando separados isoladamente (papel, vidro, lata, plástico, etc.); e *ii*) lixo úmido: parte orgânica dos resíduos, como as sobras de alimentos, as cascas de frutas e restos de poda, usados para compostagem (GUTIERREZ *et al.*, 2017; SIMATELE, DLAMINI e KUBANZA, 2017; SASAKI e ARAKI, 2014).

Para obterem êxito, os programas de coleta seletiva dependem em grande medida da separação prévia dos resíduos na fonte geradora, evitando a presença de contaminantes nos materiais recicláveis, o que diminui os níveis de rejeitos no material coletado seletivamente, aumentando, assim, o valor dos materiais recuperados e reduzindo os custos desta modalidade de coleta (IPEA, 2013). A composição gravimétrica dos RSU no Brasil está apresentada na Figura 2.6.

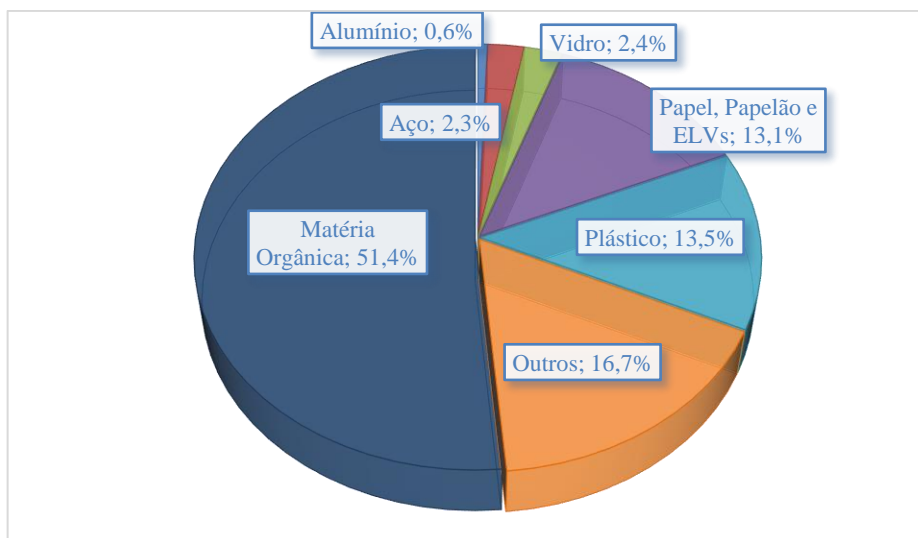


Figura 2.6: Composição gravimétrica dos RSU no Brasil.

Fonte: IPEA (2010).

Segundo dados mostrados anterior do Compromisso Empresarial para a Reciclagem CEMPRE (2016), apenas 13% do total dos RSU gerados no Brasil são encaminhados para reciclagem. Segundo o IPEA (2013), apesar desse baixo percentual de reaproveitamento, o Brasil possui certo destaque na indústria de reciclagem, com o papelão e o alumínio apresentando índices relativos de reaproveitamento de 72,7% e 98,5%, respectivamente. O Brasil é líder mundial de recuperação de latas de alumínio (RUTKOWSKI e RUTKOWSKI, 2015). Segundo o CEMPRE (2013), este fato é consequência do preço atrativo da sucata, que acompanha os valores da commodity no mercado internacional. A reciclagem de garrafas PET bem como de outros plásticos também é crescente, sendo que nos últimos dez anos, a taxa de recuperação do material aumentou de 32,9% para 56,8%. Em 2012 existiam no país 93 indústrias recicladoras com mais de cinco anos de existência, em 2004 eram apenas 32. A Tabela 2.1 mostra a taxa de recuperação de embalagens após o uso dos cinco principais materiais recicláveis.

Tabela 2.1: Embalagens recuperadas após o uso.

Material	Total (ton/dia)	Taxa de recuperação
Alumínio	711	98,5%
Aço	1.698	49,2%
Papelão	9.827	72,7%
Plástico	2.841	56,8%
Vidro	2.926	49,9%

Fonte: CEMPRE (2013).

2.1.4 A Política Nacional de Resíduos Sólidos

Bellingieri (2012) descreve que as causas do insucesso de programas de gestão de RSU estão relacionadas a não observação de um aspecto que se mostra imprescindível para que os mesmos erros não mais se repitam: o planejamento das ações antes de aplicá-las, para quais as ferramentas de coleta, tratamento, interpretação, acompanhamento e disponibilização de informações são determinantes. Com o intuito de sanar tal déficit por informações, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabeleceu que a União, os Estados, o Distrito Federal e os Municípios devem organizar e manter, de forma conjunta, sistemas de informações sobre os RSU (FERRI, CHAVES e RIBEIRO, 2015).

Quadro 2.3: Antes e depois da PNRS.

	Antes da PNRS	Depois da PNRS
Poder Público	Pouca prioridade para questão dos resíduos sólidos.	Municípios devem traçar um plano para gerenciar os resíduos sólidos da melhor maneira possível, buscando a inclusão dos catadores
	A maioria dos municípios destinava os dejetos para os lixões a céu aberto	Lixões passam a ser proibidos e devem ser erradicados, com a criação de aterros que sigam as normas ambientais
	Não há aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos (RSO)	Municípios devem instalar a compostagem para tratar os RSO
	Coleta seletiva ineficiente e pouco expressiva	Prefeituras devem organizar a coleta seletiva de recicláveis e orgânicos para atender toda a população, fiscalizar e controlar os custos desse processo
População	Separação inexpressiva do lixo reciclável nas residências	População deve separar o lixo reciclável nas residências
	Falta de Informações	Realização de campanhas educativas sobre o tema dos RSU e sua importância
	Atendimento da coleta seletiva pouco eficiente	A coleta seletiva deverá ser expandida
Catadores	Manejo do lixo feito por amadores, com risco a saúde.	Catadores deverão se filiar a cooperativas de forma a melhorar o ambiente de trabalho, reduzir os riscos e aumentar a renda.
	Predominância da informalidade no setor	Cooperativas deverão estabelecer parcerias com empresas e prefeituras para realizar a coleta e reciclagem.
	Problemas tanto na qualidade quanto na quantidade de resíduos	Aumento do volume e melhora da qualidade dos resíduos que serão reaproveitados ou reciclados.
	Catadores sem qualificação	Os trabalhadores passarão por treinamentos para melhorar a produtividade.

Fonte: Adaptado de CEMPRE (2013).

A PNRS reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações com vistas à gestão integrada e ambientalmente adequada dos RSU. As principais mudanças com a introdução desta nova lei estão demonstradas no Quadro 2.3. Segundo Oliveira (2015), a PNRS segue, em linhas gerais, os modelos europeus ao falar sobre a responsabilidade compartilhada do ciclo de vida e o princípio do poluidor-pagador. Contudo, essa norma por si só ainda não é capaz de modificar a realidade desta área no Brasil (GHISOLFI *et al.*, 2017; REBEHY *et al.*, 2017).

Entre os pontos mais importantes, a nova legislação estabelece que a responsabilidade pelos resíduos urbanos deve ser compartilhada entre poder público, população e empresas que fabricam e comercializam os produtos e embalagens, descartados após o consumo. Diante do desafio de expandir a Logística Reversa e cumprir a lei, os catadores assumem também o papel de fornecedores de matéria-prima para a indústria. A lei prevê a participação a atuação do poder público no apoio à compra de máquinas, na estruturação das cooperativas de materiais recicláveis e na educação ambiental junto ao público para a importância da separação correta dos materiais nas residências. A PNRS também prevê a redução da disposição final de resíduos sólidos recicláveis em aterros sanitários. As metas nacionais são de redução gradual dessa disposição em aterros em 28% até 2019, redução de 34% até 2023, redução de 40% até 2027 e por fim, redução de 45% até 2031 (BESEN *et al.*, 2014).

Outros autores também explicam as diferenças do antes e depois da introdução da PNRS. Segundo Rebehy *et al.* (2017), há três modelos de GRSU, apresentados na Figura 2.7.

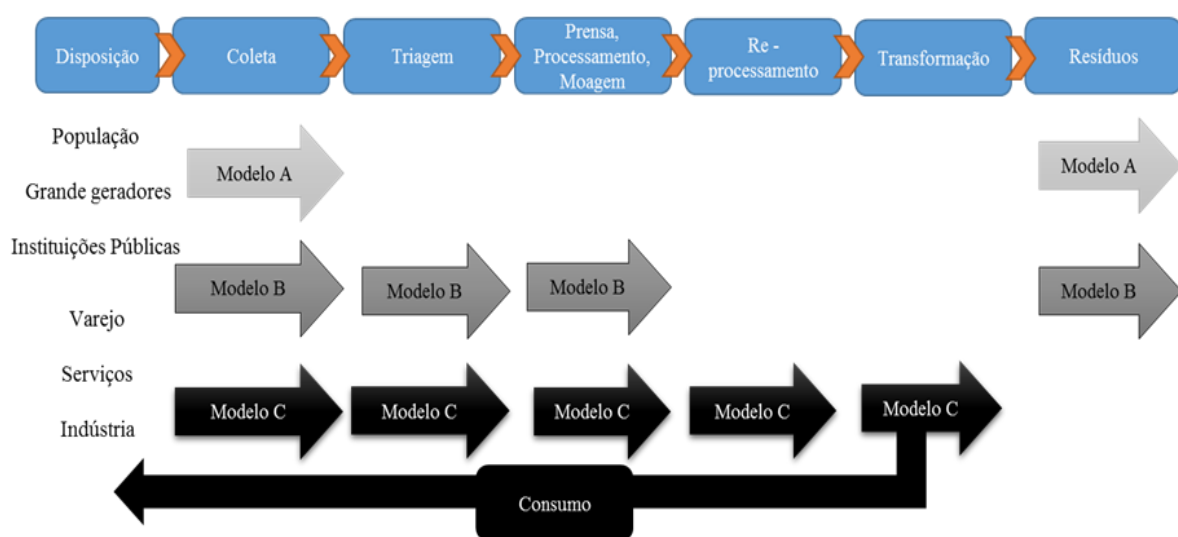


Figura 2.7: Modelos de Gestão dos Resíduos Sólidos.

Fonte: Rebehy *et al.* (2017).

Ainda de acordo com Rebehy *et al.* (2017), o modelo brasileiro de gerenciamento de lixo e eliminação de resíduos existente antes de 2010 não considerava a coleta seletiva (modelo A representado na Figura 2.7). Dessa maneira, as possibilidades de redução de resíduos não eram consideradas, e os resíduos eram deixados em aterros ou lixões a céu aberto. O modelo B tornou-se obrigatório com a promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010). Já no modelo C, as indústrias de reprocessamento e transformação trabalhariam em parceria com as principais indústrias recicladoras para realizar a Logística Reversa e influenciar o preço de diferentes tipos de resíduos no Brasil, o que ainda não é muito bem desenvolvido no país.

Segundo o CEMPRE (2013), para que a PNRS seja cumprida integralmente, a atual produção das cooperativas precisará ser triplicada e centrais para triagem dos resíduos deverão ser criadas em muitos dos mais de 5 mil municípios brasileiros. Entre os desafios, é primordial a capacitação dos catadores para o desempenho de suas novas funções, que exigem desde o conhecimento sobre os melhores métodos de separação e acondicionamento dos materiais até práticas para aumentar a eficiência da produção, reduzir custos e garantir a viabilidade econômica. No rastro da nova lei, os catadores se profissionalizam, adquirem novo padrão de trabalho e expandem o raio de ação, com a consciência de que a sua atividade é um empreendimento que deve prezar pela qualidade e gestão.

2.2 Logística Reversa

2.2.1 Caracterização da Logística Reversa

Para viabilizar a gestão dos resíduos sólidos a Logística Reversa (LR) é uma ferramenta fundamental. A LR é definida na PNRS como o instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios para permitir a coleta e recuperação dos resíduos sólidos para o setor produtivo, para reutilização em seu ciclo ou em outros ciclos de produção (CAMPOS, FONSECA e MORAIS, 2014; DEMAJOROVIC, AUGUSTO e SOUZA, 2016).

Bautista e Pereira (2006) afirmam que a logística tradicional, na sua concepção original, não considerava os aspectos ambientais inerentes aos seus processos, apenas os consideravam como “externalidades”. A crescente preocupação ecológica dos consumidores, as novas legislações ambientais, os novos padrões de competitividade de serviços ao cliente e as preocupações com a imagem corporativa tem incentivado cada vez mais a criação de canais

reversos de distribuição que solucionem o problema da quantidade de produtos descartados no meio ambiente (XAVIER e CORRÊA, 2013).

De acordo com Chaves, Alcântara e Assunção (2008), embora as atividades de LR tenham iniciado na década de 1980, a evolução de seu conceito ocorre na década de 1990 juntamente com a pressão exercida pela legislação e órgãos fiscalizadores. Carter e Ellram (1998) definiram a LR como o processo pelo qual as empresas podem se tornar mais eficientes em termos ambientais através da reciclagem, reutilização e redução da quantidade dos materiais utilizados. Rogers e Tibben-Lembke (1999), adaptando a definição de logística do *Council of Supply Chain Management Professionals*, definem a LR como o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e informações correspondentes do ponto de consumo ao ponto de origem com o propósito de recapturar o valor ou destinar à apropriada disposição.

A LR é definida como sendo o movimento de produtos ou materiais na direção oposta à da logística tradicional (direta) com o objetivo de criar e recapturar valor, ou, para que seja feita a disposição adequada de diferentes tipos de produtos (GHISOLFI *et al.*, 2017; LEITE 2009; TIBBEN-LEMBKE e ROGERS, 2002; FLEISCHAMN *et al.*, 1997). A Figura 2.8 ilustra essa direção oposta.

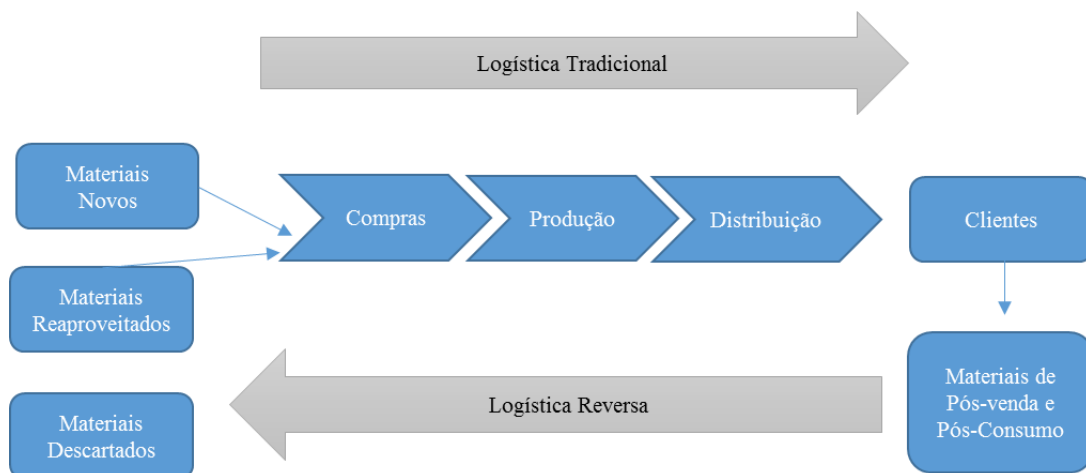


Figura 2.8: Processo Logístico Reverso.

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

Chaves, Alcântara e Assunção (2008) destacam a existência de duas áreas de atuação da logística reversa: a LR de pós-venda e a LR de pós-consumo. Elas se diferenciam pelo estágio ou fase do ciclo de vida útil do produto retornado. Essa distinção também é feita por Leite (2009), que descreve essas duas categorias da seguinte maneira:

- LR de pós-consumo: constituída pela parcela de produtos e materiais originados do descarte depois de finalizada sua utilidade original e que, retornam ao ciclo produtivo.
- LR de pós-venda: constituída pelas diferentes formas e possibilidades de retorno de uma parcela de produtos, que fluem no sentido inverso, motivados por problemas relacionados à qualidade em geral ou a processos comerciais entre empresas, como devoluções por problemas de garantia, avarias no transporte, excesso de estoques, prazo de validade expirado, erros de expedição do pedido, entre outros.

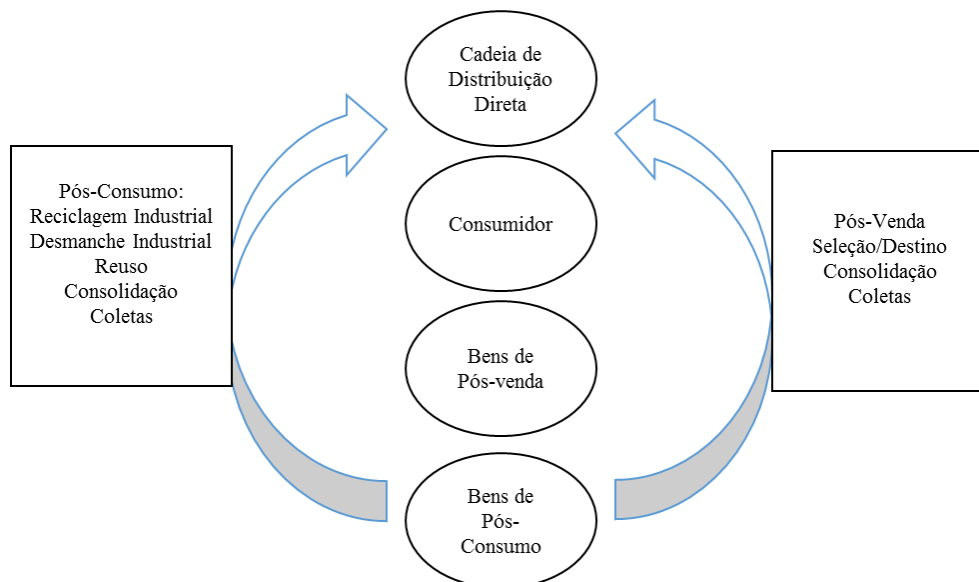


Figura 2.9: Logística reversa de pós-consumo e de pós-venda.

Fonte: Adaptado de Leite (2009).

O fluxo reverso de pós-consumo é representado por materiais de produtos que foram descartados depois de esgotada sua utilidade e que de alguma maneira estão retornando ao ciclo produtivo, sendo que esse processo pode ocorrer de duas maneiras (LEITE, 2009):

- Desmanche: pode ser definido como um sistema de revalorização de um produto de pós-consumo que, após sua coleta, sofre um processo de desmontagem no qual seus componentes em condições de uso são separados de partes ou materiais para os quais não existem condições de revalorização, mas que ainda são passíveis de reciclagem industrial;
- Reciclagem: é o canal reverso de revalorização em que os materiais constituintes dos produtos descartados são extraídos industrialmente, transformando-se em

matérias primas secundárias ou recicladas que serão reincorporadas à fabricação de novos produtos.

Motta (2011) ressalta que a LR de pós-consumo chama a atenção por estar relacionada diretamente a preservação do meio ambiente, isso porque tem papel essencial contra a degradação dos recursos naturais. Para que ocorra a reciclagem é necessário que exista viabilidade técnica e econômica, o que em muitos casos é a maior dificuldade das organizações de reciclagem, como as associações de catadores. A Figura 2.10 demonstra uma pesquisa realizada no Brasil pelo autor Leite (2009), onde o mesmo apresenta os canais de distribuição reversos de pós-consumo até a sua reintegração ao ciclo produtivo.

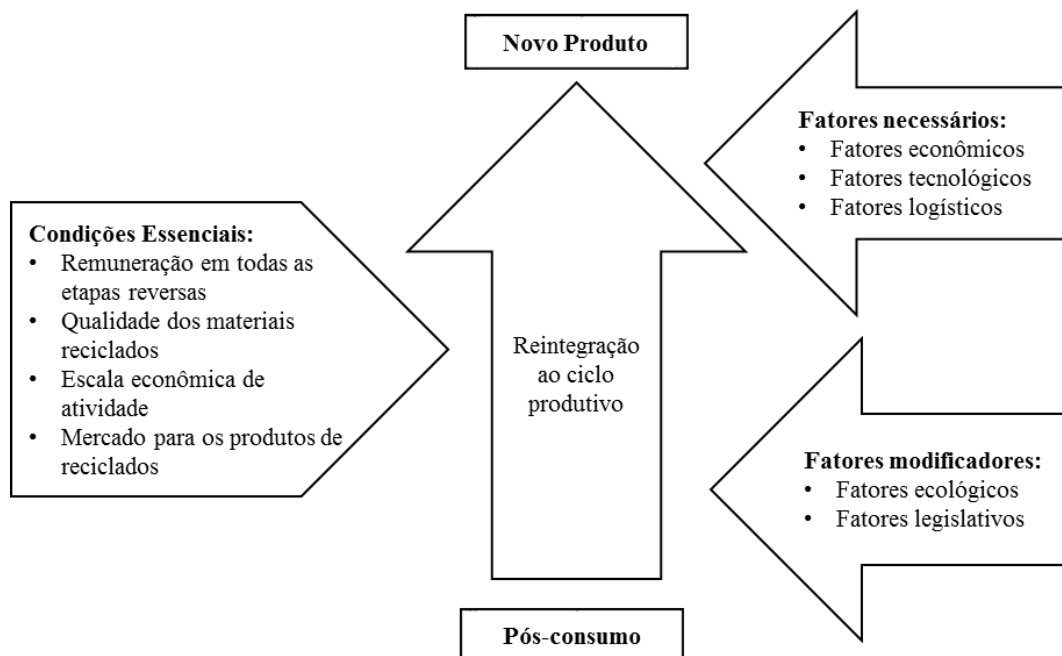


Figura 2.10: Modelo relacional entre os fatores.

Fonte: Leite (2009).

Estas condições essenciais apresentadas na Figura 2.10 são indispensáveis para que o fluxo reverso se estabeleça, onde a remuneração em todas as etapas se torna importante, uma vez que a lucratividade obtida ao longo de cada fase deve satisfazer os interesses econômicos dos diversos agentes, onde mesmo com custos agregados permitam preços de vendas dos reciclados inferiores ou compatíveis com as matérias primas virgens que vão substituir (LIMA *et al.*, 2015; LEITE, 2009).

2.2.2 A Cadeia da Reciclagem

Mesmo que a legislação exista para promover a LR, isto não é o suficiente para garantir que os RSU sejam descartados corretamente. Condições devem ser criadas e alguns desafios

superados para que o processo não seja apenas bom em teoria (FAGUNDES, AMORIM e LIMA, 2017; SANDHU, BURTON e DEDEKORKUT-HOWES, 2017).

As principais relações comerciais que compõem a cadeia de valor da reciclagem estão demonstradas na Figura 2.11. Os principais atores são: os catadores e suas organizações de apoio, a indústria (privada e pública) de coleta de resíduos, os intermediários (atravessadores), a indústria recicladora e o Estado, com a regulação e as políticas públicas que afetam tanto o setor produtivo quanto os catadores (IPEA, 2013; STEUER *et al.*, 2017; SIMATELE, DLAMINI e KUBANZA, 2017).

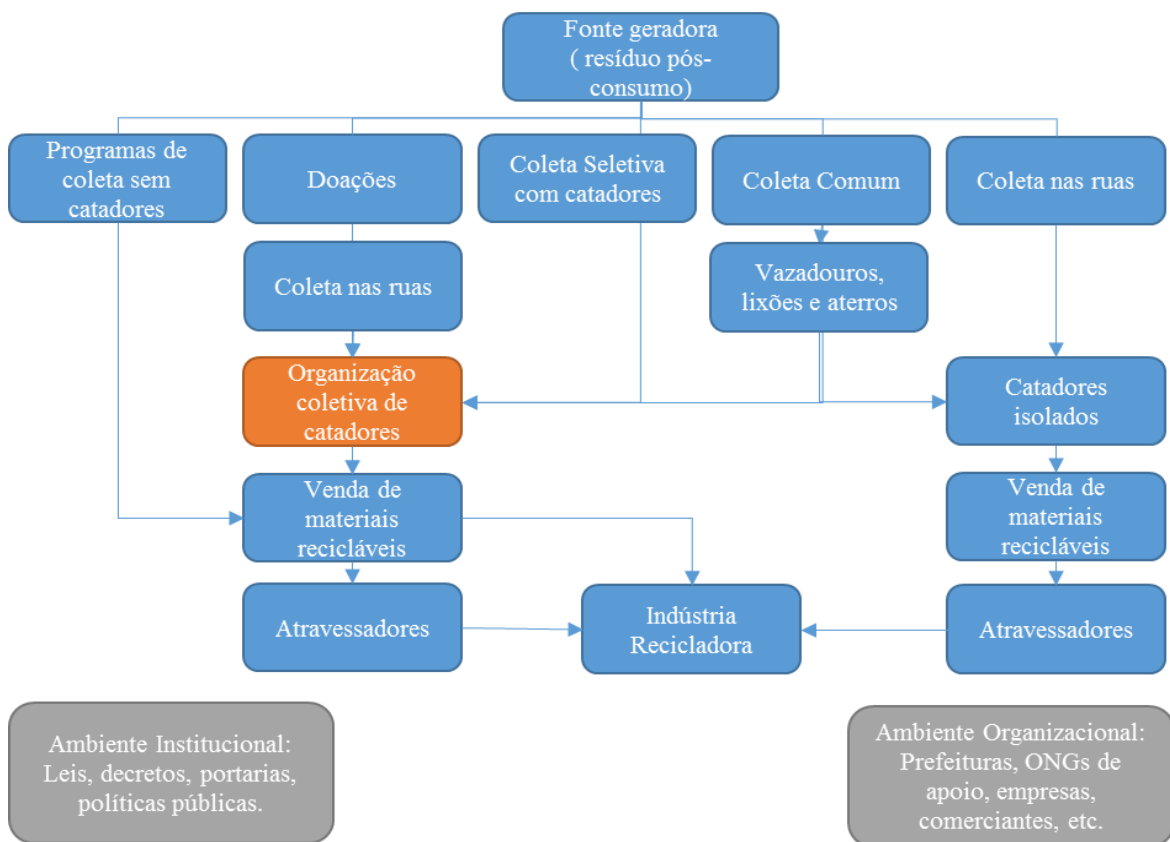


Figura 2.11: Fluxograma da cadeia de valor da reciclagem.

Fonte: Adaptado de IPEA (2013).

As pessoas que vivem de coletar RSU podem ser classificadas, de acordo com Maccarini e Hernández (2007), em três classes básicas: O catador propriamente dito, que vive nos lixões, coletando RSU para posteriormente vendê-los para intermediários ou atravessadores (sucateiros); aqueles que catam nas ruas com seus carrinhos, carroças ou outros veículos, os quais são muitas vezes chamados de carrinheiros; por último, aqueles que trabalham em centros de triagem de materiais recicláveis, frequentemente vinculados a alguma cooperativa ou associação, chamados de trabalhadores coletores ou catadores de materiais recicláveis.

Todos esses catadores se inserem em um arranjo no qual um reduzido número de indústrias recicladoras ocupam o “topo da pirâmide” da cadeia de valor (SASAKI e ARAKI, 2013; OTENG-ABABIO, 2012). Abaixo delas encontram-se os intermediários, que geralmente organizam toda a infraestrutura necessária (balança, prensa, triturador, caminhões, galpão e capital financeiro) para a compra dos materiais que são separados e oferecidos em grandes volumes às indústrias recicladoras (SANTOS *et al.*, 2011). Na base da pirâmide estão os catadores, responsáveis por recolher quase 90% de todo o material que chega a ser reciclado no Brasil. Os catadores isolados estão mais sujeitos a atuação de atravessadores nas vendas de materiais recicláveis devido ao seu baixo poder de barganha perante às grandes indústrias recicladoras, já que estas exigem com frequência grandes volumes iniciais de compra de materiais recicláveis. A pirâmide dos atores que participam da cadeia de valor está representada na Figura 2.12.

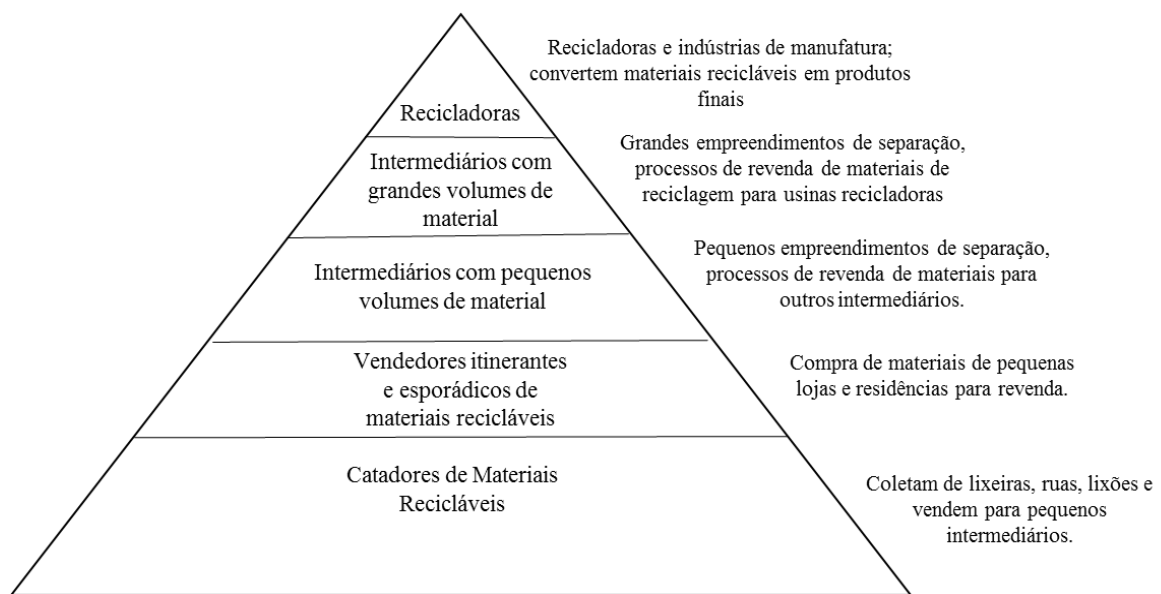


Figura 2.12: Pirâmide genérica de arranjos do setor informal de reciclagem.

Fonte: Sandhu, Burton e Dedekorkut-Howes (2017).

Os atravessadores são o principal destino dos materiais coletados e isto deve-se a várias razões: quantidade de materiais insuficientes para a comercialização com as indústrias, a falta de espaço para armazenamento ou a necessidade urgente de dinheiro; ausência de indústrias compradoras de materiais nas proximidades dos grupos de catadores; falta de estrutura organizacional nas entidades de catadores capazes de aumentar o volume de materiais incrementando, por consequência, o poder de barganha perante às indústrias; disponibilização de caminhões pelos atravessadores para transporte dos materiais, sem custos financeiros à organizações, ao contrário das indústrias que deixam o custo de transporte por conta destas

(CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2013; COLETTI e BISSCHOP, 2017; SCHENCK e BLAAUW, 2011; SEMBIRING e NITIVATTANANON, 2010).

Medina (2000) estudou atividades de reciclagem informal realizadas por cooperativas de reciclagem na Ásia e América Latina. A maioria dos catadores nos países em desenvolvimento pode ser considerada pobre segundo o autor, isto em grande parte devido aos baixos preços pagos pelos materiais recicláveis por intermediários, que posteriormente vendem estes materiais com altas margens de lucro. Na Cidade do México, por exemplo, os catadores vendem sua produção à intermediários, que por sua vez vendem os materiais para a indústria com um lucro de pelo menos 300%. As cooperativas de materiais recicláveis devem evitar a todo custo evitar intermediários para assim, obter rendas mais elevadas (ALMEIDA, FIGUEIREDO e DANTAS, 2017).

Segundo Medina (2000), as razões dadas pelos catadores para realizar este tipo de trabalho são as seguintes: desemprego, baixo nível educacional, limitações físicas e idade avançada. Já para Simatele, Dlami e Kubanza (2017), muitos dos incapazes em lidar com as pressões de um sistema capitalista baseado no individualismo e competitividade de mercado e residentes urbanos pobres resolveram operar de forma informal no setor de reciclagem para sua própria sobrevivência e independência. As associações de catadores no Brasil e no mundo desempenham um papel importantíssimo na geração de emprego e renda, já que dentre os setores componentes da GRSU este é o que mais emprega, observado na Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Número de postos de trabalho por 10 mil toneladas/ano RSU para diferentes setores.

Setores componentes da GRSU	Número de postos de trabalho por 10 mil ton/ ano
Indústria da reciclagem (média)	25
Indústria de papel	18
Indústria de produtos de vidro	26
Indústria de produtos de plástico	93
Centrais de Triagem	10
Associações de materiais recicláveis	337
Compostagem	4
Aterro sanitário e incineração	1

Fonte: IPEA (2016).

2.3 Catadores de Materiais Recicláveis

2.3.1 Catadores de materiais recicláveis em artigos científicos

A coleta seletiva dos RSU se destaca no Brasil devido ao forte componente social de inclusão de catadores (BESEN, 2011). Outros países em desenvolvimento também apresentam catadores como componentes preponderantes em seus sistemas de GRSU, sobretudo os países da África, América Latina e da Ásia (SASAKI e ARAKI, 2014; DIAS, 2016; NEVES, 2016; OTENG-ABABIO, 2012; ZHEN-SHAN *et al.*, 2009; WANG, HAN e LI, 2008).

O Movimento Nacional dos Catadores, que articula e representa a categoria dos trabalhadores com materiais recicláveis no Brasil, é considerado o maior movimento de recicladores do mundo (MEDINA, 2007). Tal fato também pode ser refletido no interesse por publicações acerca do tema. Como demonstrado na Figura 2.13, o Brasil é o país com o maior número de artigos publicados sobre este assunto, assim como também é grande o número de artigos advindos de outros países em desenvolvimento.

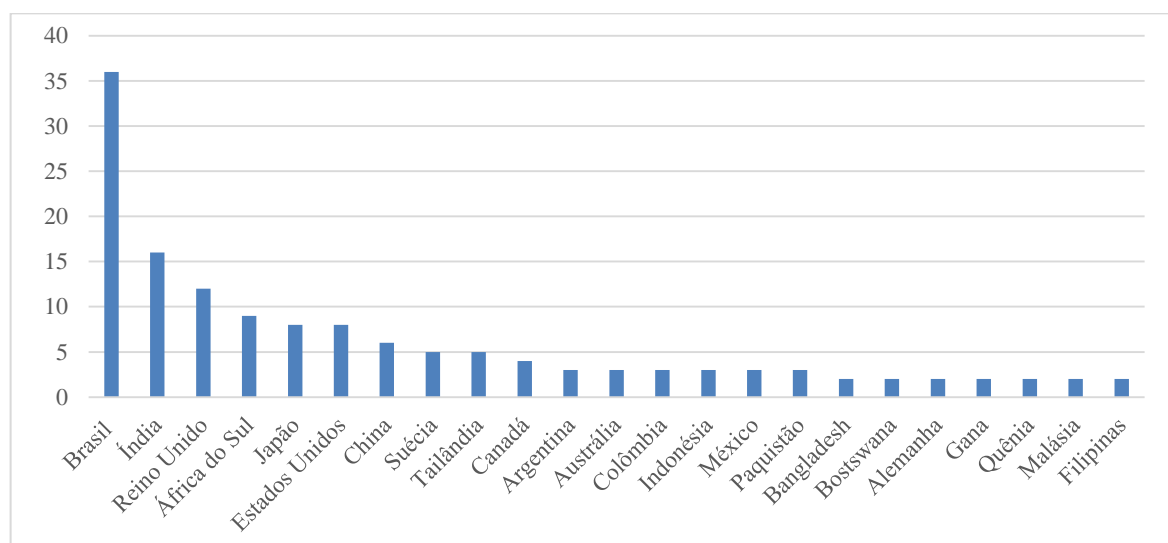


Figura 2.13: Principais países com artigos sobre Catadores de Materiais Recicláveis.

Fonte: Próprio autor.

Para esta presente pesquisa foram utilizadas as bases *Scopus*, *Emerald* e *Web of Science*. Foram encontrados no total 126 artigos na *Scopus* e 5 em cada uma das outras bases. De acordo com o *framework* apresentado em Oliveira, Lima e Montevechi (2016), deve-se primeiramente verificar se há duplicatas nos artigos e acesso aberto à eles, posteriormente, faz-se necessário ler os resumos e palavras-chave dos restantes para identificar dessa maneira se são relevantes

ou não. Foram encontrados 57 artigos potenciais para a revisão bibliográfica, como mostra a Figura 2.14.

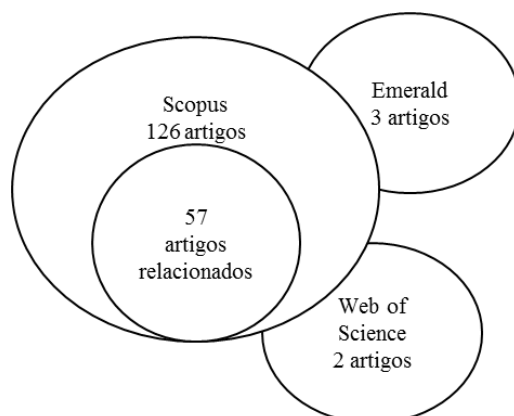


Figura 2.14: Total de 57 artigos potenciais para a revisão bibliográfica da pesquisa.

No intuito de estabelecer alguns critérios para inclusão destes artigos, seis tópicos foram introduzidos como itens de escolha, e, se um artigo apresentasse mais de dois itens, seria incluído na revisão bibliográfica. Foram no total selecionados 42 artigos, que atendiam aos critérios demonstrados no Quadro 2.4.

Quadro 2.4: Critérios utilizados para inclusão de artigos na revisão bibliográfica

Autores	Associações catadores / Produtiv.	GRSU / Destinação final RSU	Materiais/ Preço de venda de recicláveis	Cadeia / Intermed.	LR / Transporte de recicláveis	Modelagem / Cenários
Coletto e Bisschop (2017)	X	X		X		
Gutierrez et al. (2017)	X	X	X			
Rebehy et al. (2017)	X	X		X	X	X
Simatele, Dlamini e Kubanza (2017)	X	X		X		
Asim, Batoool e Chaudhry (2012)	X			X		
Sabedot e Pereira Neto (2017)	X	X	X			
Steuer et al. (2017)	X		X	X	X	
Ghisolfi et al. (2017)		X		X	X	X
Almeida, Figueiredo e Dantas (2017)	X	X	X		X	
Dias (2016)	X	X		X		
Suthar, Rayal e Ahada (2016)	X	X		X		
Neves (2016)	X	X		X		
Rutkowski e Rutkowski (2015)	X	X	X	X		

Akhtar <i>et al.</i> (2015)		X	X	X		
Ferri, Chaves e Ribeiro (2015)	X	X	X	X	X	X
Sasaki e Araki (2014)			X	X		X
Besen <i>et al.</i> (2014)	X	X	X			
Diaz e Otoma (2014)	X				X	X
Campos, Fonseca e Morais (2014)		X		X	X	
Sasaki e Araki (2013)	X		X	X		
Tirado-soto e Zamberlan (2013)	X	X		X		
Oteng-Ababio (2012)	X	X		X		
Schenck e Blaauw (2011)	X		X	X		
Fergutz, Dias e Mitlin (2011)	X	X		X		
Jacobi e Besen (2011)	X	X		X		
Sembiring e Nitivattananon (2010)		X	X	X		X
Zhen-shan <i>et al.</i> (2009)	X	X	X			
Sánchez e Maldonado (2006)	X	X				X
Muttamara, Visvanathan e Alwis (1994)	X		X	X		
Santos <i>et al.</i> (2011)	X	X		X		
Pereira e Teixeira (2011)	X	X		X		
Ribeiro <i>et al.</i> (2014)	X		X	X		X
Rezende <i>et al.</i> (2013)	X		X			
Costa <i>et al.</i> (2012)	X	X	X			
Lima <i>et al.</i> (2015)	X					X
Fagundes, Amorim e Lima (2017)		X			X	
Sandhu, Burton e Dedekorkut-Howes (2017)		X		X		
Maccarini e Hernández (2007)	X	X				
Castilhos junior <i>et al.</i> (2013)	X	X				
Medina (2000)	X			X		
Freitas e Fonseca (2012)	X	X	X	X	X	
Parreira <i>et al.</i> (2009)	X		X			

Para destacar os artigos e autores nacionais, estes foram colocados em negrito no Quadro 2.4. Há de se dizer também que a revisão bibliográfica neste trabalho foi realizada para artigos científicos indexados, entretanto, também há, em detrimento da especificidade e aplicabilidade do tema, diversas outras fontes consultadas para a execução deste trabalho, como relatórios de instituições governamentais (IBGE, IPEA) e informações disponibilizadas por associações, teses e dissertações, artigos apresentados em congressos nacionais e internacionais e notícias veiculadas oficialmente em meio eletrônico.

2.3.2 Catadores de materiais recicláveis no Brasil

As estatísticas variam muito quanto ao contingente de catadores de materiais recicláveis no Brasil, porque em algumas avaliações os trabalhadores informais e sua produção não são contabilizados nas estatísticas oficiais (SABEDOT e PEREIRA NETO, 2017). A prova dessa discrepância está nos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) e de Freitas e Fonseca (2012). O primeiro, fundamentado nos dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, indica a existência de 70 mil catadores, e o segundo, com base nos dados do Movimento Nacional dos Catadores de Recicláveis, aponta em mais de um milhão catadores. Diante desse quadro diverso, Freitas e Fonseca (2012) sugerem a necessidade de um mapeamento de catadores com mais precisão no âmbito dos municípios brasileiros, que permitirá a real avaliação dos impactos ambientais e socioeconômicos decorrentes dessa atividade.

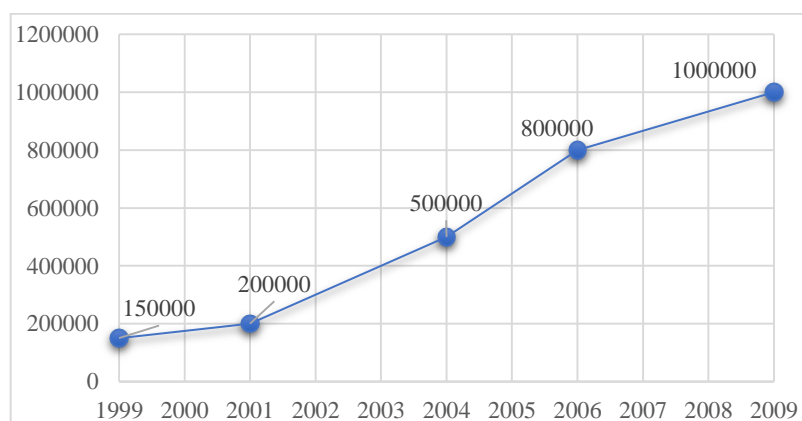


Figura 2.15: Evolução do número de catadores no país.

Fonte: Freitas e Fonseca (2012).

Ainda, esse contraste pode ter explicação no fato de que o levantamento realizado pelo IBGE tem duas características amostrais que podem excluir grande parte desses trabalhadores. A primeira é que, por ser domiciliar, o censo não atinge os que moram nas ruas e nos lixões e

têm na catação sua sobrevivência. A segunda característica amostral se refere ao procedimento auto-declaratório, que pode excluir grande parte dos catadores, pois esta é uma atividade que convive com outras atividades paralelas, ou até mesmo que se depara, muitas vezes, com o seu não reconhecimento como um trabalho. Outro fato também diz respeito à própria natureza desta ocupação, que, por ser marcada por uma forte informalidade, está sujeita às flutuações do ambiente econômico e da demanda por trabalho em outros setores (OLIVEIRA, 2015).

2.3.3 Associações de Catadores de Materiais Recicláveis

De acordo com o Sistema de Informações de Economia Solidária (SIES) em sua última edição, com dados de 2009 a 2012, haviam 692 empreendimentos de reciclagem no país, sendo sua maioria - mais de 80% - constituídos após 2001 (IPEA, 2013). Segundo estimativa realizada pelo CEMPRE (2013), calculou-se em R\$ 712 milhões o faturamento total com a coleta e venda de materiais recicláveis, ficando as cooperativas com a fatia de R\$ 56,4 milhões.

Com a finalidade de se aprofundar melhor nas características das associações de catadores, no Quadro 2.5, Damásio (2010) analisou uma série de variáveis socioeconômicas em 83 associações de todas as grandes regiões brasileiras com exceção da região Norte, entre os anos 2006 e 2009. Da mesma maneira, a composição das associações no país demonstradas na Figura 2.16.

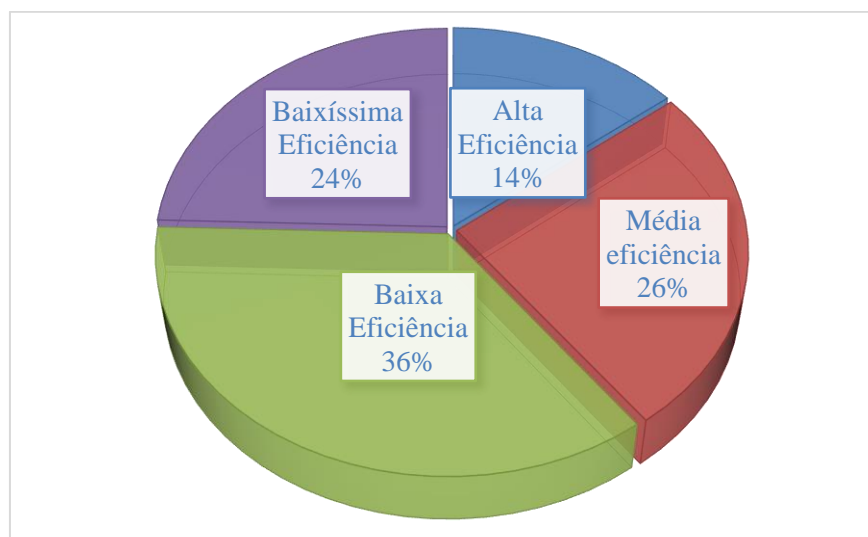


Figura 2.16: Classificação das associações de catadores.

Fonte: Adaptado de Damásio (2010).

Quadro 2.5: Grau de eficiência das associações de catadores e características.

Grau de eficiência	Características
Alta eficiência	Formalmente organizados em associações, com todos os equipamentos necessários (prensas, balanças, carrinhos e galpões próprios). Detêm um conjunto apreciavelmente elevado de conhecimentos adquiridos passíveis de difusão e verticalização da produção de materiais recicláveis, atuando como fornecedores de recicladoras.
Média eficiência	Formalmente organizados em associações, 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. Conseguem algumas vendas de materiais diretamente nas recicladoras.
Baixa eficiência	Grupos ainda em organização, contando com poucos equipamentos, mas precisando de apoio financeiro para a aquisição de quase todos os equipamentos necessários, além de galpões próprios. Vendem produtos geralmente para atravessadores. Detêm pouco capital e necessitam de forte apoio para treinamento e aprendizado de conhecimentos adicionais.
Baixíssima eficiência	Grupos desorganizados (em ruas ou lixões), sem possuírem quaisquer equipamentos e frequentemente trabalhando em condições de extrema precariedade para atravessadores. Necessitam de apoio financeiro para a montagem completa da infraestrutura de edificações e de equipamentos, para o aperfeiçoamento técnico e na organização de suas cooperativas.

Fonte: Adaptado de Damásio (2010).

Ainda segundo Damásio (2010), foi calculado qual seria a produtividade relativa das associações de acordo com sua eficiência. As faixas foram criadas com o rendimento em quilos para cada catador em um mês de trabalho, como demonstrado na Tabela 2.3.

Tabela 2.3: Produtividades relativas das associações de catadores de materiais recicláveis.

Eficiências Relativas	Faixas	Médias (kg)	Produtividade Relativas
Alta Eficiência	Acima de 1800 kg/cat./mês	2.293	8,9
Média Eficiência	Entre 1100 kg e 1800 kg/cat./mês	1.481	5,8
Baixa Eficiência	Entre 550 kg e 1100 kg/cat./mês	913	3,6
Baixíssima Eficiência	Abaixo de 550 kg/cat./mês	257	1,0

Fonte: Damásio (2010).

Parreira *et al.* (2009) comentam que a baixa produtividade nos empreendimentos associativos de reciclagem tem um efeito direto sobre as arrecadações das associações, implicando na baixa remuneração dos catadores e em dificuldades para fazer investimentos de melhorias no processo. Mais indiretamente, a baixa produtividade restringe a ampliação da coleta seletiva e, conseqüentemente, minimiza os benefícios potenciais da reciclagem para o meio ambiente. O faturamento das associações de catadores depende quase exclusivamente da

comercialização dos materiais (COLETTTO e BISSCHOP, 2017; SCHENCK e BLAAUW, 2011; SEMBIRING e NITIVATTANANON, 2010). Portanto, a baixa produtividade desses empreendimentos reflete diretamente na renda dos associados, o que, por sua vez, gera uma alta rotatividade de catadores nas associações. Os outros principais problemas relacionados com as associações de catadores estão apresentados no recente trabalho de Poletto *et al.* (2016), demonstrado no Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Principais problemas relacionados com as associações de catadores.

Problemas	%
Falta de assistência financeira	15,8
Mistura inapropriada de materiais para reciclagem	15,8
Falta de organização na associação	12,3
Dúvidas da população na separação dos RSU	12,3
Alta rotatividade de catadores na associação	12,3
Baixo preço dos materiais	7,0
Falta de união com outros catadores	7,0
Estrutura coberta do pavilhão	5,3
Mal- cheiro	3,5
Baixa Produtividade	3,5

Fonte: Poletto *et al.* (2016).

Uma realidade comum a todos os empreendimentos é a ausência de capital de giro que possibilite investir no processo de organização e comercialização. Esse fator é determinante sob alguns aspectos centrais, uma vez que é preciso manter o fluxo de comercialização com os compradores intermediários, mesmo que estejam sendo praticados baixos preços dos materiais. Isso se deve à necessidade imediata de entrada de recurso para garantir a retirada de renda dos catadores. Outra questão a se considerar a esse respeito é a falta de estratégia para trabalhar com a sazonalidade de alguns materiais, e, sem capital de giro, torna-se impossível formar estoque para atuar no mercado da reciclagem (DAMÁSIO, 2010).

Besen (2011) afirma que o apoio das prefeituras às organizações de catadores pode abranger equipamentos, galpões de triagem, pagamento de despesas como água e energia elétrica, caminhões, projetos de capacitação ou auxílio na divulgação e educação ambiental. Com relação aos problemas relativos ao volume de materiais, uma solução viável seria a articulação das cooperativas em redes, que permitiriam a obtenção de materiais e volumes compatíveis com as exigências das indústrias recicladoras, uma vez que para estas não é economicamente viável transportar baixos volumes de materiais oriundos de localizações diversas (CEMPRE, 2013).

2.3.4 Rendimento dos Catadores de Materiais Recicláveis

A grande maioria dos catadores não tem direitos trabalhistas. Dessa forma, muitos deles não trabalham apenas 44 horas úteis em uma semana, não possuem descanso semanal remunerado e férias anuais remuneradas, 13º salário e direitos de paternidade ou maternidade, entre outros (CASTILHOS JUNIOR *et al.*, 2013; IPEA, 2013). Em termos da remuneração auferida por esses trabalhadores, os dados do censo indicam que a renda média em 2010, segundo os próprios catadores, era de R\$ 571,56. Ressalte-se que o salário mínimo da época era de R\$ 510,00, ou seja, a renda média do trabalho de todo o universo desses trabalhadores no país superava o valor do salário mínimo em apenas 12%. Na Região Sudeste foi encontrado o maior valor médio do trabalho e apenas a Região Nordeste apresentou uma renda média do trabalho abaixo do valor do salário mínimo, demonstrado na Tabela 2.5.

Tabela 2.5: Rendimento médio do trabalho dos catadores (R\$).

Sul	Sudeste	Nordeste	Centro-Oeste	Norte
596,9	629,89	459,34	619	607,25

Fonte: Adaptado de IPEA (2013).

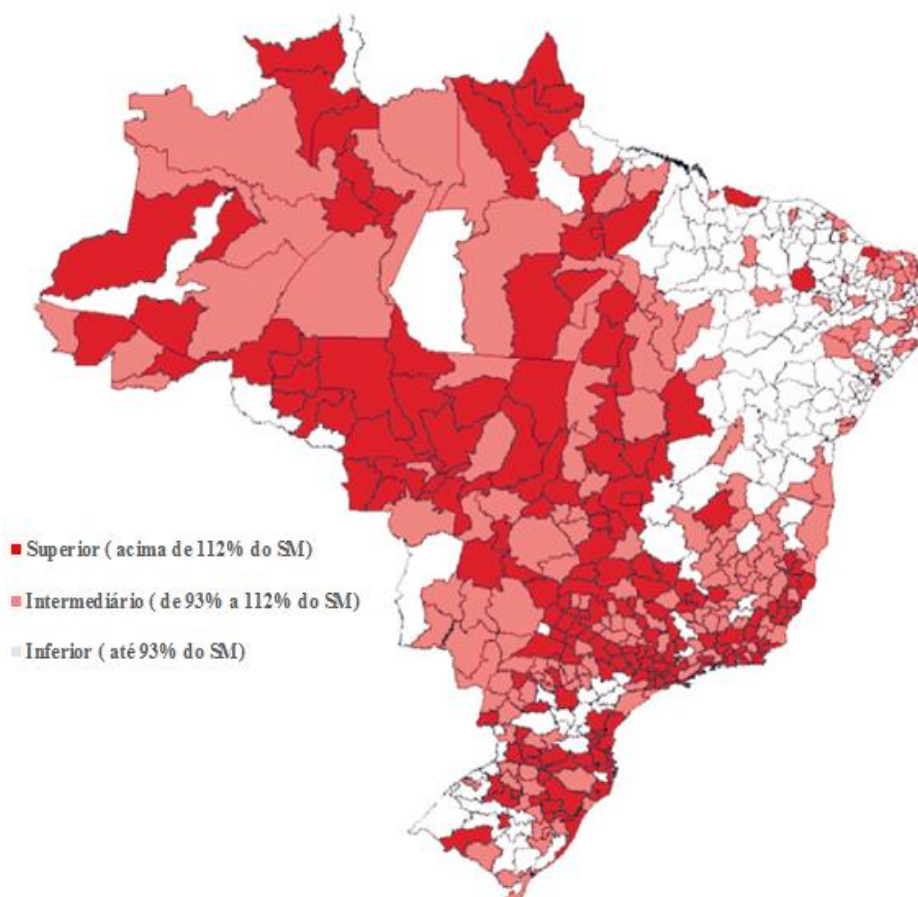


Figura 2.17: Rendimento médio do trabalho entre os catadores e microrregiões. Fonte: Adaptado de IPEA (2013).

Ao se fazer uma comparação entre as microrregiões brasileiras é ainda mais evidente as diferenças territoriais em torno do rendimento médio dos catadores. Nota-se na Figura 2.17 que além da Região Nordeste, a parte norte de Minas Gerais e o sul do Rio Grande do Sul também apresentam grande incidência de microrregiões com rendas inferiores.

Alguns outros autores também citam em seus trabalhos o rendimento médio dos catadores em outros países do mundo. Pode-se perceber na Tabela 2.6 que os rendimentos dificilmente ultrapassam os US\$ 218,00, ou seja, não passam de R\$ 700,00 por mês.

Tabela 2.6: Rendimento médio dos catadores segundo alguns autores.

Autores	Média rendimentos mês/ média (US\$)
Sasaki e Araki (2013)	218,4
Almeida, Figueiredo e Dantas (2017)	144,6
Diaz Otoma (2014)	153,0
Asim, Batool e Chaudhry (2012)	100,0
Wang, Han e Li (2008)	112,0

Devido ao nível de complexidade dos processos envolvidos na GRSU, ferramentas de gerenciamento que permitam estudos sistêmicos são valiosos ativos na avaliação de mudanças em organizações (LIMA *et al.*, 2015). É nesse contexto que a Modelagem e Simulação pode auxiliar na tomada de decisões em associações como as de catadores de materiais recicláveis, e portanto, é apresentado no próximo tópico deste presente trabalho.

2.4 Modelagem e Simulação

2.4.1 Definições e características

Modelagem, de forma geral, é a elaboração de um modelo para a representação de algum sistema ou processo. Segundo Trivelato (2003), um modelo é a representação do conhecimento e a principal ferramenta para o estudo do comportamento de sistemas complexos. O mesmo autor também demonstra a importância da modelagem como sendo o primeiro passo para a análise de um sistema de qualquer natureza e sob qualquer aspecto. Para Morabito e Pureza (2010), o aspecto mais importante de um modelo é a sua facilidade em comparado à realidade, ou seja, se o modelo é de fácil visualização e se pode ser bem comparado com o sistema real. Quando o modelo é uma representação válida de um sistema, informações significativas podem ser retiradas sobre sua dinâmica ou seu desempenho (TRIVELATO, 2003).

Segundo Banks (1998), a simulação é a imitação de um processo ou sistema do mundo real ao longo do tempo. Ela envolve a criação de uma história artificial e a observação desta

história para se fazer inferência sobre as características da operação do sistema da qual se está representando. Para Montevechi *et al.* (2007), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde seu comportamento pode ser estudado sob diversas condições, sem riscos físicos ou altos custos envolvidos. Chwif e Medina (2010) também definem o que é simulação, mas através de um caminho inverso. Os autores afirmam que a simulação mostra o comportamento dentro de um intervalo de confiança de um sistema e isso não significa dizer que é uma bola de cristal, predizendo o futuro. Além disso, simulação não é exclusivamente um modelo matemático ou de otimização, ela necessita do raciocínio humano para sua construção e também para tomada de decisão. A Simulação é uma das técnicas mais utilizadas na Pesquisa Operacional (PO).

Segundo Banks *et al.* (2009), inúmeras são as vantagens proporcionadas pela simulação, embora esta também apresente algumas desvantagens. Montevechi *et al.* (2008) afirmam que, se comparada a modelos matemáticos, as vantagens proporcionadas pela Simulação a Eventos Discretos (SED) são enormes no que diz respeito à sua conceituação de fácil compreensão e à possibilidade de comparação entre o sistema real e o modelo virtual. Para Law e Kelton (2000), possivelmente uma das maiores vantagens do uso da simulação seja a de prover aos tomadores de decisão uma visão ampla de todo o sistema. As principais funções e vantagens do uso da simulação podem ser resumidas da seguinte maneira (BANKS *et al.*, 2009; LAW e KELTON, 2000; ROBINSON, 2004; OLIVEIRA, 2010, BRITO, 2011):

- Novos projetos de equipamentos, definições de *layouts* e sistemas de transportes podem ser testados via simulação sem consumo de recursos ou aquisição dos equipamentos propriamente ditos.
- É possível entender as interações do sistema - ao entender o papel de cada variável separadamente é possível separar os parâmetros controláveis dos que não são controláveis e analisar a influência de cada um deles.
- Há a possibilidade de melhor preparação para mudanças: respondendo as questões “o que aconteceria se”, cria-se uma situação desejável tanto para desenvolvedores de novos sistemas quanto ao reprojetado de sistemas já existentes;
- Existe a condição de estudar um sistema por um longo período de tempo em um tempo relativamente curto;

- Novas possibilidades: uma das grandes vantagens da simulação, uma vez que se tenha um modelo de simulação validado, é a possibilidade de explorar novas políticas, processos operacionais, ou métodos, sem uma experimentação direta no sistema real, o que certamente envolveria maiores custos;
- Construção de um consenso: é possível, com a simulação, evitar inferências feitas para aprovar ou reprovar projetos, pois estas podem ser simuladas e seus efeitos demonstrados. Além disto, tendo um modelo testado, validado e visualmente representado, torna-se mais fácil aceitar os resultados da simulação do que a opinião isolada de uma pessoa.

Contudo, como qualquer outra ferramenta de gestão e dependendo do caso específico, a simulação apresenta algumas limitações e desvantagens listadas na literatura. De acordo com Oliveira (2010), Law e Kelton (2000), Banks et al. (2009), são elas:

- Custo com a aquisição de novos *softwares*. Adicionalmente, a construção de um modelo de simulação requer, por parte do modelador, treinamento especial em *softwares* diferentes e conhecimento de linguagem da programação;
- Necessidade de uma quantidade significativa de dados para preencher alguns modelos de maneira satisfatória;
- Necessidade de dados confiáveis, que pode tornar o processo demorado e os resultados, às vezes, questionáveis, levando os tomadores de decisão a conclusões erradas baseadas em evidências insuficientes;
- Os resultados da simulação podem ser de difícil interpretação devido à sua aleatoriedade;
- O modelo precisa ser validado, e caso não represente adequadamente o sistema real, as informações que forem provenientes deste não possuirão utilidade;
- Cada rodada de um modelo de simulação produz somente estimativas da verdadeira característica do modelo para um limitado conjunto de parâmetros de entrada. Assim, serão necessárias várias rodadas independentes para cada conjunto de parâmetros a serem estudados.

Além de ficarem atentos às desvantagens, para minimizá-las, os usuários de SED devem reduzir a complexidade do sistema simulado sem que haja perdas à utilidade do modelo,

conforme destaca Brito (2011). O autor alerta que é impossível representar 100% de um sistema real em um modelo computacional devido às várias relações internas e externas de seus componentes. Existem diversas classificações para as simulações, sendo que alguns autores as classificam de acordo com algumas de suas características, demonstrado no Quadro 2.6. O modelo do presente trabalho é dinâmico, haja vista que utiliza dados que variam conforme o tempo ao longo de um ano. O modelo é estocástico, pois descreve um sistema que varia no tempo de forma aleatória com dados randômicos, em um espaço de amostragem comum. Há necessidade da utilização de um computador e por fim, o presente trabalho utiliza a SED, já que esta é capaz de representar sistemas mais complexos como os sistemas de Logística Reversa. As classificações deste trabalho estão em negrito.

Para Law e Kelton (2000), a SED está preocupada com a modelagem de um sistema através de uma representação na qual as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos distintos no tempo, a partir da ocorrência de eventos. A SED tem sido utilizada de forma crescente para auxiliar à tomada de decisão, que por meio de modelagem, análise e projetos de sistemas, permite visualizar o impacto de mudanças de parâmetros no desempenho de diferentes sistemas (BANKS *et al.*, 2009; SARGENT, 2011; CHWIF e MEDINA, 2010).

Quadro 2.6: Tipos de simulação de acordo com referidos autores.

Bateman <i>et al.</i> (2013)	Modelo Estático	O estado do modelo não muda em relação ao tempo.
	Modelo Dinâmico	O estado do modelo é decorrente de segundos, horas, dias e meses simulados no relógio de simulação.
Law e Kelton (2000).	Determinísticos	Os dados assumem valores determinados e não probabilísticos (randômicos)
	Estocásticos	Descreve sistemas que variam no tempo de forma aleatória, em que os dados randômicos são definidos sobre um espaço de amostragem comum.
Chwif e Medina (2010)	Computacional	Aquela que necessita de um computador para ser realizada.
	Não-computacional	Aquela em que não é necessário um computador para ser realizada.
Chwif e Medina (2010)	Simulação algébrica, numérica ou analítica	Usam técnicas de cálculo avançado para representar um processo ou sistema, com respostas mais exatas. De difícil construção.

Tomando-se como referência os anais do *Winter Simulation Conference* (WSC), Banks *et al.* (2009) e Hillier e Lieberman (2010) apresentam algumas categorias particularmente

importantes de aplicações da simulação. Entre as principais categorias, destacam-se: projeto e operações em manufatura, gerenciamento de projetos e construção civil, logística, *supply chain* e redes de distribuição, administração do sistema de estoque, modelagem de transporte e tráfego, análise de riscos, aplicações médicas, aplicações militares e aplicações nas mais diversas áreas de serviços, tais como: serviços governamentais, bancos, hotelaria, restaurantes, instituições educacionais, entre outros. A SED aplicada à gestão dos resíduos sólidos com a inclusão de sistemas de reciclagem e atuação de catadores é uma área ainda com poucas aplicações.

2.5 Logística Reversa ou Simulação com Inclusão de Catadores

Para um entendimento específico sobre o ambiente estudado nesta pesquisa e definição do sistema real a ser modelado, foram relacionados alguns trabalhos cuja problemática se dá em torno da LR com a inclusão de catadores no estudo, dentre eles destacam-se:

- **Ghisolfi *et al.* (2017):** analisam a estrutura da LR de equipamentos elétricos e eletrônicos envolvendo a integração de catadores na responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos. Este trabalho tenta medir o impacto de incentivos legais e o poder de barganha obtido no volume de resíduos coletados com a efetiva formalização dos catadores.
- **Gutierrez *et al.* (2017):** identificam os destinos dados para o lixo eletroeletrônico da Prefeitura Municipal de Belém - PA, por meio de observações diretas e entrevistas semiestruturadas com catadores de lixo, associações e cooperativas de catadores de lixo.
- **Ferri, Chaves e Ribeiro (2015):** propõem uma simulação da rede de Logística Reversa envolvida na GRSU do município de São Mateus, seguindo os requisitos legais da PNRS. O trabalho pretende verificar a viabilidade de instalações de recuperação de material como pontos intermediários entre os geradores de resíduos e as recicladoras, utilizando a participação de associações de catadores.
- **Demajorovic, Augusto e Souza (2016):** demonstram os principais desafios e oportunidades para a implementação do modelo de LR para computadores e telefones celulares no Brasil. Concluem que lacunas tecnológicas na reciclagem de resíduos eletrônicos, e, conflitos entre as organizações de recicladores e a indústria, são estes os maiores desafios para o sucesso do modelo brasileiro.

- **Campos, Fonseca e Morais (2014):** discutem a implementação da responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, operacionalizados através do sistema de LR de equipamentos elétricos e eletrônicos (EEE), com a responsabilidade social e econômica de incluir os catadores na cadeia de reciclagem. Os autores relatam que ainda não foi encontrado nenhum passo concreto nessa direção e que é importante estruturar um modelo de gestão com base na criação de uma rede - Rede 5Rs - que permita Repensar, Recusar, Reduzir, Reutilizar e Reciclar os resíduos gerados ao longo do ciclo de produção de EEE no país.

Da mesma maneira, há a inclusão dos trabalhos que utilizam algum tipo de simulação no trabalho dos catadores de materiais recicláveis, dentre eles:

- **Diaz e Otoma (2014):** desenvolvem um projeto de simulação que calcula os custos de separação de RSU no Peru, variando a distância de usinas recicladoras, a contribuição da sociedade peruana na reciclagem e, bem como, a produtividade dos catadores de materiais recicláveis. O trabalho enfoca que o trabalho dos catadores reduziu em 15% a geração total de RSU no país. Por fim, destaca a falta de metodologias ao empregar o trabalho do setor informal da reciclagem, que segundo os autores, é muito desorganizado nos países emergentes.
- **Sanchez e Maldonado (2006):** tentaram integrar o papel dos catadores em um dinâmico modelo de produção, consumo e recuperação dos principais materiais recicláveis. Uma simulação numérica é realizada para avaliar o impacto de uma taxa aplicada no descarte de materiais pela população, avaliando a vida útil dos aterros e a economia de recursos naturais.
- **Ribeiro *et al.* (2014):** este estudo baseou-se no volume físico de material reciclável de uma amostra de 33 cooperativas de catadores da Região Metropolitana do Rio de Janeiro, bem como na modelagem de insumo-produto para simular os impactos propiciados pela reciclagem sobre a economia fluminense.
- **Lima, Lima e Silva (2012):** utilizam um Sistema de Informações Geográficas (SIG) como ferramenta para a roteirização do sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos. Foram simulados no SIG cenários de roteirização nos setores de coleta da cidade de Itajubá - MG, buscando avaliar a qualidade das rotas

atuais e possíveis cenários de melhoria. Há a minimização da distância utilizada em percursos e, conseqüentemente, também há a redução dos custos envolvidos no processo.

- **Lima *et al.* (2015):** este artigo apresenta um estudo de modelagem que utiliza mapeamento de processos e SED, onde um processo de coleta de RSU foi avaliado. O estudo foi realizado na Associação de Catadores de Materiais Recicláveis de Itajubá, ACIMAR, mesmo objeto de estudo desta presente pesquisa. A falta de processos padronizados na associação impôs dificuldades para desenhar o modelo de simulação, e para diminuir esse problema, três modelos conceituais de mapeamento (SIPOC, fluxogramas e IDEF-SIM) foram utilizados.

2.6 Análise a partir da Fundamentação Teórica

A partir da fundamentação teórica realizada, alguns aspectos puderam ser considerados para a continuidade e desenvolvimento desta pesquisa:

- Verificou-se a crescente importância dos assuntos pesquisados relacionados aos catadores de materiais recicláveis nos últimos dez anos no Brasil e em outros países, sobretudo, emergentes;
- Verificou-se que maioria dos artigos e trabalhos acadêmicos citavam como problema inerente ao setor dos catadores a sua informalidade e, conseqüentemente, a baixa renda dos trabalhadores. O estudo mais abrangente feito no Brasil sobre os catadores de materiais recicláveis e renda é o de Damásio (2010). O estudo será comparado nas conclusões finais com os resultados obtidos nas análises dos cenários desta pesquisa.
- Os trabalhos voltados aos catadores de materiais recicláveis são em sua maioria trabalhos descritivos, com pouca ou quase nenhuma simulação envolvida. Os trabalhos apresentam a situação dos catadores em diferentes países e até chegam a propor algumas soluções para grande parte de seus problemas, no entanto, trabalhos que envolvam simulações e análise de diferentes cenários são raros. Pode-se citar os trabalhos de Diaz e Otoma (2014), Ribeiro *et al.* (2014) e Sanchez e Maldonado (2006) como sendo relevantes na parte de Modelagem e Simulação, principalmente quando se considera a administração pública. Existem trabalhos que usam a Modelagem e Simulação diretamente dentro das

associações de catadores de materiais recicláveis, sendo estes mais semelhantes à presente pesquisa, dentre estes trabalhos estão o Lima, Lima e Silva (2012) e Lima *et al.* (2015). Na conclusão desta pesquisa estes trabalhos também estão comparados com os resultados obtidos nas análises de cenários.

3. MÉTODO DE PESQUISA

Neste capítulo se apresenta o método empregado para execução desta pesquisa. O método de pesquisa utilizado é a Modelagem e Simulação, e, neste caso, há o emprego da Simulação a Eventos Discretos. As etapas do processo de simulação utilizaram a estrutura apresentada por Montevechi *et al.* (2010), onde há três fases: concepção, implementação e análise. Estas respectivas etapas estarão representadas nos capítulos 4, 5 e 6 seguintes.

3.1 Classificação da Pesquisa

O método de pesquisa é um conjunto de atividades sistemáticas e racionais que orientam a geração de conhecimentos válidos, indicando um caminho a ser seguido. Isto consiste na aplicação de procedimentos e técnicas que devem ser observadas para construção do conhecimento, com o propósito de comprovar sua validade e utilidade nos vários âmbitos da sociedade (MARCONI e LAKATOS, 2002; PRODANOV e FREITAS, 2013). Assim, seu estudo possibilita ao pesquisador identificar, dentre outros, a abordagem de pesquisa a ser adotada, escolher os instrumentos de coleta de dados e, planejar procedimentos de tratamento e análise dos dados (VILAÇA, 2010).

Como parte dos procedimentos metodológicos, uma pesquisa pode ser classificada e identificada de diferentes maneiras. Uma forma clássica, e adotada neste trabalho, de classificar as pesquisas científicas é mostrada na Figura 3.1. De acordo com Barros e Lehfeld (2000), a pesquisa aplicada tem como motivação a necessidade de produzir conhecimento para aplicação de seus resultados com a finalidade prática. Por esta razão, esta pesquisa se demonstra como aplicada, já que se acredita na finalidade prática que o modelo proposto irá proporcionar ao analisar alternativas e cenários de pesquisa que possam aumentar a renda anual de uma associação de catadores de materiais recicláveis.

Segundo Morabito e Pureza (2010), a pesquisa descritiva analisa modelos quantitativos tentando entender o processo modelado ou explicar suas características. No presente trabalho há uma descrição da rede reversa da reciclagem de materiais recicláveis, assim como também há a descrição do relacionamento das variáveis presentes no modelo e suas influências. Já uma pesquisa quantitativa, tem como principal característica capturar as evidências por meio da mensuração das variáveis, segundo Martins (2010). Tal característica está presente neste

trabalho, uma vez que os resultados dos cenários simulados serão dados por meio de valores quantitativos.

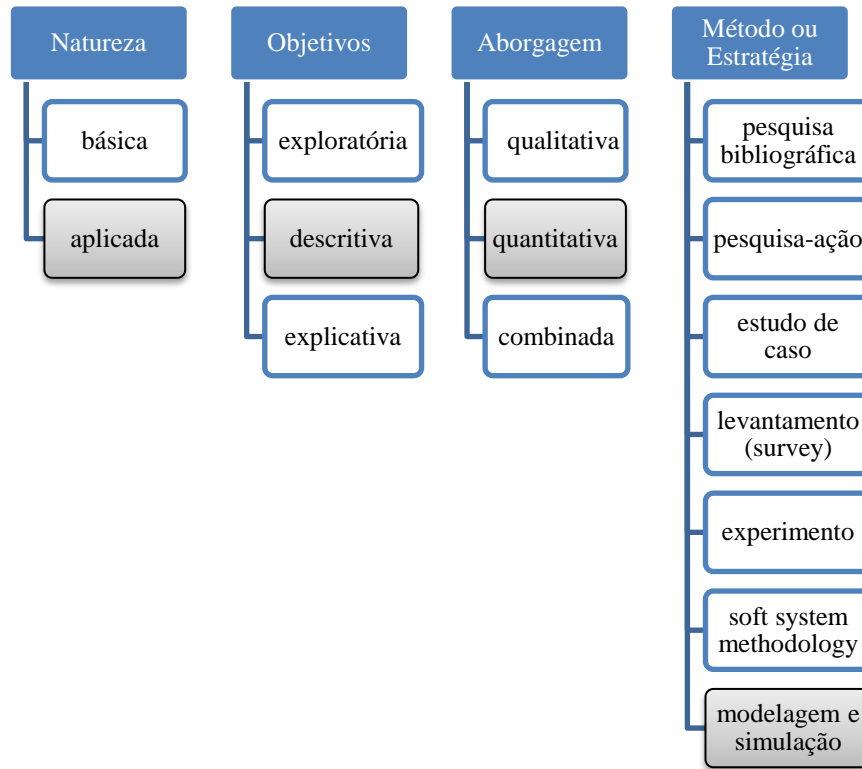


Figura 3.1: Classificação da presente pesquisa quanto às suas características.

Fonte: Adaptado de Oliveira (2015).

Por fim, para Martins (2010), a Modelagem e Simulação é um dos métodos mais apropriados para a realização de uma pesquisa quantitativa. Assim, conforme os objetivos e a forma de abordar o problema neste presente trabalho, a utilização da Modelagem e Simulação é pertinente já que esta analisa problemas reais e complexos com suporte de valores mensuráveis e realização de cenários.

3.2 Etapas de uma Pesquisa com Modelagem e Simulação

Costa (2010), ao analisar diferentes trabalhos sobre o assunto constatou que muitos dos métodos propostos se aproximam dos conceitos e da estrutura preconizada no trabalho de Mitroff *et al.* (1974), dentre eles cita-se o de Chwif e Medina (2010). A estrutura a ser utilizada no desenvolvimento deste trabalho é a proposta Montevechi *et al.* (2010), também inspirada em Mitroff *et al.* (1974), apresentado na forma de um fluxograma (Figura 3.2), que compreende três etapas principais: fase de concepção, com o desenvolvimento do modelo conceitual, fase

de implementação, com a criação do modelo computacional e por fim, análise, com o modelo operacional. Pode-se encontrar aplicações do método de Montevechi *et al.* (2010) em diversos trabalhos como: Maciel (2013), Rodrigues *et al.* (2012), Oliveira (2015) dentre outros.

3.2.1. Concepção do modelo

O primeiro passo é compreender o objeto de estudo a ser simulado e os objetivos a serem alcançados com o desenvolvimento da simulação. Na sequência, tem-se a construção do modelo conceitual, que segundo Robinson (2004), é um modelo que não necessita da linguagem de um *software* específico do modelo de simulação no qual será desenvolvido, mas sim descrevendo os objetivos, entradas, conteúdo, premissas e simplificações do modelo, sendo que a construção do modelo conceitual deve ser feita utilizando alguma técnica de modelagem. Para a construção do modelo conceitual será utilizado o *framework* proposto por Robinson (2008) especificamente nesta etapa.

De acordo com Montevechi *et al.* (2010), o principal problema que ocorre na fase de concepção do modelo é o uso de técnicas de modelagens que não têm como foco projetos de simulação. No presente trabalho será utilizada a técnica IDEF-SIM (*Integrated Definition Methods - Simulation*), por ser uma técnica mais apropriada para projetos como o uso da simulação (LEAL, ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008; MONTEVECHI *et al.*, 2014).

O próximo passo é a validação do modelo conceitual. Para Sargent (2011), a validação do modelo conceitual é definida como a determinação de que as teorias e suposições presentes no modelo conceitual estão corretas e que a representação da entidade problema é razoável para a finalidade do modelo. Por último, há a modelagem dos dados de entrada.

3.2.2. Implementação do modelo

Neste passo deve-se fazer a escolha do *software* a ser utilizado para a implementação computacional do modelo. Muito embora existam diversos *softwares* de simulação disponíveis, neste trabalho será utilizado o Promodel®, uma vez que sua flexibilidade de programação permite que seja utilizado para simular sistemas complexos de GRSU por exemplo.

Após a construção do modelo computacional, esse deve ser submetido a duas etapas importantes: a verificação e a validação. De acordo com Sargent (2013), a verificação visa assegurar que o programa computacional e sua implementação estejam corretos; já a validação do modelo computacional é a determinação de que o comportamento das saídas (*output*) do modelo simulado detém precisão satisfatória para representar a realidade. Técnicas estatísticas

devem ser utilizadas para mostrar que o modelo computacional, no seu domínio de aplicabilidade, se comporta com exatidão e consistência satisfatória com os objetivos do estudo, validando assim o objeto de estudo. (LEAL *et al.*, 2011). A verificação e validação do modelo computacional estão descritas no Capítulo 5.

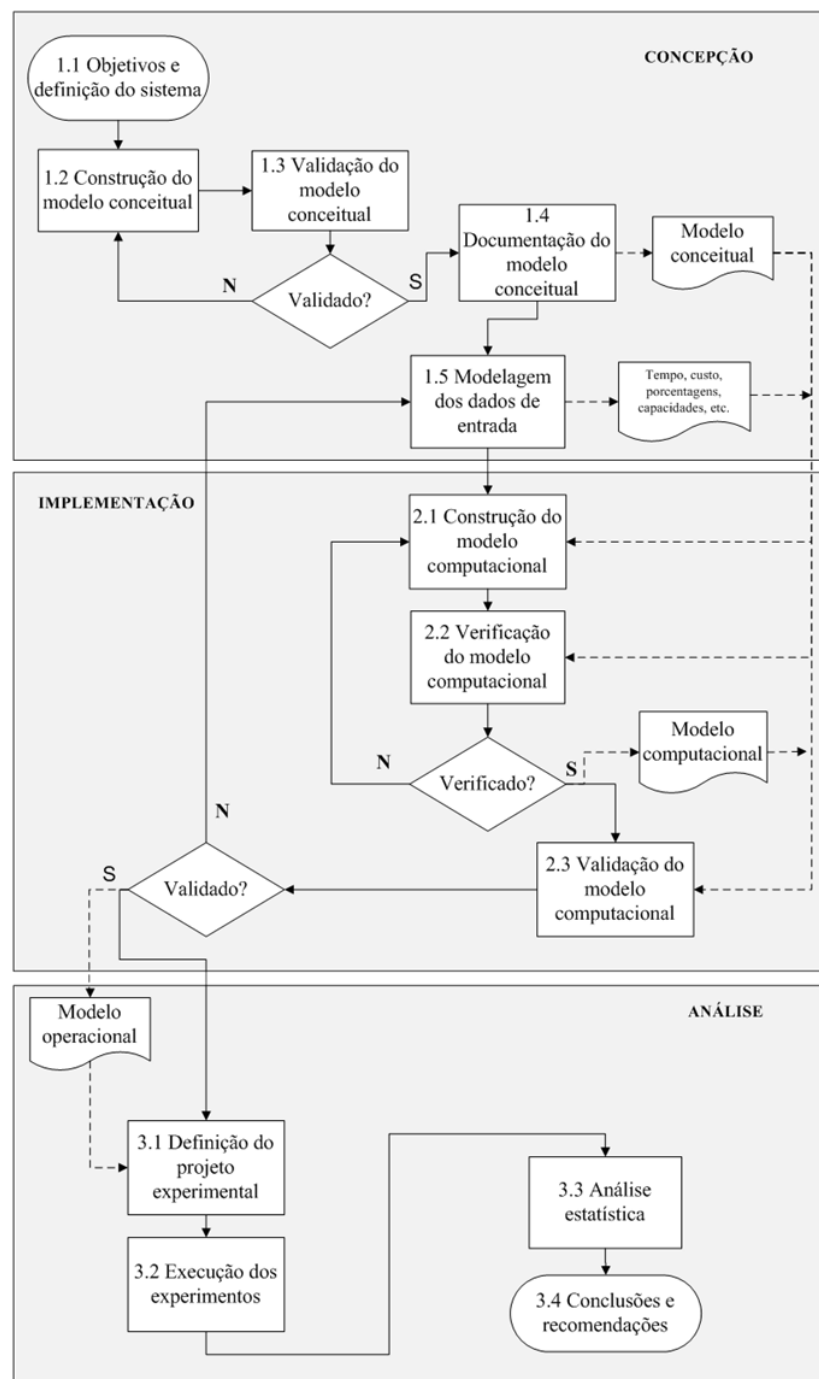


Figura 3.2: Etapas para um projeto de simulação propostas por Montevechi *et al.* (2010)

3.2.3. Análise do modelo

Na terceira e última etapa da Figura 3.1, o modelo computacional é utilizado para realização de experimentos, gerando assim o modelo operacional. Para Robinson (2004), uma vez desenvolvido o modelo, experimentações são realizadas para se obter um melhor entendimento do mundo real ou para encontrar soluções e tomar decisões acerca de problemas existentes. Neste trabalho são realizadas alterações nas variáveis de entrada do modelo para posterior análise dos resultados gerados nas variáveis de saída dos cenários criados na pesquisa (SARGENT, 2013; CHWIF e MEDINA, 2010).

4. CONCEPÇÃO

Este capítulo aborda a primeira etapa da estrutura apresentada por Montevechi *et al.* (2010), que é a etapa da Concepção. Este capítulo aborda a base para a construção do modelo conceitual a partir do sistema real. Também há a utilização de um *framework* proposto por Robinson (2008) para facilitar a visualização da modelagem conceitual afim de que esta possa ser amplamente implementada em outras configurações de redes de Logística Reversa, sobretudo em associações de catadores de materiais recicláveis. Em seguida é utilizada a técnica IDEF-SIM para compreensão e representação do sistema.

4.1 Objeto de Estudo

O objeto de estudo deste trabalho é a Associação de Catadores de Materiais Recicláveis, ACIMAR, em Itajubá, sul de Minas Gerais. A ACIMAR conta com 35 associados. Os associados trabalham sem carteira assinada, de segunda à sexta, em torno de 45 horas por semana.



Figura 4.1: Associados da ACIMAR no restabelecimento do convênio com a prefeitura municipal de Itajubá.

A associação conta com um caminhão emprestado pela secretaria de obras da prefeitura, que paga o motorista e o combustível utilizado nas rotas de coleta seletiva dentro da microrregião de Itajubá. A associação também não arca com os custos de eletricidade, água, telefone e internet, sendo estes custeados por um convênio firmado com a secretaria do meio ambiente municipal (SEMEA). O convênio, porém, não arca com despesas extras, como por

exemplo, o contador da associação e reparos e manutenções nos equipamentos. Nos últimos meses de 2016 e início de 2017, o convênio com a prefeitura foi cortado e a associação ficou sem como poder pagar seus compromissos. O convênio foi novamente restabelecido (Figura 4.1), porém, gerou certa desconfiança nos associados de que tal fato venha a ocorrer novamente no futuro e, por esta razão, os catadores precisam verificar as possibilidades de se manterem de maneira autônoma.



Figura 4.2: Caminhão de coleta seletiva com capacidade de 8 toneladas.



Figura 4.3: Galpão coberto da ACIMAR de 286 m² e estocagem de fardos. Ao fundo, o galpão menor de 125m².

A ACIMAR possui alguns equipamentos doados pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) e pela Prefeitura Municipal de Itajubá, dentre eles, duas prensas, um computador, uma empilhadeira, uma mesa para triagem e uma balança de pesagem. Todos eles estão localizados dentro de um galpão coberto de 286m², que também é utilizado para guardar os fardos que são perecíveis. Segundo a ABRELPE (2015), os fardos de papel, papelão e ELVs necessitam de um espaço coberto para seu correto armazenamento devido a sua fácil decomposição em razão das intempéries. Há, por fim, outras duas áreas cobertas, uma de 125m² em frente ao galpão maior e ao fundo da associação uma área com 63m², muito embora estas estejam sendo utilizadas como garagem do caminhão da coleta seletiva, depósito para o empilhamento de sucatas diversas, óleo vegetal e material eletrônico (Figura 4.3 e Figura 4.4).

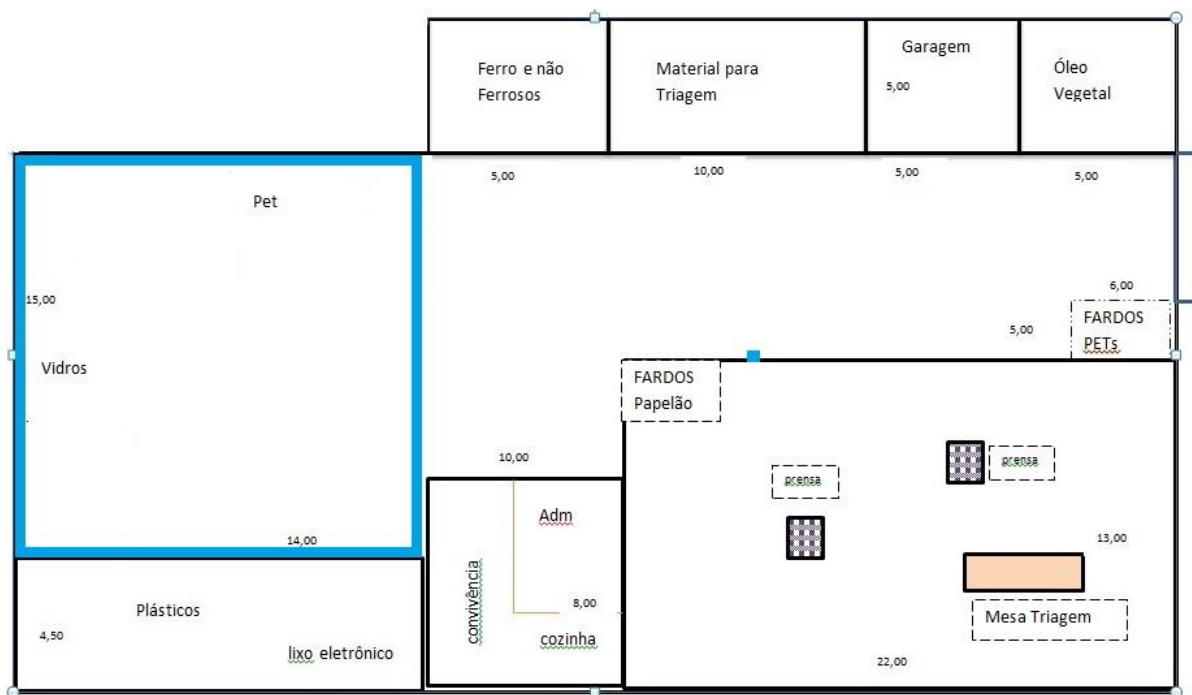


Figura 4.4: Layout da ACIMAR e área pretendida para reforma. Fonte: ACIMAR.

Percebe-se ainda na Figura 4.4 que a ACIMAR pretende reformar e aumentar a sua área coberta, demonstrada em destaque em azul. A nova área coberta pretende utilizar um espaço de 210m², praticamente dobrando o espaço do galpão maior, haja vista que este galpão utiliza certo espaço destinado às duas prensas, a mesa de triagem e a empilhadeira, como dito anteriormente.

Os rendimentos dos catadores da ACIMAR giravam em torno de R\$ 410,00 ao mês no início da operação da associação em 2014, passaram a R\$ 833,00 em média em 2015 e em maio de 2016 chegaram ao pico de R\$1325,00.

4.2 Framework para modelagem conceitual

Na etapa de Concepção proposta por Montevechi *et al.* (2010), não há a utilização de nenhum *framework* para se montar um modelo conceitual e, por esta razão, este presente trabalho utiliza o modelo proposto por Robison (2008), somente nesta primeira etapa, para melhor elaboração do modelo conceitual desta pesquisa.

Com base na compreensão do objeto de estudo o modelo conceitual é derivado. De acordo com Robison (2008), o modelo é apenas uma descrição parcial do mundo real, no entanto, é suficiente o bastante para resolver a situação problema ou objeto de estudo. Ainda segundo Robison (2008), o modelo conceitual é composto por quatro componentes principais: objetivos (da modelagem e gerais), fatores experimentais, respostas e o conteúdo do modelo. O modelo está apresentado na Figura 4.5 e, estes componentes estão melhor explicados nas subseções seguintes.

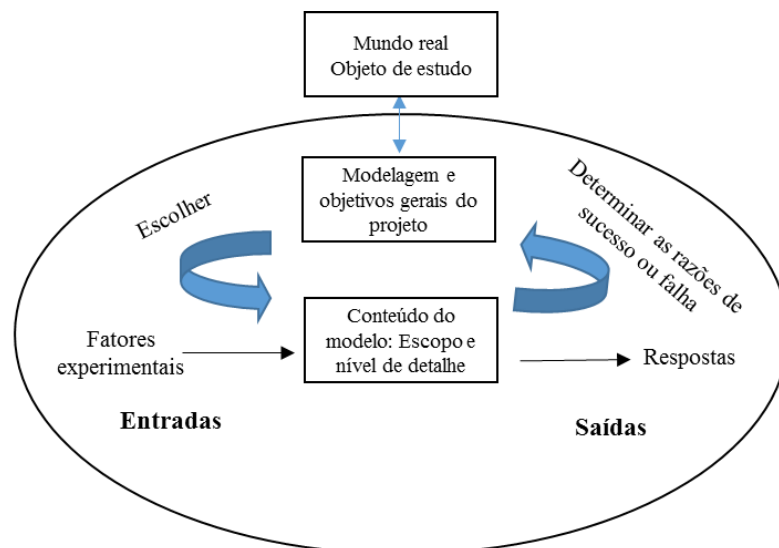


Figura 4.5: Modelo Conceitual de um Projeto de Simulação.

Fonte: Adaptado de Robison (2008).

4.2.1. Objetivos da Modelagem e Objetivos Gerais do Projeto

Robison (2008) define os objetivos da modelagem em três: resultado, desempenho e restrições. Em termos de desempenho, nosso modelo possibilita a criação de cenários alternativos que serão comparados entre si e entre o sistema real, buscando configurações que possam aumentar o rendimento médio dos catadores. Alguns destes cenários envolvem a estratégia de se armazenar somente fardos celulósicos nos galpões já existentes da ACIMAR, outros cenários envolvem a adoção de uma reforma que amplie o espaço coberto da associação,

outros cenários envolvem ainda a estratégia de trabalhar em conjunto com outras cidades da região do consórcio intermunicipal CIMASAS. A restrição que o modelo possui refere-se à quantidade de fardos celulósicos que a associação consegue armazenar em seus galpões cobertos, ou seja, o galpão maior de 286m² ou os galpões menores. As variáveis de saída do modelo estão melhor detalhadas no próximo tópico 4.2.2.

Em relação aos objetivos gerais do projeto de simulação, Robinson (2008) apresenta cinco pontos a se esclarecer:

1. Flexibilidade: o modelo apresenta flexibilidade baixa já que é mais apropriado para medir a realidade local da ACIMAR. Contudo, também pode ser adaptável para outras associações de catadores de materiais recicláveis se forem modificados alguns dos seus parâmetros.
2. Velocidade de Execução: alta para o modelo, rodando em torno de 1 minuto para cada cenário.
3. Exibição visual: exibição visual é boa e pode ser adaptável para diferentes configurações ou *layouts*. A interface gráfica em 2D também é útil para verificação e validação do modelo.
4. Facilidade de uso: é alta, já que é fácil a mudança de parâmetros no modelo construído.
5. Reutilização do modelo: é necessário conhecimento preliminar e específico para configurar novos cenários no modelo. É possível tentar reproduzir o modelo em outros *softwares* ou em outros objetos de estudo a partir da documentação da lógica utilizada, demonstrada na Figura 5.8 do Capítulo 5.

4.2.2. Fatores Experimentais, Respostas e Conteúdo

Após a definição dos objetivos do modelo, os próximos passos propostos são a identificação das entradas e saídas do modelo. Os fatores experimentais são as entradas do modelo, que podem ser alterados, para que objetivos de modelagem sejam atingidos (ROBINSON, 2008). No modelo aplicado os fatores experimentais são: taxa de chegada diária de cada material que é recolhido pela ACIMAR; preço de venda dos materiais para atravessadores e recicladoras e; distância das recicladoras.

Ainda para Robinson (2008), as respostas têm dois propósitos: identificar se os objetivos de modelagem estão sendo atingidos e apontar as razões pelas quais os objetivos não estão

sendo atingidos. Por essa razão, temos que as saídas do modelo que determinam a realização dos objetivos são: receita obtida com cada um dos principais materiais recicláveis anualmente, receita total anual, custo com transporte dos materiais pra venda nas recicladoras e custo com diárias de motoristas.

Para se determinar o conteúdo de um modelo, é necessário a identificação de quatro elementos aplicados por Robinson (2008), que são: as entidades, as atividades, as filas e os recursos. No Quadro 4.1, são executados e documentados os passos apresentados.

Quadro 4.1: Execução dos passos propostos construção do modelo conceitual.

Componente	Incluir/Excluir	Justificativa
<i>Entidades</i> Materiais Recicláveis que chegam (em kg)	Incluir	Entrada do modelo
<i>Atividades</i> Tempo triagem, prensagem ou enfardamento Tempo gasto no transporte Custos com manutenção da associação	Excluir Excluir Incluir	Não se aplica ao nível estratégico do modelo Não se aplica ao nível estratégico do modelo Fatores experimentais
<i>Filas</i> Fila de entidades antes de entrarem na ACIMAR	Incluir	Programação computacional no <i>software</i> Promodel® exige a inclusão de uma fila virtual.
<i>Recursos</i> Veículos de coleta seletiva Catadores, Motorista	Incluir Excluir	Restrições do modelo e criação de cenários. A inclusão não afeta a simulação, uma vez que não realizam tarefas com utilização de tempo. Somente seu custo será computado na simulação.

Fonte: Robinson (2008).












A partir destas informações, propõe-se, neste trabalho, a incorporação da técnica IDEF-SIM, acompanhando todas as etapas propostas na modelagem conceitual. Esta técnica representa esquematicamente o modelo já orientado à Simulação a Eventos Discretos e resulta em um documento que pode ser integrado ao *Framework* de Robinson, apresentando visualmente e esquematicamente o modelo conceitual.

4.3 Modelagem utilizando a Técnica IDEF-SIM

Alguns atores citam o termo modelagem, já outros citam o termo mapeamento. Neste presente trabalho será utilizado o termo modelagem. Segundo Fagundes, Amorim e Lima (2017) a modelagem é uma ferramenta essencial para que uma gestão seja feita de maneira adequada, sendo um dos primeiros passos a serem executados para visualização de uma organização. Através da modelagem é possível registrar o que está acontecendo e identificar pontos fortes e fracos do processo em análise (CHWIF e MEDINA, 2010).

O IDEF-SIM é utilizado neste trabalho pois apresenta adaptações de elementos lógicos de técnicas de modelagem já consagradas no *Business Process Modelling* (IDEF0, IDEF3 e Fluxograma), sendo muito mais apropriada para construção de modelos orientados especificamente para futura modelagem computacional (LEAL, ALMEIDA e MONTEVECHI, 2008; MONTEVECHI *et al.*, 2014). As informações obtidas na elaboração do modelo conceitual vieram de entrevistas semiestruturadas com integrantes da ACIMAR e constante observação do objeto do estudo. A simbologia utilizada por esta técnica é demonstrada no Quadro 4.2.

Quadro 4.2: Simbologia utilizada na técnica IDEF-SIM.

Elementos	Simbologia	Definição
Entidades		Itens que serão processados pelo sistema, neste caso, a quantidade em quilos de cada material reciclável que é coletado pela ACIMAR diariamente.
Funções		Locais onde a entidade sofrerá alguma ação. No modelo conceitual aparece como a ACIMAR, os atravessadores e respectivas indústrias recicladoras.
Recursos		São os elementos utilizados para executar funções ou movimentar as entidades. Neste caso, é o caminhão que a ACIMAR possui.
Controles		Regras utilizadas nas funções. No modelo conceitual proposto consta nas especificações da quantidade de quilos de cada fardo de materiais recicláveis, nos preços de venda dos materiais e nos lotes mínimos de compra delineado pelas recicladoras.
Regras para fluxos paralelos e ou alternativos	 Regra E  Regra OU  RegraE/OU	Definem qual de dois ou mais caminhos, após uma função, podem ser executados juntos (junção E), ou de forma alternativa (junção OU), ou permitindo ambas as regras (junção E/OU). A junção E não será necessária no modelo proposto.
Fluxo da Entidade		Direcionamento da entidade dentro do modelo.
Movimentação		Representa um deslocamento de entidade.
Fluxo de entrada no sistema modelado		Define a entrada ou criação das entidades dentro do modelo.
Ponto final do sistema		Define o ponto final de um caminho dentro do fluxo modelado.

Fonte: Adaptado de Leal, Almeida e Montevechi (2008).

Conforme se pode observar na Figura 4.6, as entidades de chegada são definidas como as taxas diárias, em quilos, de cada um dos principais materiais recicláveis que são coletados pela ACIMAR. Cada quilo dos seguintes materiais é uma entidade: um quilo de papel, de papelão, de embalagens longa vida (ELV), de politereftalato de etileno (PET), polietileno de alta densidade (PEAD) branco ou colorido, polietileno de baixa densidade (PEBD) colorido, de polipropileno (PP) branco ou colorido, de alumínio duro e de sucatas ferrosas. Estes materiais todos chegam primeiramente a uma fila, a uma “taxa i” de quilos por dia. O alumínio duro neste caso se refere a painéis e outros utensílios coletados pela ACIMAR. A associação não está

coletando quantidades razoáveis de latinhas de alumínio em 2017 por causa da ação dos catadores autônomos, que devido ao alto valor desse material o recolhem antes sequer do caminhão de coleta seletiva passar nos bairros pelas manhãs e, por esta razão, não estão incluídas na simulação.

Posteriormente, as entidades são encaminhadas para a ACIMAR e na associação são transformados em fardos, com exceção do alumínio duro e das sucatas ferrosas, já que estes não podem ser prensados. Cada fardo de diferentes materiais tem um peso determinado. Na ACIMAR também há uma restrição de capacidade de armazenamento dos fardos de papel, papelão e ELVs, porque segundo a ABRELPE (2015), estes fardos celulósicos necessitam de um espaço coberto para seu correto armazenamento devido a sua fácil decomposição. Após a transformação dos materiais em fardos, estes podem ser vendidos ora para atravessadores, ora diretamente para indústrias recicladoras da região.

Os fardos podem ser comprados por atravessadores, que oferecem transporte gratuito para o recolhimento destes materiais e também, nestes casos, não há necessidade de um lote mínimo de compra. Estes atravessadores pagam preços muito aquém das recicladoras, já que estes são intermediários na venda. É importante observar que cada grupo de materiais é vendido para atravessadores diferentes, sendo estes grupos divididos entre aqueles que compram materiais de celulose, outros que compram os plásticos, um outro grupo que compra o alumínio duro e por último, o grupo que compra as sucatas ferrosas. Para a venda destes materiais diretamente com as recicladoras, a associação tem que atingir um lote mínimo de 5000 quilos e, além disso, pagar pelo custo do transporte. Todas estas características do modelo conceitual estão demonstradas na Figura 4.6.

O próximo passo após a criação do modelo conceitual é a sua validação, que é o tema do tópico 4.4 seguinte.

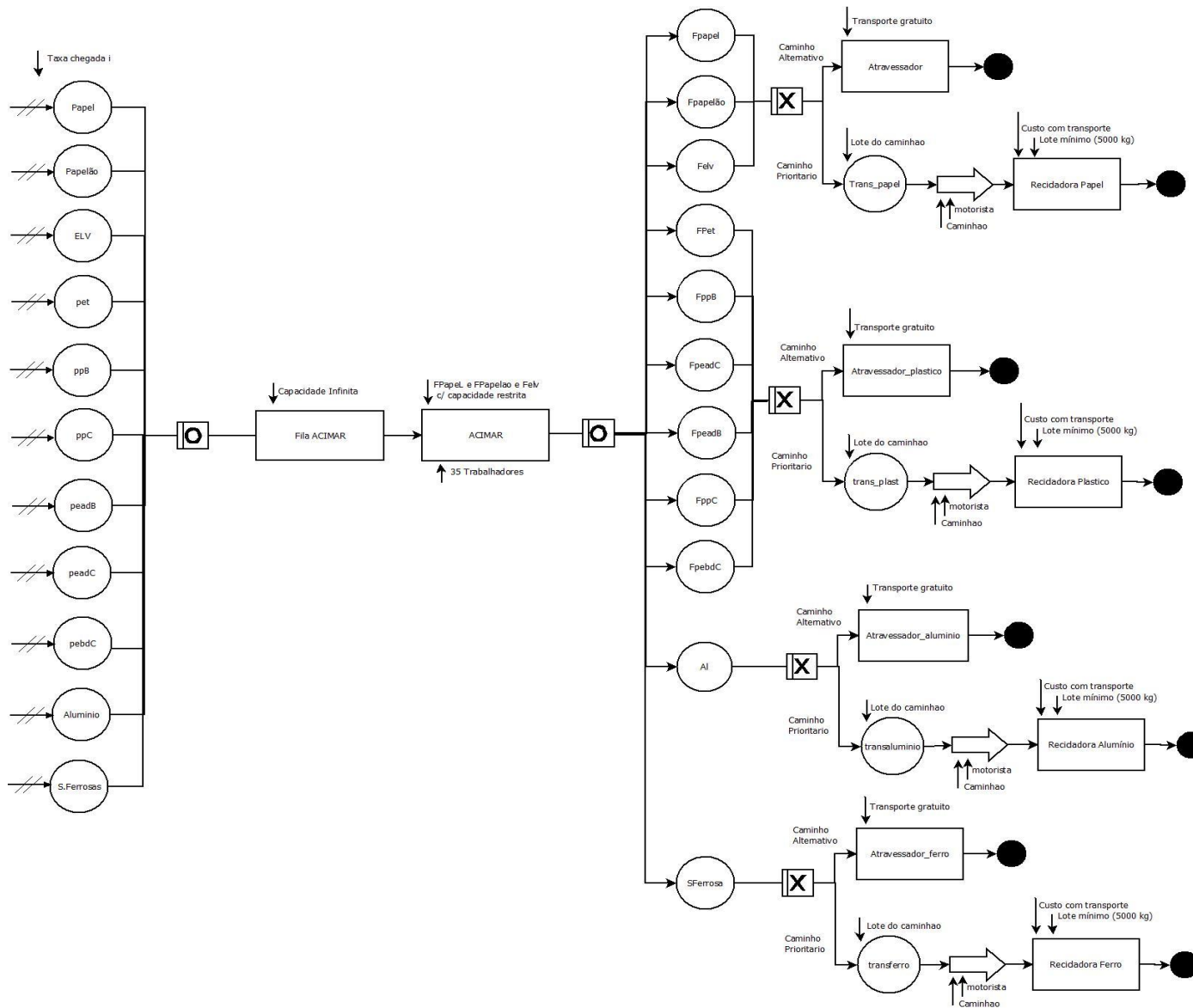


Figura 4.6: Modelo conceitual desenvolvido utilizando a técnica de modelagem IDEF-SIM.

4.4 Validação do modelo conceitual

Para se obter a validação do modelo conceitual, ou seja, garantir que o modelo represente satisfatoriamente o sistema simulado, a técnica de validação utilizada foi a da “face a face”. Nesta técnica, o pesquisador que construiu o modelo discute com quem atua diariamente no processo que será simulado e obtém a sua aprovação (CHWIF e MEDINA, 2010; SARGENT, 2013). A validação é uma etapa presente tanto no modelo conceitual quanto computacional (elaborado na sequência). O modelo conceitual demonstrado na Figura 4.6 foi visto pelo engenheiro ambiental responsável na gestão da ACIMAR à época e também pelos funcionários da associação. Os entrevistados não detinham conhecimentos de programação, no entanto, conseguiram visualizar com a ajuda do IDEF-SIM o sistema real representado.

4.5 Modelagem dos Dados de Entrada

Conforme a Figura 4.7, as entidades de chegada são definidas como as taxas diárias em quilos de cada um dos principais materiais recicláveis recolhidos pela ACIMAR. Estes 11 materiais foram escolhidos analisando tabelas de demonstração de vendas de 2015 e 2016, anos em que a associação começou a registrar de fato suas vendas. Dessa forma, os materiais que contribuíram com mais de 85% do total desta receita de vendas foram inseridos no modelo. Estes dados estão representados na Figura 4.7.

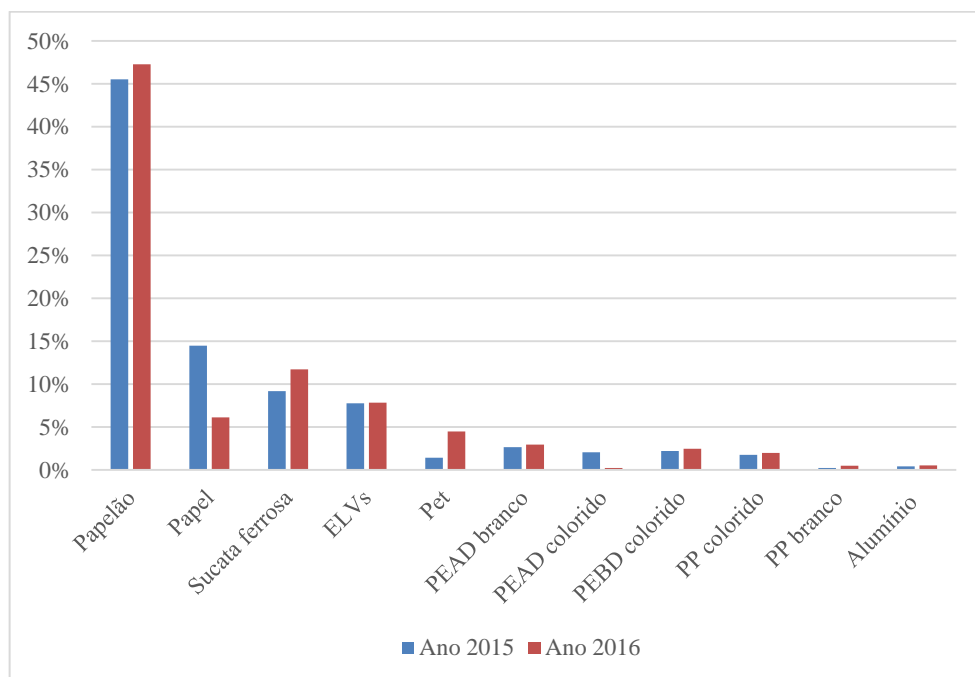


Figura 4.7 : Receita Total obtida com os principais materiais recicláveis que chegam à ACIMAR.

Fonte: Próprio autor.

Os dados foram obtidos em planilhas que demonstravam a receita total da ACIMAR, em razão da venda de cada material, nos anos de 2015 e 2016. Há muitos materiais diferentes que chegam ou são doados à ACIMAR, porém representam uma receita muito baixa e, por esta razão, não foram incluídos nesta pesquisa. Para melhor detalhar as categorias destas planilhas que foram utilizadas desenvolveu-se o Quadro 4.3. Este demonstra as categorias utilizadas dos arquivos que detalham as receitas totais anuais de cada material coletado pela ACIMAR em 2015 e 2016, arquivos estes que se encontram em anexo. Algumas categorias foram somadas a outras ou, até mesmo, reduzidas a uma única categoria, devido às inconsistências de alguns documentos encontrados no computador da ACIMAR. Desta maneira, as categorias são:

Quadro 4.3: Materiais e categorias utilizadas nesta pesquisa.

Material	Categorias utilizadas nos arquivos de receitas totais anuais de 2015 e 2016 (em anexo)
Papelão	Papelão liso + Papelão ondulado + Papelão cartão
Papel	Papel Branco
ELV	Longa Vida
PET	PET cristal + PET verde
PEAD Branco	PEAD Branco
PEAD Colorido	PEAD Colorido
PP Branco	PP Branco
PP Colorido	PP Colorido
PEBD colorido	PEBD colorido
Sucata Ferrosa	Sucata Ferrosa
Alumínio	Alumínio Duro

Os pesos médios encontrados por fardos estão presentes na Tabela 4.1. Estes valores foram anotados pelos integrantes da ACIMAR ao longo dos anos de 2015 e 2016 cada vez em que um fardo era vendido individualmente ou, na maioria dos casos, quando um grupo de fardos era vendido.

Tabela 4.1: Pesos médios dos fardos de materiais recicláveis na ACIMAR.

Materiais	Peso médio por fardo (kg)	Desvio Padrão
Papel	167,1	34,2
Papelão	254,4	34,5
ELVs	185,8	31,1
PET	96,2	10,6
PP branco	140,7	26,2
PP colorido	138,9	23,5
PEAD branco	139,0	14,8
PEAD colorido	118,2	5,1
PEBD colorido	134,2	7,1

Fonte: Próprio autor.

As taxas de chegada dos materiais foram calculadas também através das planilhas de vendas de fardos da ACIMAR. Foram consideradas as datas destas vendas, e a partir daí, o número de dias necessários para que os fardos fossem formados foi calculado. Dessa forma, dividindo-se o peso dos fardos dos materiais recicláveis pelo número de dias necessários até a data de sua venda se conseguiu obter a taxa diária de chegada, em quilos, para cada material. As taxas de chegada estão presentes na Tabela 4.2 e foram colocadas em forma de distribuições estatísticas.

Tabela 4.2: Taxas de chegadas diárias dos materiais na ACIMAR, em quilos/dia.

Material	Número de amostras	Distribuição encontrada	Função inserida no modelo (quilos/dia)
Papelão	15	Weibull	$265+W(3.54, 179)$
Papel	22	Triangular	$T(10., 10., 78)$
ELVs	10	Triangular	$T(3., 3., 22.1)$
PET	14	Beta	$B(1.44, 2.22, 2., 32.)$
PEAD branco	18	Triangular	$T(0., 2.52, 15.1)$
PEAD colorido	16	Pearson 5	$1.+P5(1.6, 4.9)$
PP colorido	18	Beta	$B(0.982, 1.47, 5., 37.)$
PP branco	10	Uniforme	$U(7., 5.)$
PEBD colorido	14	Inverse Weibull	$1.+W(2.1, 19.4)$
Alumínio	12	Triangular	$T(3.,3.2,8)$
Sucatas Ferrosas	12	Inverse Weibull	$80.+W(0.927, 81.3)$

Fonte: Próprio autor.

As distribuições foram calculadas usando o StatFit®, incluído no próprio Promodel®, sendo este um *software* específico para o cálculo destas distribuições de probabilidade em amostras aleatórias. O número de amostras variou de acordo com o número de fardos vendidos no período de 2015 e 2016. É importante observar que muitos fardos de um mesmo material tiveram suas vendas anotadas em um mesmo dia de uma só vez, como se fossem um grupo, e, isto, pode explicar o baixo número de amostras encontradas em alguns casos. As taxas de chegada do alumínio e das sucatas ferrosas foram calculadas não pelo número de fardos formados e sim somente pelos quilos vendidos à atravessadores da região, já que para estes materiais não há como serem prensados e formarem fardos.

A Figura 4.8 demonstra o cálculo da distribuição de chegada em quilos por dia do material “papelão” no *software* StatFit®, onde os 15 dados encontrados foram inseridos na esquerda e as distribuições de probabilidade encontradas para esta amostra demonstradas na tela a direita. Percebe-se ainda que há um *ranking* das distribuições que melhor se encaixam e também sua condição, isto é, se devem ser aceitas ou não. A Figura 4.8 demonstra ainda que

todas as distribuições encontradas poderiam ser aceitas, e, nesta presente pesquisa, foi utilizada a distribuição *Weibull* para o material papelão. Esta escolha se deu em detrimento de uma melhor visualização, por parte pesquisador, desta distribuição.

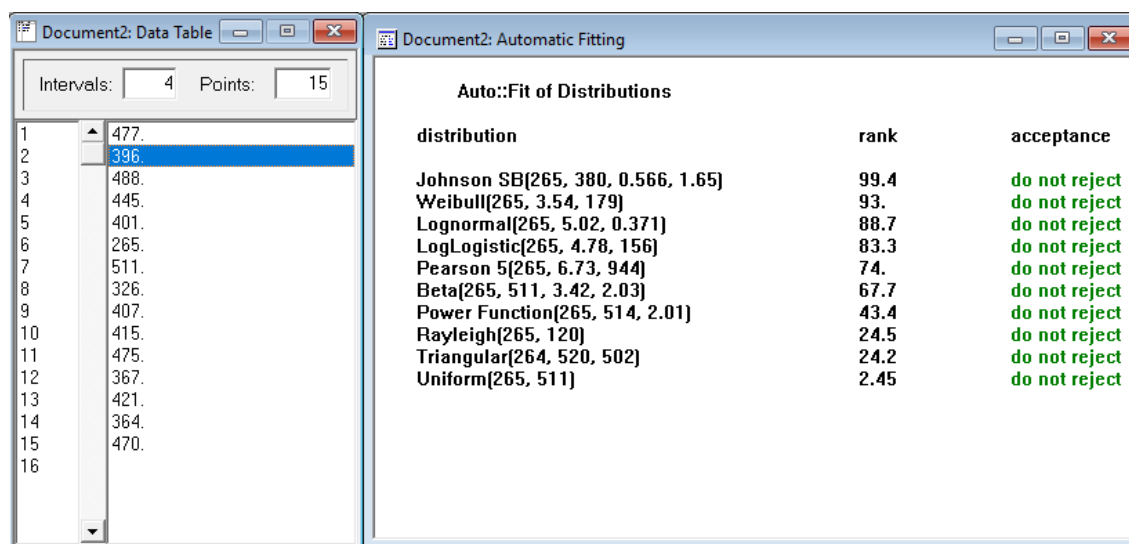


Figura 4.8: Cálculo da distribuição de probabilidade do papelão no *software* StatFit®.

Após a chegada destes, foi calculado a variação do preço de venda dos materiais recicláveis neste período de dois anos pesquisados. Os dados registrados nas planilhas da ACIMAR referem-se ao preço pago na venda de materiais recicláveis à atravessadores somente, uma vez que a associação ainda não vende para nenhuma recicladora. Há preços máximos, mínimos e os mais frequentes, e os dados estão apresentados na Tabela 4.3. Os valores pagos por quilo de material reciclável também foram anotados pelos catadores ao longo dos anos de 2015 e 2016.

Tabela 4.3: Preços pagos pelos intermediários para os principais materiais recicláveis da ACIMAR (por quilo).

Materiais	Preço máximo	Preço mínimo	Valor mais comum
Papel	R\$ 1,30	R\$ 0,90	R\$ 0,90
Papelão	R\$ 0,50	R\$ 0,26	R\$ 0,41
ELVs	R\$ 0,20	R\$ 0,05	R\$ 0,09
PET	R\$ 1,50	R\$ 1,10	R\$ 1,18
PP branco	R\$ 1,15	R\$ 1,00	R\$ 1,13
PP colorido	R\$ 0,70	R\$ 0,60	R\$ 0,68
PEAD branco	R\$ 1,30	R\$ 0,60	R\$ 1,10
PEAD colorido	R\$ 1,05	R\$ 0,90	R\$ 0,99
PEBD colorido	R\$ 0,70	R\$ 0,60	R\$ 0,60
Alumínio	R\$ 1,00	R\$ 0,80	R\$ 0,80
Sucatas Ferrosas	R\$ 0,28	R\$ 0,15	R\$ 0,15

Fonte: Próprio autor.

Estes valores presentes na Tabela 4.3 foram usados posteriormente no modelo computacional para simular a receita anual dos catadores de materiais recicláveis. A receita anual foi calculada multiplicando a quantidade de fardos vendidos ao longo de um ano (considerando o peso em quilos de cada um deles) pelos valores de preços mais comuns. Os preços mínimos e máximo estão na Tabela 4.3 a título de visualização, uma vez que não serão usados na elaboração de cenários já que os preços pagos pelos atravessadores, conforme os próprios catadores citaram, são definidos de modo aleatório e de acordo com a vontade do atravessador no momento da venda. Outro motivo para que somente os preços mais comuns sejam utilizados no modelo é que estes são os que mais se aproximam da realidade e por isso contribuem na validação do modelo computacional (tópico 5.3). Mais uma vez, é importante salientar que o alumínio e as sucatas ferrosas não formam fardos, porém, o número de quilos obtidos na simulação também foi multiplicado pelos seus valores mais comuns.

Por fim, pode-se demonstrar os preços pagos pelas recicladoras pesquisadas na região do Sul de Minas Gerais e Vale do Paraíba, em São Paulo na Tabela 4.4. Os lotes mínimos para cada recicladora são 5000 quilos, e, o custo com transporte também é pago pela ACIMAR. Os preços mais altos encontrados entre as recicladoras durante a pesquisa foram os utilizados na modelagem computacional. Percebe-se, por exemplo, nesta tabela que, para o PP branco e PP colorido, não há muita diferença dos valores pagos com relação aos dos intermediários.

Tabela 4.4: Preços pagos pelas recicladoras pelos principais materiais recicláveis da ACIMAR (por quilo).

Materiais	Valor mais alto pago pelas recicladoras
Papel	R\$ 1,13
Papelão	R\$ 0,71
ELVs	R\$ 0,25
PET	R\$ 2,00
PP branco	R\$ 1,15
PP colorido	R\$ 0,70
PEAD branco	R\$ 1,65
PEAD colorido	R\$ 1,60
PEBD colorido	R\$ 1,30
Alumínio	R\$ 1,10
Sucatas Ferrosas	R\$ 0,28

Fonte: Próprio autor.

Como dito anteriormente, ao vender para as recicladoras há os custos relacionados ao transporte destes materiais. Os custos foram calculados baseando-se no gasto de combustível feito pelo caminhão da ACIMAR por km rodado e, também foi adicionado o valor médio de

diárias pagas a motoristas da região. O gasto com o transporte até as recicladoras é obtido multiplicando 0.75 para cada km rodado. Este valor foi calculado baseando-se no preço do litro de combustível por volta de R\$ 3,00 com o consumo médio de 4 km por litro com o caminhão da ACIMAR cheio. O motorista disponibilizado pela prefeitura para a associação não está autorizado a realizar viagens para fora da microrregião de Itajubá e, por isso, é necessário pagar a diária para outros motoristas. O caminhão da ACIMAR também não pode ser utilizado para transportar o material para fora da cidade, porém será utilizado como um modelo para as simulações, ou seja, estima-se que um caminhão parecido com o da ACIMAR fará este transporte até as recicladoras. Para cada viagem até uma das recicladoras considerou-se uma diária de R\$150,00 paga a um motorista avulso. A ACIMAR no atual momento não tem como financiar um caminhão próprio nem um salário mensal de um motorista, por isso serão consideradas diárias no modelo. As distâncias rodoviárias das recicladoras que melhor pagavam estão demonstradas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Distância da ACIMAR das recicladoras utilizadas na pesquisa.

Material	Localização	Distância(km)	Fonte
Recicladora de Plástico	Lambari	105	ABIPLAST (2017)
Recicladora de Papel	Jacareí	185	Contato da ACIMAR
Recicladora de Ferro	Campanha	144	Pesquisa no Google
Recicladora de Alumínio	Pouso Alegre	70	Contato da ACIMAR

Por fim, para a composição de cenários, a explicação de um teste de gravimetria ocorrido na ACIMAR em 2016 se faz necessária, e é este o tema da próxima seção 4.6.

4.6 Teste de Gravimetria

O teste de gravimetria determina a composição dos RSU e será importante para o cálculo dos cenários futuros. Para se realizar um teste de gravimetria, alguns passos devem ser seguidos (IBAM, 2001):

1. Coletar as amostras iniciais de RSU não compactados. Preferencialmente, as amostras devem ser coletadas de segunda a sexta-feira, afim de se conseguir resultados que se aproximem o máximo possível da realidade;
2. Colocar as amostras iniciais sobre uma lona, em área plana, e misturá-las até se obter um único lote homogêneo, rasgando-se os sacos plásticos, caixas de papelão, caixotes e outros materiais utilizados no acondicionamento dos resíduos;

3. Separar os RSU por cada um dos componentes desejados e classificar como "outros" qualquer material que não se enquadre na listagem de componentes pré-selecionada;
4. Peser cada componente separadamente;
5. Dividir o peso de cada componente pelo peso total da amostra e calcular a composição gravimétrica em termos percentuais.

Durante cinco dias foram analisados o material recolhido na coleta comum dos RSU de Itajubá. A Figura 4.9 mostra o dia que o teste foi realizado junto aos catadores da ACIMAR, em junho de 2016.



Figura 4.9: Teste gravimétrico realizado na ACIMAR em junho de 2016.

Fonte: Próprio autor.

Durante o teste de gravimetria, os materiais não foram divididos em PEAD, PP ou PEBD brancos ou coloridos e, dessa forma, o presente trabalho considerará que a composição de cada um deles nos RSU de Itajubá é a metade para cada tipo nos cenários que onde há a participação da ACIMAR na coleta de materiais de cidades integrantes do Consórcio CIMASAS. Como se pode observar, há ainda outras categorias de materiais que não foram incluídas nesta presente pesquisa mas que aparecem no teste de gravimetria, como por exemplo, os aparelhos

eletrônicos, PVC e outros. Todos os dados obtidos com os testes estão em anexo, e para melhor observação destes dados, têm-se a Figura 4.10.

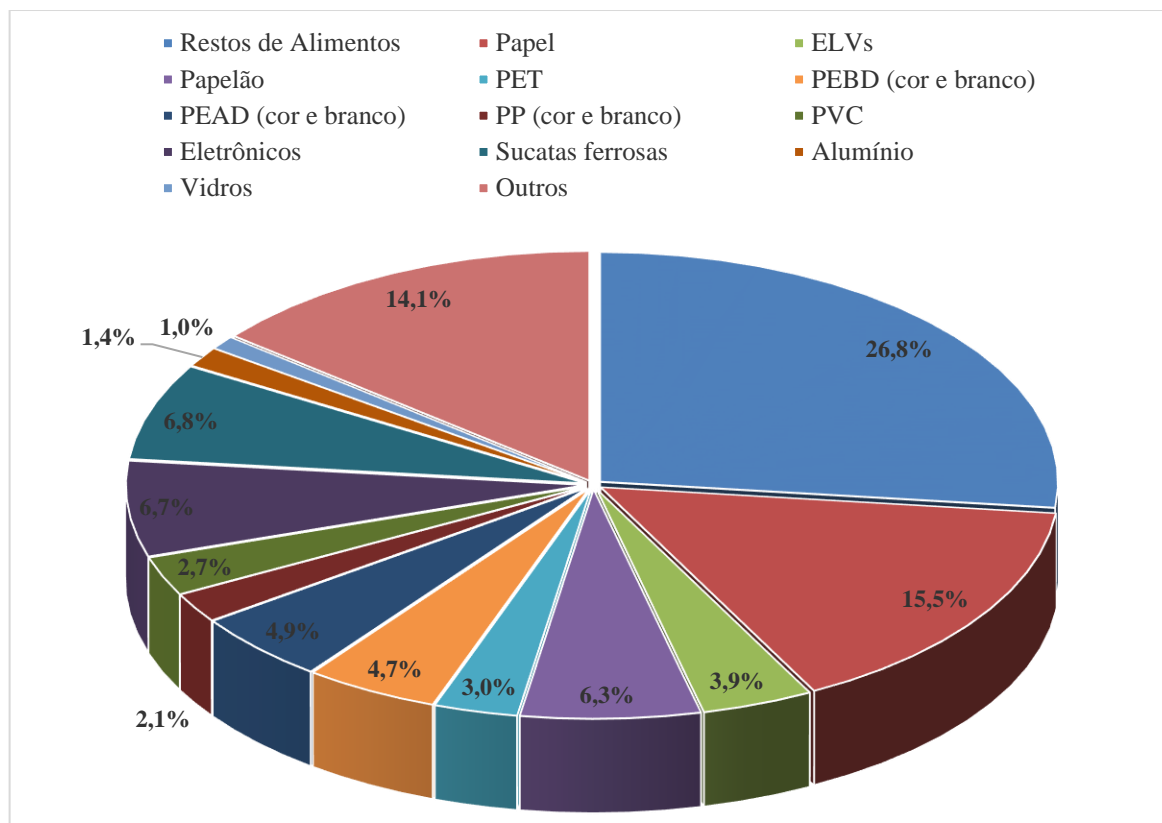


Figura 4.10: Gravimetria dos RSU coletados coleta comum em Itajubá.

Fonte: Próprio autor.

Os dados de RSU anuais das cidades integrantes do consórcio foram obtidos em documentos da empresa responsável pela coleta de lixo comum nestas cidades, a Vina Equipamentos e Construções. No entanto, estes documentos não distinguem a quantidade coletada exata de materiais recicláveis e muito menos quais eram os tipos de material. Dessa forma, a taxa correspondente aos materiais recicláveis calculada pelo Teste de Gravimetria foi de 59,1% do total de RSU coletados na cidade de Itajubá. Esta taxa foi utilizada no cálculo da quantidade potencial de materiais recicláveis das cidades integrantes do consórcio CIMASAS. Uma melhor explicação sobre o consórcio e a quantidade de materiais recicláveis em cada cidade integrante é encontrada no tópico 4.7.

4.7 Consórcio CIMASAS e cidades integrantes

O atual consórcio CIMASAS (Consórcio Intermunicipal dos Municípios da Microrregião do Alto Sapucaí para Aterro Sanitário) é composto oficialmente por cinco

idades: Itajubá, Piranguçu, São José do Alegre, Piranguinho e Delfim Moreira. A união destas cidades se dá na coleta comum de RSU e utilização do aterro sanitário de Itajubá. No entanto, a partir de 2015 já haviam conversas para que mais cidades pudessem também participar do consórcio. Recentemente a idéia de se coletar os materiais recicláveis de algumas destas cidades ou de todas elas vêm ganhando força. Segundo o IBGE (2010b), as cidades oficiais e não oficiais pertencentes ao Consórcio CIMASAS têm uma população estimada em 208.183 habitantes e uma quantidade de 39.382,4 toneladas de RSU gerados anualmente. A Tabela 4.5 apresenta estes dados das cidades em termos de população e de quantidade potencial de materiais recicláveis (59,1% do total conforme dito anteriormente), em toneladas por ano.

Tabela 4.5: Municípios participantes do consórcio CIMASAS, suas populações e quantidade em toneladas por ano de RSU e de materiais recicláveis.

Municípios	População Estimada	RSU Ton/ano	Recicláveis Ton/ano
Itajubá	94.940	19.910,0	11.746,9
Piranguinho	8.404	994,6	586,8
Delfim Moreira	8.197	712,0	420,1
Piranguçu	5.432	594,8	350,9
S. J. Alegre	4.163	527,0	310,9
Wenceslau Brás	2.619	331,5	195,6
S. R. Sapucaí	40.435	9.736,7	5.744,7
Brasópolis	14.982	2.287,0	1.349,3
Cachoeira de Minas	11.481	2.104,6	1.241,7
Marmelópolis	2.979	377,1	222,5
Maria da Fé	14.551	1.807,3	1.066,3
Total	208.183	39.382,4	23.235,6

Fonte: IBGE (2010 b), CIMASAS (2014) e próprio autor.

Com o Teste de Gravimetria realizado na ACIMAR foi possível calcular a quantidade anual de cada material reciclável nas cidades integrantes do consórcio CIMASAS, e estes valores estão representados na Figura 4.11. Os valores obtidos de cada um dos materiais, em cada uma das cidades, são utilizados para preencher a taxa de chegada diária dos materiais nos Cenários 26, 27 e 28, demonstrados no Capítulo 6 de Simulações e Análises desta pesquisa.

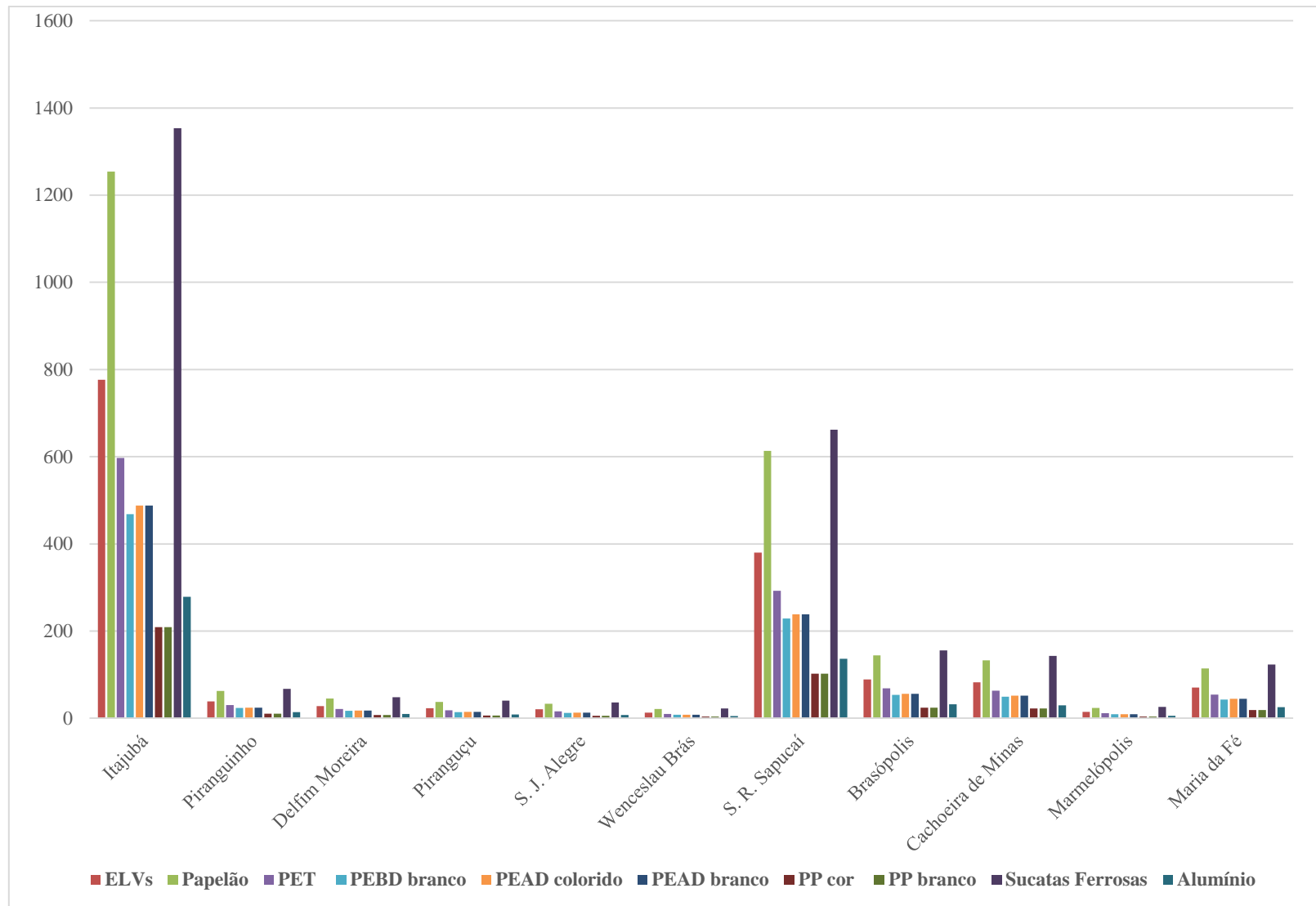


Figura 4.11 : Quantidade de materiais recicláveis produzidos nas cidades integrantes do Consócio CIMASAS em 2013 (ton). Fonte: Próprio autor.

5. IMPLEMENTAÇÃO

Este capítulo aborda a segunda etapa da estrutura apresentada por Montevechi *et al.* (2010), que é a etapa da Implementação. Portanto, este capítulo retrata a implementação dos dados de entrada no *software* Promodel® e, em seguida, os passos de validação e verificação do modelo computacional desenvolvido.

5.1 O modelo computacional

A partir do modelo proposto no IDEF-SIM (Figura 4.7), foi possível construir o modelo computacional. O *software* utilizado foi o Promodel®, e isto se deu pela sua interface gráfica e a facilidade de construção de modelos estocásticos baseados em SED. A Figura 5.1 apresenta o *layout* gráfico do modelo computacional.

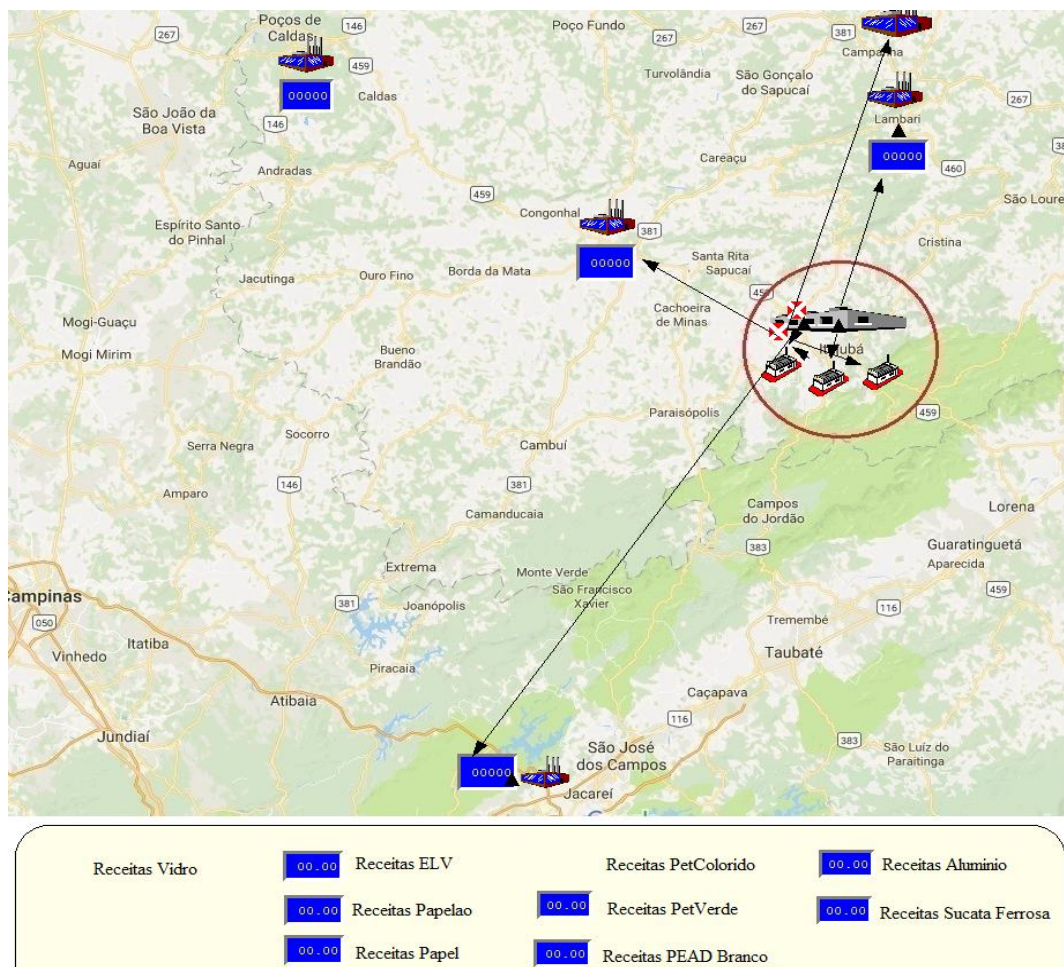


Figura 5.1: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com a lógica de roteirização.

5.2 Parâmetros de entrada ou construção do modelo computacional

Os parâmetros referem-se à lógica de construção de um modelo de simulação. Neste modelo, são implementados locais, entidades, chegadas, processos, recursos, redes de caminho e variáveis. Essa lógica se difere um pouco do modelo conceitual porque contém a lógica do *software* empregado. A Tabela 5.1 apresenta estes parâmetros.

Tabela 5.1: Parâmetros de implementação do modelo computacional no *software*.

Parâmetro	Descrição
Entidades	<p><i>24 entidades</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Materiais que chegam à ACIMAR: 11 São 11 os diferentes materiais que chegam à ACIMAR diariamente. • Fardos de cada material: 9 São 9 os materiais que podem formar fardos. • Transporte de cada material para recicladora: 4
Locais	<p><i>10 Locais</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • ACIMAR e uma fila virtual; • Um galpão fantasma para medir a capacidade dos fardos celulósicos; • Recicladoras e atravessadores.
Chegadas	11 taxas de chegada, que são distribuições de probabilidade para cada material que chega.
Processos	42 processos, que são os caminhos percorridos pelas entidades.
Recursos	Três caminhões avulsos que podem ser utilizados quando necessários.
Redes de caminho	<i>4 redes</i> , sendo uma para cada rota com destino às recicladoras.
Variáveis	<p><i>27 variáveis</i>, divididas em grupos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variáveis que calculam a receita da venda dos materiais recicláveis para atravessadores e recicladoras. • Variáveis que calculam o número de fardos. • Variáveis que calculam os gastos com transporte dos materiais para recicladoras. • Variáveis contidas na lógica de término do <i>software</i>.

A Figura 5.2 demonstra as entidades utilizadas no modelo computacional. São 11 os diferentes materiais que chegam à ACIMAR diariamente, daí o número de entidades referentes aos materiais ser 11. São 9 os materiais que podem formar fardos, e, dessa maneira, as entidades que representam os fardos estão descritas com a letra “f”, sendo o alumínio e as sucatas ferrosas os únicos materiais que não formam fardos. Ainda na Figura 5.2, percebe-se que o transporte para cada recicladora agrupa a quantidade de fardos necessária para preencher um caminhão de transporte e estas entidades estão representadas com as iniciais “trans”. Os materiais celulósicos (papel, papelão e ELVs) são reciclados pela mesma recicladora de papel, por isso estão colocados juntos na entidade “transpapel”. Os materiais plásticos (PET, PEBD colorido, PP branco, PP colorido, PEAD branco e PEAD colorido) são enviados à mesma recicladora, por isso estão agrupados na entidade “transplástico”.



Figura 5.2: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com as entidades utilizadas na programação.

O caminhão utilizado na ACIMAR tem capacidade de transportar 8 toneladas, e, como dito anteriormente, será usado como caminhão modelo para a lógica computacional. São três caminhões utilizados como recurso que podem ser acionados sempre que for necessário fazer um transporte de materiais recicláveis para as recicladoras, com o pagamento de diárias em cada um destes transportes.

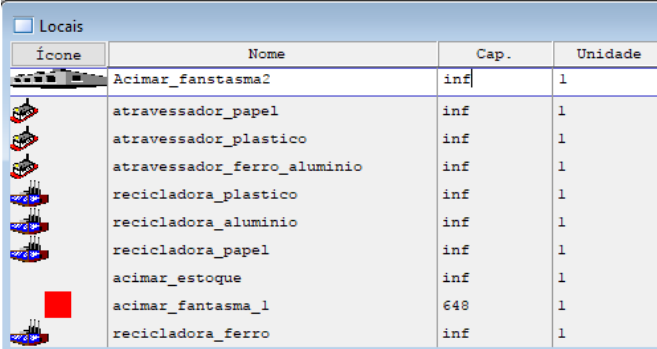
Para cada tipo de material há um número de fardos necessários para preencher as 8 toneladas de capacidade e os dados estão demonstrados na Tabela 5.2. Para as sucatas ferrosas e o alumínio foi utilizada a quantidade em quilos necessária para preencher um caminhão, ou seja, por volta de 5000 quilos. Para estes materiais não é possível preencher um caminhão todo devido às diferentes formas que estes podem apresentar, ou seja, quando dispostos dentro da caçamba do caminhão geram grandes espaços vazios e não se é factível transportar a capacidade de 8 toneladas.

Tabela 5.2: Número de fardos capazes de serem transportados nos caminhões.

Material	Número de fardos transportados por caminhão
Celulósico (Papel, Papelão, ELVs)	13
Plástico (PEBD, PEAD, PP, PET)	17

Fonte: Próprio autor.

Conforme também descrito na Tabela 5.1, existem 10 locais que foram utilizados na programação. Existem dois locais chamados “ACIMAR fantasma”, onde um deles é utilizado para se poder variar a capacidade de armazenamento de fardos celulósicos nos galpões cobertos e, assim, gerar os cenários desejados nesta pesquisa. A capacidade de armazenamento foi calculada a partir do pressuposto que um fardo de qualquer material celulósico apresenta em torno de 1m³ de volume e que, este pode ser empilhado no máximo em três fardos, um em cima do outro. Na programação, dependendo dos galpões utilizados para construção dos cenários se modifica esta capacidade onde se encontra o local “ACIMAR Fantasma 1”. Percebe-se na Figura 5.3 que este referido local tem capacidade de 648, ou seja, a quantidade de fardos celulósicos capazes de serem armazenados, para este exemplo, é 648. Esta capacidade corresponde à do galpão maior de 286 m², já descontados os espaços para as prensas, mesa de triagem e também para a livre circulação dos catadores. As capacidades dos galpões menores foram calculadas como sendo por volta de 250 e 150 fardos, contando que, não haja a utilização destes como estacionamento para o caminhão da coleta seletiva da ACIMAR.













Ícone	Nome	Cap.	Unidade
	Acimar_fantasma2	inf	1
	atravessador_papel	inf	1
	atravessador_plastico	inf	1
	atravessador_ferro_aluminio	inf	1
	recicladora_plastico	inf	1
	recicladora_aluminio	inf	1
	recicladora_papel	inf	1
	acimar_estoque	inf	1
	acimar_fantasma_1	648	1
	recicladora_ferro	inf	1

Figura 5.3: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com os locais utilizados na programação.

A Tabela 5.1 descreve ainda as variáveis utilizadas, sendo estas 27 no total. A Figura 5.4 apresenta estas variáveis. Percebe-se nesta figura que há variáveis que identificam o número de fardos gerados para cada material, que identificam a receita obtida com a venda de cada material e variáveis que representam o custo gasto com o combustível e com o transporte no geral. O gasto com o combustível é definido na entidade “gasto_gasolina”, e como dito anteriormente, é calculado multiplicando-se 0.75 por km rodado. O gasto com o pagamento extra da diária de um motorista é somado na entidade “custo_transporte”.

V Variáveis (globais)			
Ícone	Nome	Tipo	Valor Inicial
Sim	numero_fardos_papelao	Inteiro	0
Não	numero_fardos_papel	Inteiro	0
Não	numero_fardos_elv	Inteiro	0
Sim	receitafpapelao	Real	0
Sim	receitafpapel	Real	0
Sim	receitafelv	Real	0
Sim	receitafpet	Real	0
Sim	receitafpeadB	Real	0
Sim	receitafpeadC	Real	0
Sim	receitafppC	Real	0
Não	receitafppB	Inteiro	0
Sim	receitafpebdC	Real	0
Sim	receitatransaluminio	Real	0
Sim	receitatransferro	Real	0
Não	receita_total	Real	0
Não	receita_total_plastico	Real	0
Não	receita_total_papel	Real	0
Não	custo_transporte	Real	0
Não	custo_gasolina	Inteiro	0
Não	numero_fardos_pet	Inteiro	0
Não	numero_fardos_peadB	Inteiro	0
Não	numero_fardos_peadC	Inteiro	0
Não	numero_fardos_ppB	Inteiro	0
Não	numero_fardos_ppC	Inteiro	0
Não	numero_fardos_pebdC	Inteiro	0
Não	numero_transaluminio	Inteiro	0
Não	numero_transferro	Inteiro	0

Figura 5.4: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com as variáveis utilizadas na programação.

Por fim, este presente trabalho utilizou uma lógica de finalização onde se somam todas as receitas obtidas com todos os materiais celulósicos, plásticos, com o alumínio e com as sucatas ferrosas ao longo do ano. A lógica de finalização está demonstrada na Figura 5.5.

```

Lógica de Finalização
1 receita_total_papel = receitafelv + receitafpapel + receitafpapelao
2 receita_total_plastico = receitafpeadB + receitafpeadC + receitafpebdC + receitafpet + receitafppC + receitafppB
3 receita_total = receita_total_papel + receita_total_plastico + receitatransaluminio + receitatransferro
4
5
6
    
```

Figura 5.5: Tela do Promodel® do modelo desenvolvido com os lógica de finalização utilizada na programação.

O valor da receita anual da ACIMAR foi utilizado para fazer a validação do modelo computacional, isto é, para verificar se o modelo computacional corresponde à realidade que se deseja simular, sendo este o tema do próximo tópico 5.3.

5.3 Verificação e Validação do Modelo Computacional

Segundo Chwif e Medina (2010), o processo de verificação e validação de modelos de simulação é fundamental para que o estudo de simulação seja bem-sucedido. A verificação está relacionada com o modelo computacional (ou modelo implementando em algum *software* de simulação) e esta consiste em alguns procedimentos, como por exemplo, retirar os elementos que estão causando o mau funcionamento do modelo, afim de que este se torne mais próximo da realidade. Algumas técnicas de verificação são: implementação modular; valores constantes ou simplificados comparados com cálculos manuais; simulação manual; animação gráfica; revisão em grupos; técnicas estatísticas e outras mais (KLEIJNEN, 1995). Para verificação deste presente trabalho foi utilizada a animação e a visualização de gráficos ao longo da simulação que permitiram comparar a lógica do modelo conceitual com a do modelo computacional.

Estabeleceu-se inicialmente a quantia de 50 replicações para o modelo em questão, haja vista que sua execução não é muito demorada. Este número de 50 replicações foi inicialmente utilizado porque se percebeu que os valores tendiam a se estabilizar em uma determinada faixa de valores próximo a estas 50 replicações, como observado na Figura 5.6.

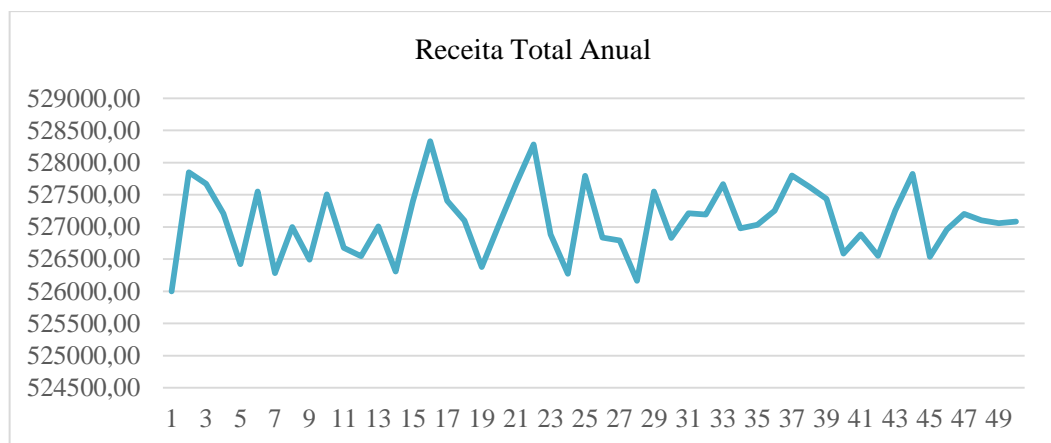


Figura 5.6: Número de replicações e resultados simulados no *software* Promodel® com variável de saída receita total anual.

Um teste de normalidade foi realizado no *software* MINITAB®, já que este teste permite verificar se a distribuição dos dados de saída das replicações pode ser representada por uma distribuição normal. A variável utilizada para validação foi a variável “receita total” demonstrada nas Figuras 5.4 e 5.5, sendo esta a soma das receitas da venda de todos os materiais recicláveis inseridos no modelo, vendidos ao longo de um ano. O teste realizado demonstra o ajuste à normalidade dos dados de saída, com $P\text{-value} = 0,826$. Este valor permite que sejam

feitos testes adicionais de validação do modelo computacional. O teste está demonstrado na Figura 5.7.

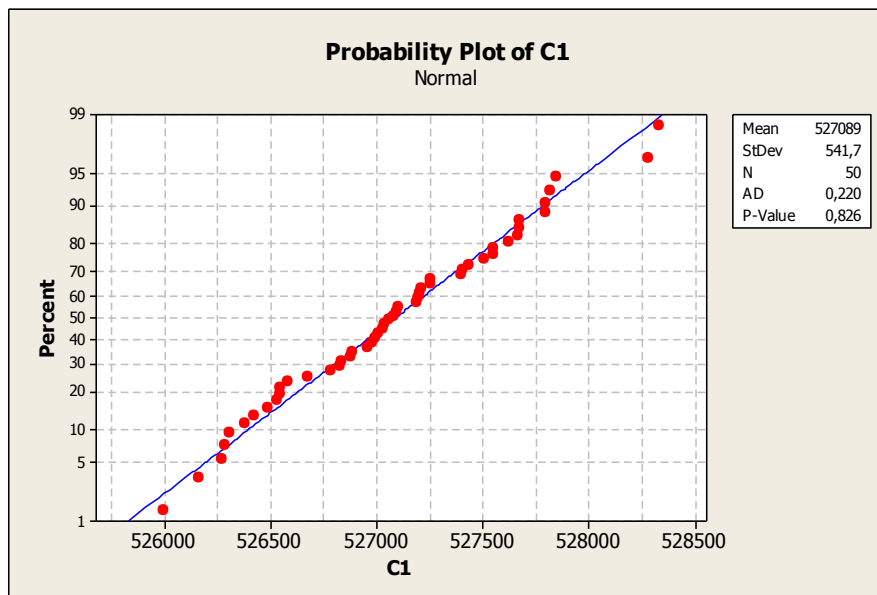


Figura 5.7: Teste de normalidade Anderson-Darling realizado na variável “Receita Total” após 50 replicações do modelo computacional.

Posteriormente ao Teste de Normalidade, foi realizado o teste *Two-sample-t*, cuja característica principal é comparar os resultados de duas médias amostrais. O teste *Two-sample-t* também foi feito no *software* MINITAB® e a utilização deste teste ocorreu para verificar se os 50 valores simulados no modelo, com intervalo de confiança de 95%, condizem com a média verificada na realidade. Os valores reais foram obtidos nos arquivos que se encontram no Anexo 2 e Anexo 3, onde são descritas as receitas totais da associação nos anos de 2015 e 2016. A média dos valores reais, a média dos valores simulados bem como o *P-value* obtido estão demonstrados na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Determinação do número de replicações para os cenários comparativos.

Média dos valores reais	Média dos valores simulados	<i>P-value</i>
518.604,00 ± 5820,9	527.089,00 ± 541,71	0,288

Verificou-se, portanto, na Tabela 5.3, que o *P-value* é superior a 0,05. Tal fato também pode ser observado na Figura 5.8, onde se confirma que a média dos valores simulados não é significativamente diferente da média dos valores reais. Desta maneira, pode-se dizer que o modelo é sim capaz de representar a realidade do sistema simulado.

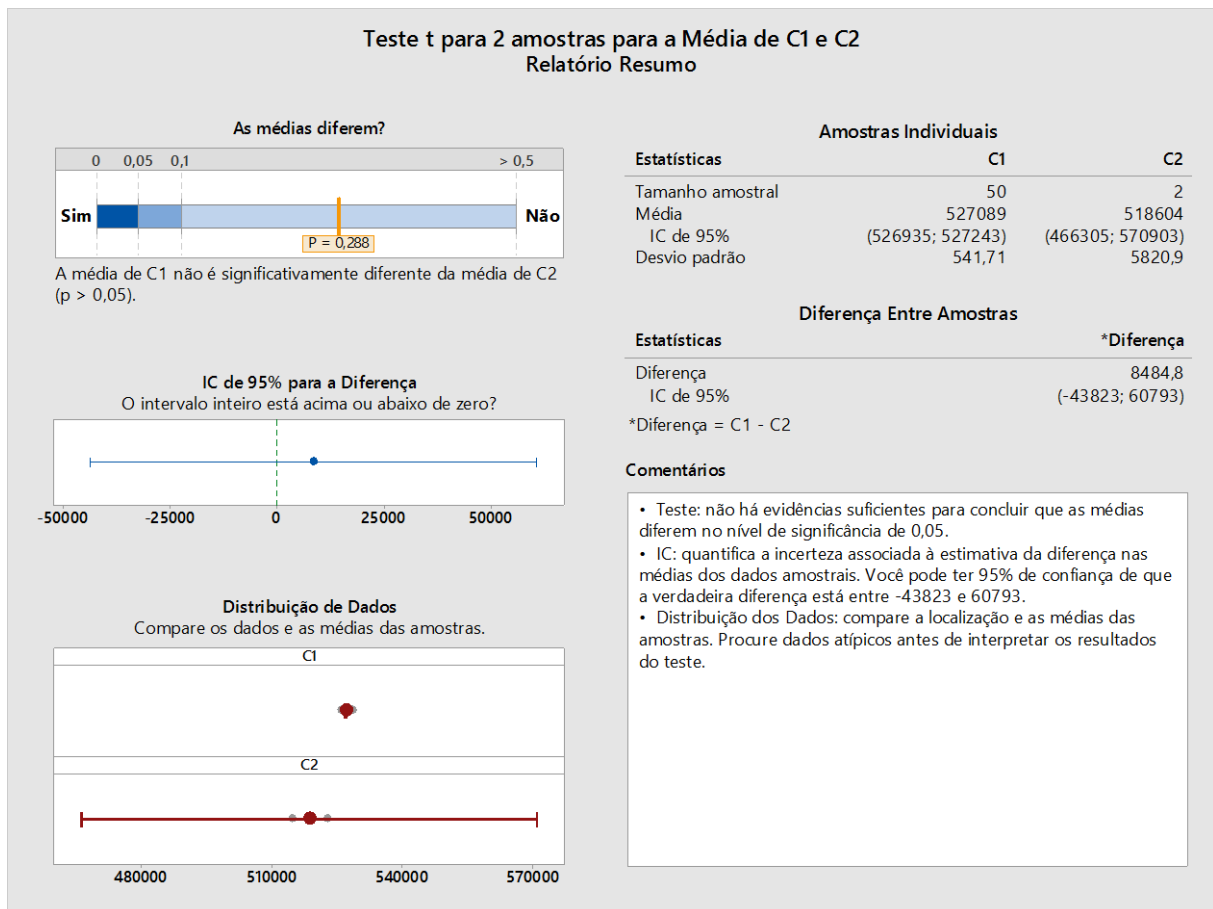


Figura 5.8: Teste de hipóteses *Two sample-t* realizado no software Minitab.

5.4. Lógica do Modelo Computacional

A lógica do modelo computacional é demonstrada para que se possa replicar o modelo em outros *softwares*, bem como é importante para o entendimento de como a simulação foi feita de maneira mais clara e objetiva. Na lógica do modelo computacional também se utiliza a técnica IDEF-SIM, já que esta técnica pode representar com mais facilidade as funções e variáveis utilizadas no programa.

No presente trabalho, para poder combinar as entidades que entram no modelo em fardos, foi utilizada a função *Combine* do Promodel®. Ela é responsável por juntar entidades em um número pré-determinado, transformando o conjunto todo em uma única entidade após seu uso. Esta função foi utilizada para agrupar em fardos de acordo com a capacidade do caminhão modelo da ACIMAR, que é de 8 toneladas. São necessários 13 fardos com materiais celulósicos (Papelão, Papel, ELVs) e são necessários 17 fardos plásticos (PET, PEBD colorido, PP branco, PP colorido, PEAD branco e PEAD colorido) para preencher um caminhão. Como dito anteriormente, as sucatas ferrosas e o alumínio duro foram combinados ambos em 5000,

que é a quantidade em quilos que o caminhão modelo utilizado no trabalho é capaz de transportar destes materiais, porque estes quando dispostos na caçamba do caminhão formam grandes espaços vazios.

Os fardos de papel, papelão e ELVs são enviados a um local chamado “ACIMAR_fasntama1” onde pode ocorrer a alteração da sua capacidade. A futura reforma proposta para a ACIMAR pretende aumentar a capacidade total de armazenamento dos fardos celulósicos de 1048 para 1558 fardos no total.

Continuando o modelo computacional descrito na Figura 5.9, os materiais podem seguir para as recicladoras ou para os atravessadores e para indicar o deslocamento para estes lugares há a utilização da função *MOVE WITH*, que aciona a utilização do caminhão e pode incluir tempos de utilização nestes deslocamentos. Essa função faz com que as entidades de transporte, como a “transplastico” e “transpapel” sejam transportadas em conjunto com o caminhão até as recicladoras correspondentes.

Ao chegar nas recicladoras ou nos atravessadores, há a utilização da função *Ungroup*, que serve para separar as entidades. Isto se dá porque é preciso identificar quais são exatamente as entidades que chegam nestes locais (os quilos de materiais recicláveis vendidos) e, assim, calcular de maneira correta a receita total na lógica de finalização do modelo, demonstrada anteriormente na Figura 5.5. Para identificar as entidades são utilizados vários atributos, sendo auferido um valor específico de venda para cada um deles no final, e estes valores podem variar em detrimento do seu preço e do seu peso. Estes atributos já foram inseridos anteriormente no local de chegada das entidades, o local “ACIMAR estoque”.

Com relação ao roteamento, ou seja, a proporção de materiais que segue para o caminho alternativo ou para o caminho prioritário, isso depende do cenário a ser desenvolvido. Para o cenário onde se descreve a situação atual da ACIMAR e os cenários onde se analisa a venda dos materiais recicláveis somente para intermediários (Cenários 1 a 10 e 20 a 25 demonstrados na Figura 6.1), nestes casos têm-se a utilização do caminho alternativo em 100%. Por outro lado, nos cenários onde se prioriza a venda para recicladoras (Cenários 11 a 19 e 26 a 29 também demonstrados na Figura 6.1) têm-se a utilização do caminho prioritário em 100%. Há uma única exceção neste último grupo de cenários, que ocorre justamente no caso de não se obter 5000 quilos de qualquer um dos materiais recicláveis. Quando este fato acontece, estes são então destinados ao caminho alternativo. O roteamento foi feito desta forma de modo a avaliar quais seriam os ganhos máximos com a venda dos materiais recicláveis para as recicladoras e compará-los com a venda somente para os intermediários. Dessa forma é possível saber

exatamente o quanto a associação deixa de ganhar anualmente ao não priorizar estas vendas às recicladoras, que pagam melhores preços em todos os materiais. A lógica do modelo computacional, utilizando também o IDEF-SIM, está detalhada na Figura 5.9.

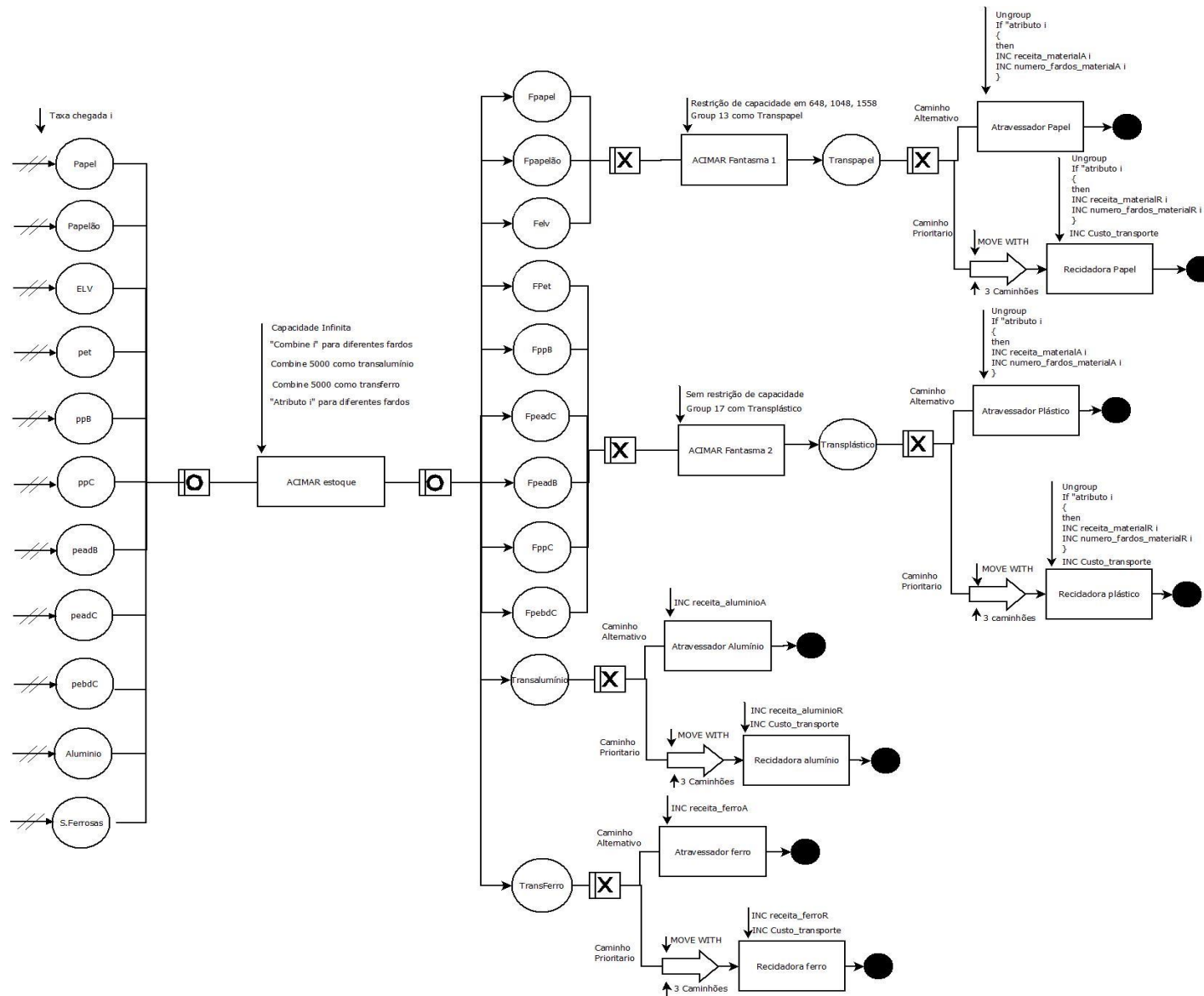


Figura 5.9: Documentação da lógica do modelo computacional desenvolvido no software Promodel®.

6. SIMULAÇÕES E ANÁLISES

Este capítulo apresenta a terceira etapa do método proposto por Montevechi *et al.* (2010), em que o modelo computacional é utilizado para a realização de experimentos (cenários), onde são realizadas alterações nas variáveis de entrada de maneira que se possa observar as mudanças nas variáveis de saída. Este capítulo servirá de auxílio para a ACIMAR tomar futuras decisões de maneira melhor fundamentada.

A Figura 6.1 mostra uma visão geral dos cenários que foram gerados neste trabalho. O Cenário 1 refere-se à situação atual dos catadores, cenário este que foi utilizado para validar o modelo computacional (Capítulo 5). Os cenários seguintes estão divididos em quatro grupos principais, sendo um grupo de cenários aqueles que simulam o aumento da coleta de materiais realizada com a ACIMAR operando da mesma maneira que opera atualmente, ou seja, vendendo somente para atravessadores (Cenários 2, 3 e 4). Estes cenários serão comparados com os cenários do segundo grupo, onde se simula a venda de materiais preferencialmente para as indústrias recicladoras, que oferecem melhores pagamentos (Cenários 11, 12 e 13). Neste grupo de cenários há a inclusão do pagamento de diárias de caminhões e do combustível no transporte de materiais recicláveis até onde as recicladoras estão situadas. O terceiro grupo de cenários se refere ao funcionamento da associação de forma autônoma, sem ajuda da prefeitura nos seus gastos (Cenários 20 à 25). O último grupo de cenários se refere à união da coleta seletiva de cidades pertencentes ao consórcio CIMASAS (Cenários 26 a 28). Por fim, no final dos três primeiros grupos há alguns cenários que simulam a utilização dos galpões menores da associação, lugares estes que ainda não são utilizados para a estocagem específica de fardos perecíveis (Cenários 5, 6 e 7; 14, 15 e 16; 20, 21 e 22). Posteriormente, também estão inclusos os cenários onde se simulam uma reforma no galpão (Cenários 8, 9 e 10; 17, 18 e 19; 23, 24 e 25; 26, 27 e 28).

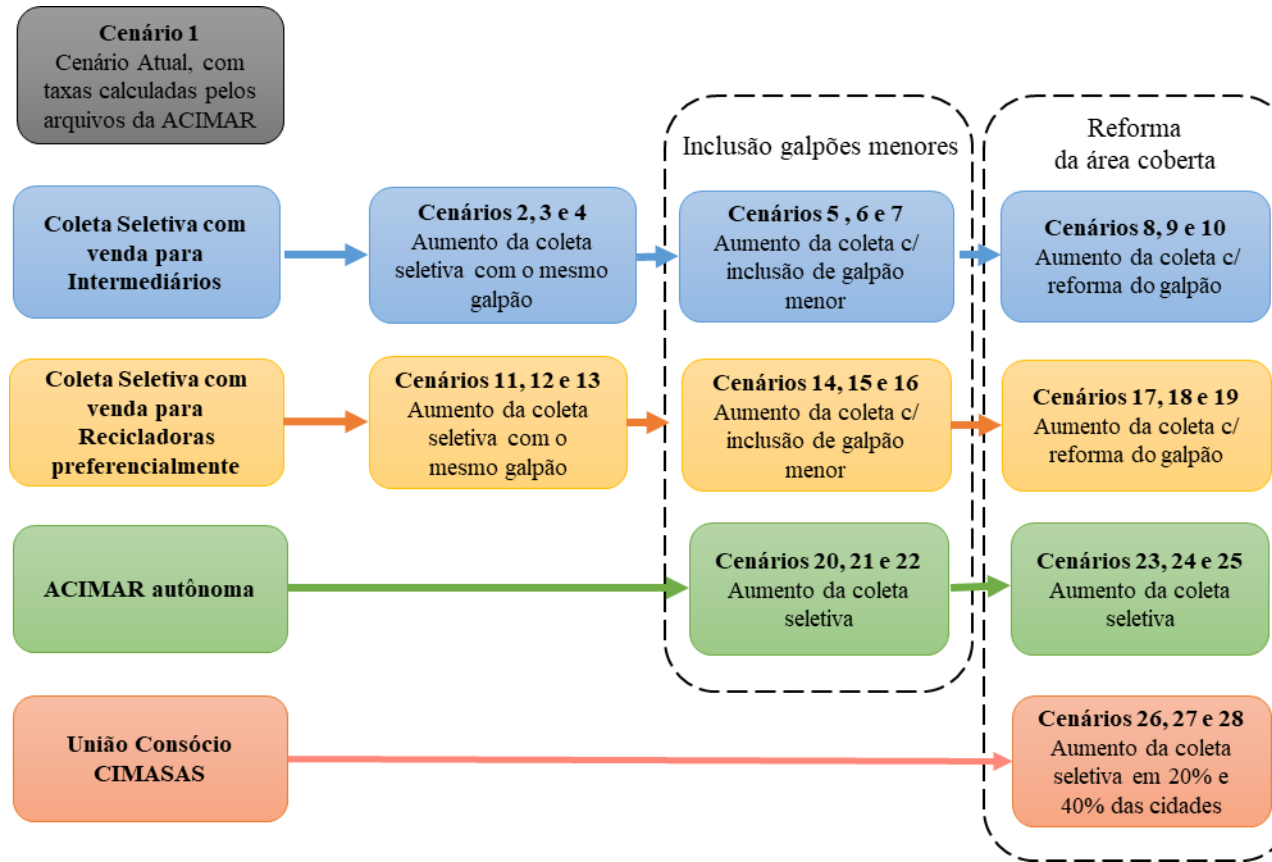


Figura 6.1: Resumo dos cenários realizados na presente pesquisa.

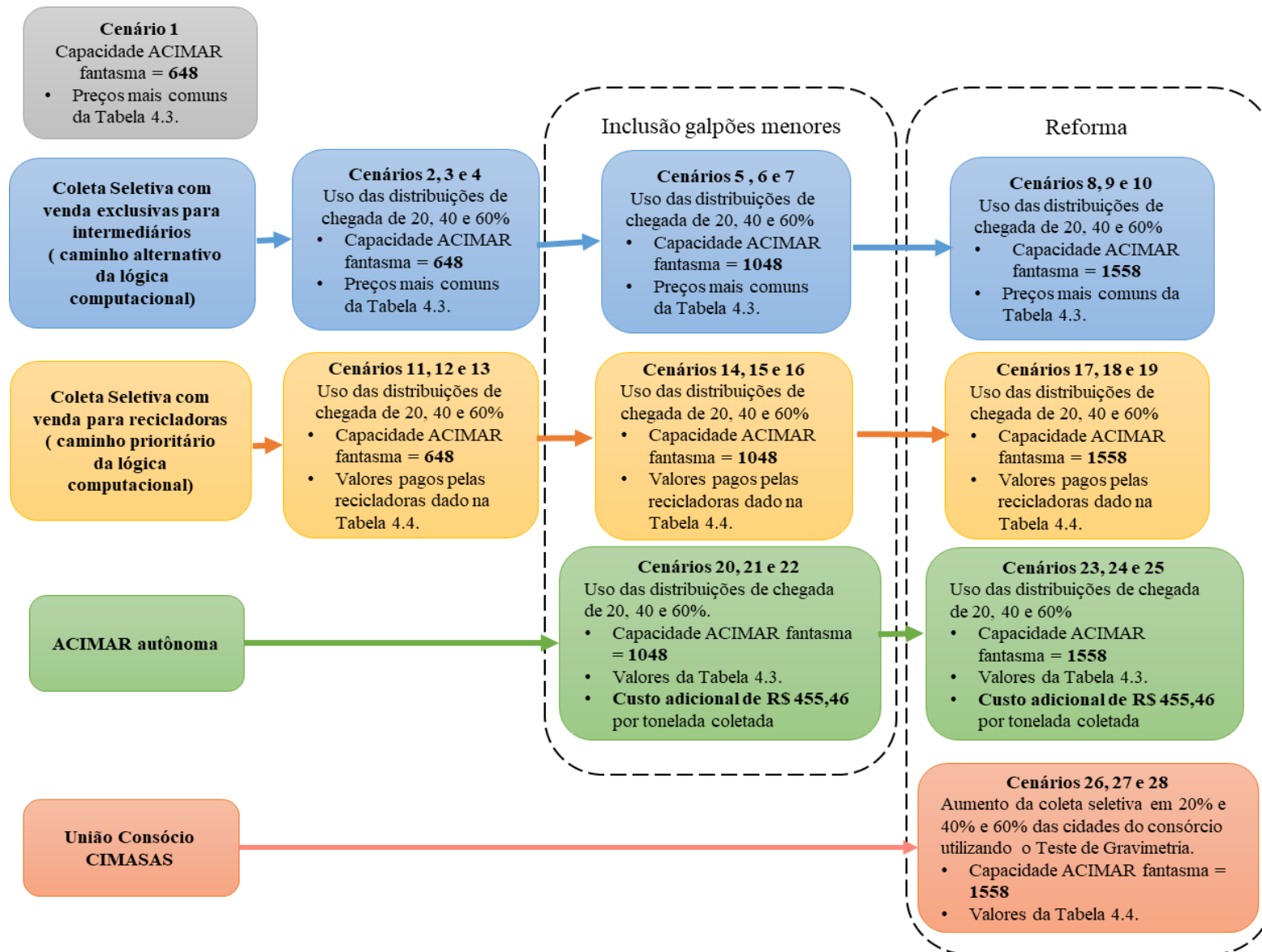


Figura 6.2: Resumo das principais mudanças em cada cenário simulado no modelo computacional no *software* Promodel®.

As capacidades de armazenamento dos fardos celulósicos nos cenários, como demonstrado nas Figura 6.1 e 6.2, podem ser de 648, 1048 e, 1558. A primeira capacidade refere-se somente ao galpão maior de 286 m² da ACIMAR, a segunda refere-se a utilização dos galpões menores e a terceira está relacionada a reforma pretendida pela associação. Nos cenários em que há venda para os intermediários utiliza-se os valores da Tabela 4.3, e nos cenários em que há venda para as recicladoras, utiliza-se os valores da Tabela 4.4.

Quanto ao uso das distribuições de chegada de 20, 40 e 60% descritos na Figura 6.2, isso se refere a aumentos planejados da taxa de coleta de materiais recicláveis da ACIMAR na cidade de Itajubá. Esses aumentos foram estipulados devido a taxa de expansão da associação ter sido 20% em 2016 quando comparada com o ano de 2015. Portanto, pretende-se colocar como meta uma de expansão essa taxa de 20% ao ano, comparada ao ano de 2015.

O aumento utilizado no modelo computacional foi feito multiplicando-se os valores encontrados nas mesmas amostras utilizadas anteriormente na Tabela 4.2. Desta maneira, o papelão por exemplo, teve seus dados aumentados em 20% e, novamente, esta amostra foi colocada no *software* Statfit® para que se determinasse a sua distribuição. A Figura 6.3 demonstra tal fato. O mesmo processo foi feito para os aumentos de 40% e 60%, em todos os materiais.

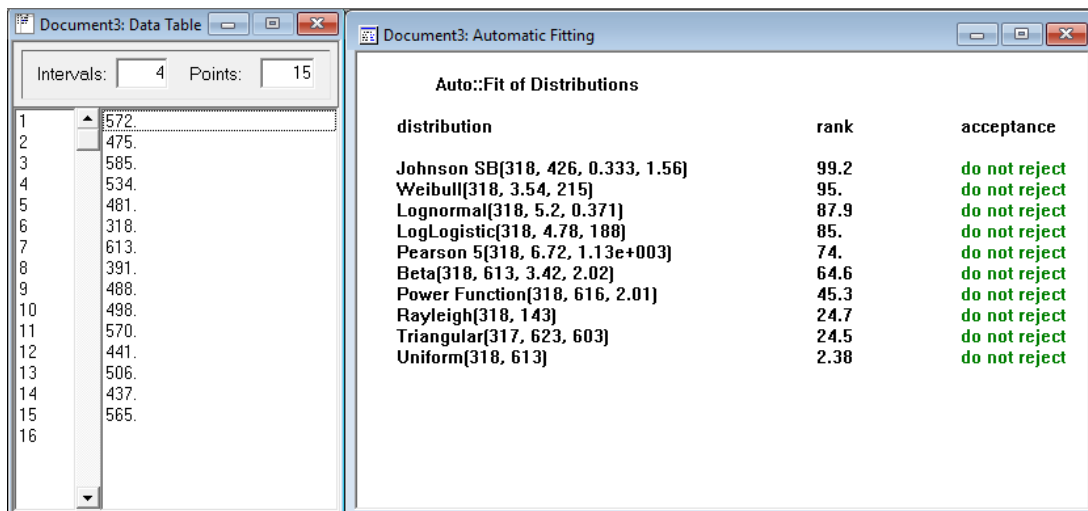


Figura 6.3: Cálculo da distribuição de probabilidade do papelão com 20% de aumento na taxa de chegada utilizando o *software* StatFit®.

Pode-se notar na Tabela 6.1 quais foram as novas distribuições encontradas no StatFit® para os aumentos de 20, 40 e 60% da taxa de chegada dos materiais. Estas novas distribuições foram utilizadas nos Cenários 2 a 25. Para os Cenários 26, 27 e 28, seus aumentos estão descritos no tópico 6.5 deste capítulo.

Tabela 6.1: Materiais recicláveis e distribuições encontradas para os aumentos de 20, 40 e 60% utilizados na montagem dos Cenários 2 a 25.

Material	Distribuição encontrada para 20% de aumento nos valores de chegada
Papelão	318+W(3.54, 215)
Papel	14.+221*(1./(1.+EXP(-(N(0.,1.)-0.682)/0.689)))
ELVs	5.+ (1./0.217)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./2.39)
PET	2.+13.8*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./2.49)
PEAD Branco	T(0., 0.968, 17.4)
PEAD Colorido	1.+E(5.63)
PP Colorido	B(0.988, 1.57, 6., 45.)
PP Branco	B(1.17, 1.,2., 15.5)
PEBD colorido	10.+W(1.75, 16.4)
Alumínio	T(3.,3.6, 9)
Sucatas Ferrosas	97.+P5(1.65, 87.4)
Material	Distribuição encontrada para 40% de aumento nos valores de chegada
Papelão	371+W(3.54, 251)
Papel	16.+P6(1.34, 33.5, 2.15e+003)
ELVs	6.+(1./0.208)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./2.16)
PET	3.+P6(2.35, 796, 6.22e+003)
PEAD Branco	T(1., 2.07, 20.2)
PEAD Colorido	1.+E(6.63)
PP Colorido	B(1., 1.5, 7., 52.)
PP Branco	U(10., 7.)
PEBD colorido	12.+16.3*(1./((1./U(0.5,0.5))-1.))**(1./4.06)
Alumínio	T(3.,4.2, 10)
Sucatas Ferrosas	113+P5(1.66, 103)
Material	Distribuição encontrada para 60% de aumento nos valores de chegada
Papelão	424+W(3.54, 287)
Papel	18.+P6(1.39, 18.1, 1.24e+003)
ELVs	7.+(1./0.169)*(-LN(U(0.5,0.5)))**(-1./2.51)
PET	3.+P6(2.3, 254, 2.32e+003)
PEAD Branco	T(1., 2.2, 22.6)
PEAD Colorido	2.+E(6.63)
PP Colorido	B(0.616, 1.4, 7., 60.)
PP Branco	B(1.12, 1.,3., 21.)
PEBD colorido	13.+W(1.72, 21.8)
Alumínio	T(3.,4.8, 12)
Sucatas Ferrosas	129+P5(1.69, 121)

Para mais fácil visualização de todos os cenários e dos exatos parâmetros modificados na simulação computacional deste presente trabalho tem-se a Tabela 6.2. As cores da tabela correspondem aos cenários das Figuras 6.1 e 6.2.

Tabela 6.2: Parâmetros utilizados na composição dos cenários.

Cenários	Cap. Acimar Fantasma_1	Preços recicláveis	Distribuições (aumento)	Custo transporte	Custo adicionais
Cenários 1	648	Tabela 4.3	Tabela 4.2	0	0
Cenários 2	648	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (20%)	0	0
Cenários 3	648	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (40%)	0	0
Cenários 4	648	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (60%)	0	0
Cenários 5	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (20%)	0	0
Cenários 6	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (40%)	0	0
Cenários 7	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (60%)	0	0
Cenários 8	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (20%)	0	0
Cenários 9	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (40%)	0	0
Cenários 10	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (60%)	0	0
Cenários 11	648	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 12	648	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 13	648	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (60%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 14	1048	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 15	1048	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 16	1048	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (60%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 17	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 18	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 19	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.1 (60%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 20	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 21	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 22	1048	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (60%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 23	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 24	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 25	1558	Tabela 4.3	Tabela 6.1 (60%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	R\$ 455,46/ton
Cenários 26	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.11	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 27	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.11 (20%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0
Cenários 28	1558	Tabela 4.4	Tabela 6.11 (40%)	R\$150,00 diária + R\$0,75 por km	0

A partir da Tabela 6.2 explica-se nos próximos tópicos os Cenários de 1 a 28 bem como os resultados obtidos na simulação de cada um deles.

6.1 Cenário Atual

O cenário atual é o cenário que representa a realidade. Para a construção deste cenário utilizou-se os valores da Tabela 4.3, que representam os preços pagos por atravessadores pelos materiais recicláveis. Os valores mais comuns foram os utilizados. Foi utilizada a taxa de chegada dos materiais calculada na Tabela 4.2. Não há custos com transportes e nem custos adicionais.

O modelo computacional após ser simulado mais uma vez com 50 replicações, apresentou uma receita total simulada de R\$526.997,08. Para demais valores de receita por material, estes estão demonstrados na Tabela 6.3 e podem ser melhor visualizados na Figura 6.4.

Tabela 6.3: Receitas totais por tipo de material reciclável.

Material	Receitas	Desvio Padrão
Receita com fardos de papelão	299.961,42	2.268,69
Receita com fardos de papel	51.229,59	175,86
Receita com fardos de ELVs	1355,13	102,84
Receita com fardos de PET	26.698,44	736,74
Receita com fardos de PEAD Branco	10.053,18	549,42
Receita com fardos de PEAD Colorido	13.996,13	339,04
Receita com fardos de PP Colorido	20.119,00	381,71
Receita com fardos de PP Branco	12.461,63	247,09
Receita com fardos de PEBD Colorido	18.122,56	568,96
Receita com Alumínio	3.000,00	202,98
Receita com Sucatas Ferrosas	70.000,00	320,97

Fonte: Próprio autor.

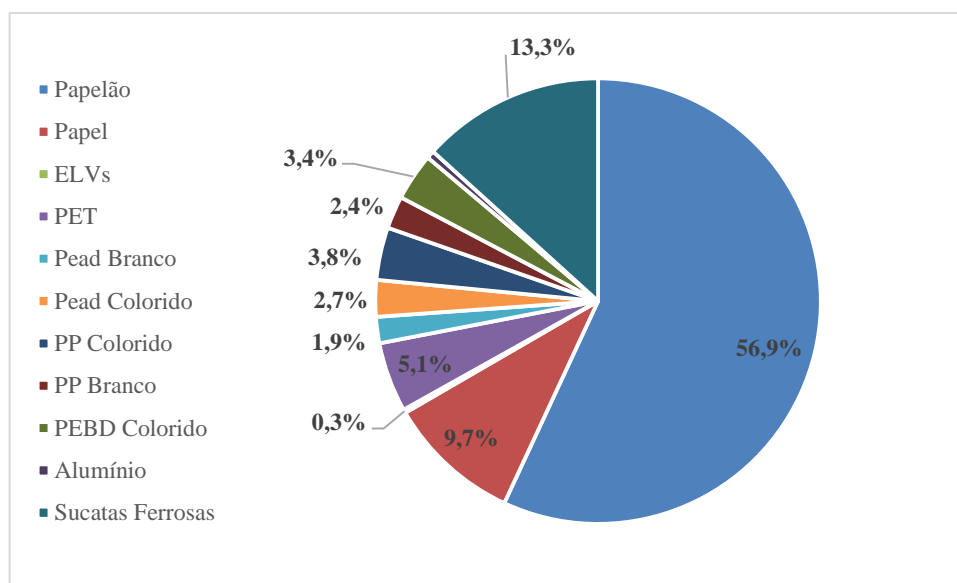


Figura 6.4: Receita proveniente de cada material da ACIMAR em 2016. Fonte: Próprio autor.

A variabilidade das receitas é causada devido à taxa de chegada dos materiais ser uma distribuição de probabilidade. Percebe-se que o papelão é o maior responsável pelas receitas da associação, seguido pelas sucatas ferrosas e papel. Paralelamente no Promodel®, também ocorreu a simulação do número de fardos formados por cada um dos materiais ao longo de um ano, e têm-se o resultado demonstrado na Figura 6.5.

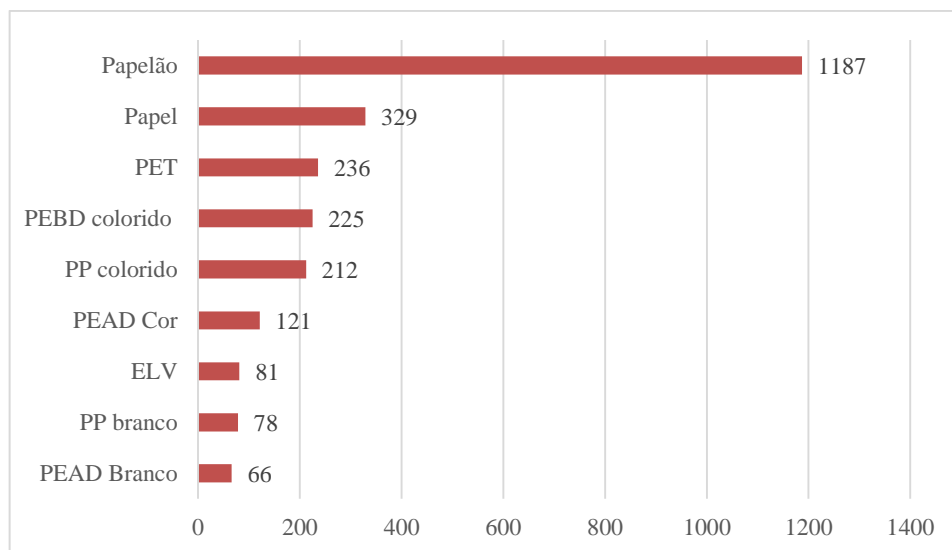


Figura 6.5: Número de fardos simulados na ACIMAR por tipo de material. Fonte: Próprio autor.

Também é possível comparar a produtividade de coleta dos cinco principais materiais recicláveis da ACIMAR com a pesquisa de Damásio (2010), onde os dados de mais de 83 associações, com mais de 3846 catadores, foram compilados. Na pesquisa de Damásio foi possível obter a produtividade média para alguns tipos de materiais nestas associações, demonstrados na Figura 6.6. Damásio também foi o pioneiro na classificação de associações de catadores em categorias de eficiência.

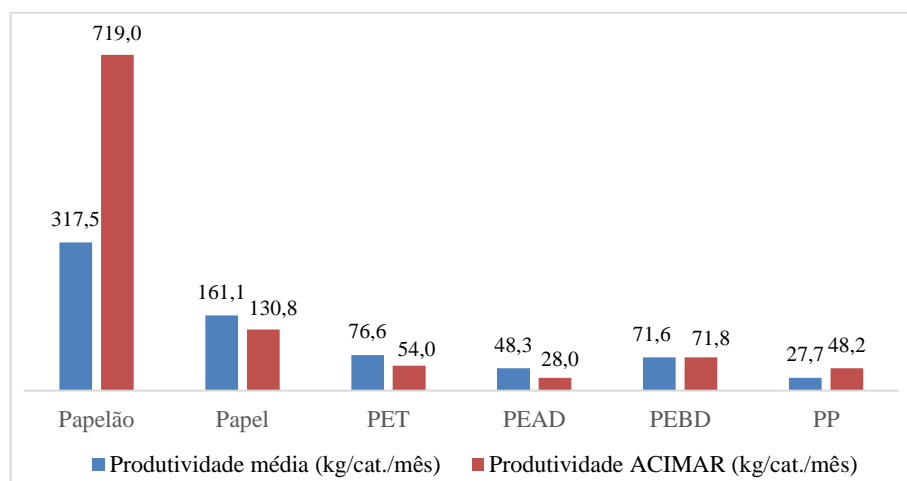


Figura 6.6: Produtividade média por tipo de materiais recicláveis e produtividade média da ACIMAR.

Fonte: Damásio (2010) e próprio autor.

A produtividade da ACIMAR para alguns dos principais materiais é alta, principalmente com relação ao papelão, como demonstrado na Figura 6.6. No entanto, ao se multiplicar o número de fardos simulados pelo seu peso (Tabela 4.1), se verifica que a associação se classifica

mais perto da categoria de baixa eficiência no geral, porém, também está contida dentro do limite do desvio padrão da categoria de média eficiência. Dessa forma, se calculou a produtividade média da ACIMAR em torno de 1163 kg/cat./mês. A Tabela 6.4 apresenta a produtividade média geral das associações segundo Damásio (2010).

Tabela 6.4: Produtividade média geral das associações

Eficiências relativas	Produtividade média (kg/cat/mês)	Desvio Padrão (kg/cat/mês)
Alta Eficiência	2311	490,9
Média eficiência	1592	501,7
Baixa eficiência	957	326
Baixíssima eficiência	304	240,3

Fonte: Damásio (2010).

Por fim, também é possível comparar os rendimentos médios simulados dos associados da ACIMAR com rendimentos médios mostrados em outros trabalhos presentes na literatura no Brasil e no exterior. Dividindo-se a receita total pelo número de catadores, tem-se o rendimento médio da ACIMAR em torno de R\$1169,04. A Figura 6.7 apresenta outros trabalhos que também tratam do tema da remuneração dos catadores:

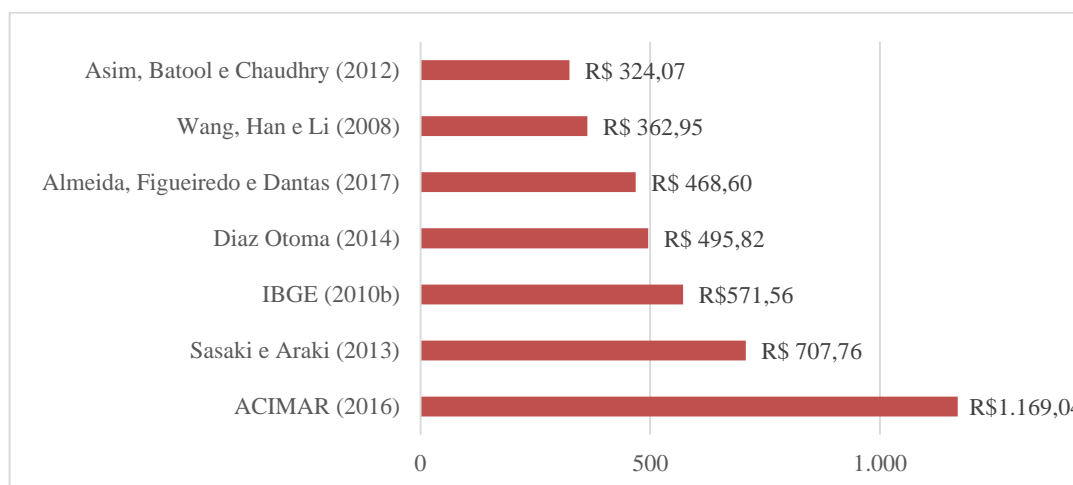


Figura 6.7: Rendimento médio dos catadores em alguns trabalhos pesquisados.

É importante salientar que os ganhos da ACIMAR são maiores que de outros trabalhos porque grande parte dos custos da associação são pagos pela prefeitura de Itajubá, e estes custos não foram incluídos neste Cenário 1. Os Cenários 20 à 25 demonstram melhor qual seria o ganho da associação sem essa ajuda de custo da prefeitura e, a Figura 6.17, faz novamente a comparação destes cenários com estes trabalhos aqui demonstrados. Também é preciso denotar que estes autores descrevem ganhos maiores para alguns grupos de catadores com maior

eficiência, porém os dados demonstrados na Figura 6.7 se referem somente às médias gerais destes ganhos.

6.2 Incremento da taxa de coleta seletiva com venda de materiais para atravessadores

As taxas de chegada da Tabela 6.1 foram inseridas primeiramente nos Cenários de 2 a 10 e, bem como, os dados da Tabela 4.3, que trata dos valores pagos por atravessadores pelos materiais recicláveis da ACIMAR. Não há custos de transporte e nem custos adicionais nestes cenários.

Os dados obtidos com as simulações dos Cenários 2, 3 e 4 e as receitas provenientes de cada um dos materiais estão demonstrados na Figura 6.8. É importante denotar que a Figura 6.8 não mostra os aumentos percentuais destes três cenários com relação ao Cenário 1, e sim, o valor absoluto das receitas dos materiais. Todos estes cenários foram simulados com 50 replicações.

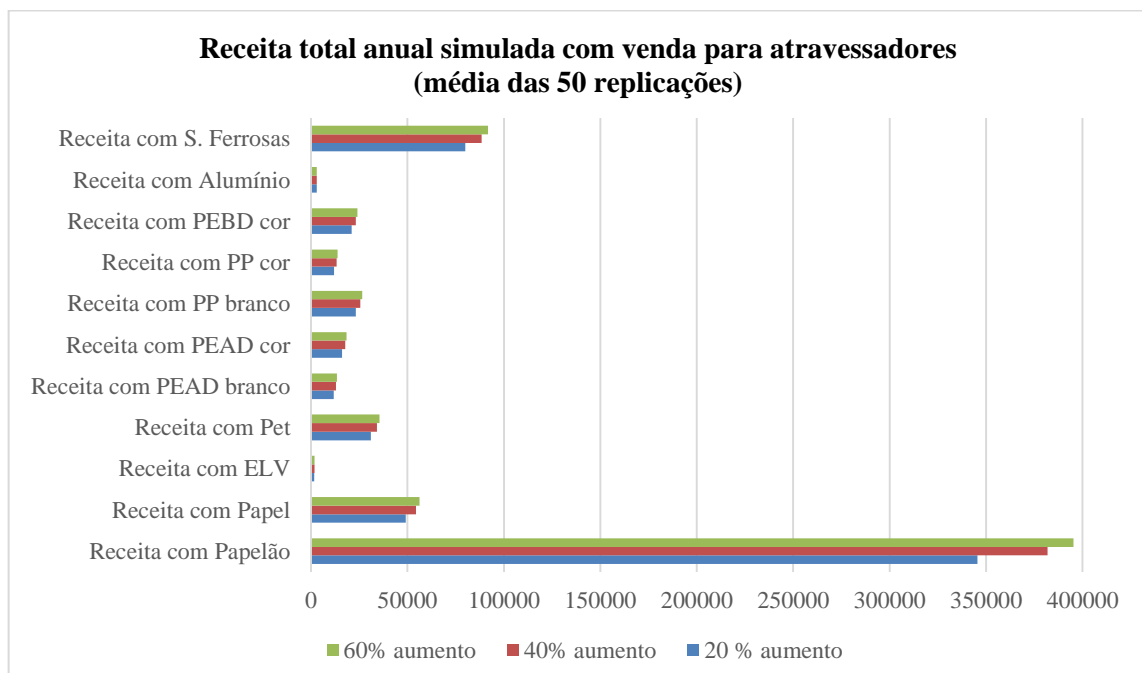


Figura 6.8: Receitas obtidas na simulação de venda de materiais recicláveis anuais para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento na coleta seletiva de RSU em Itajubá, MG. Fonte: Próprio autor.

Percebe-se na Figura 6.9 que foram realizadas simulações para verificar o impacto da utilização dos galpões menores no armazenamento exclusivo de fardos celulósicos, demonstrando os resultados obtidos nos Cenários 5, 6 e 7, em valores absolutos.

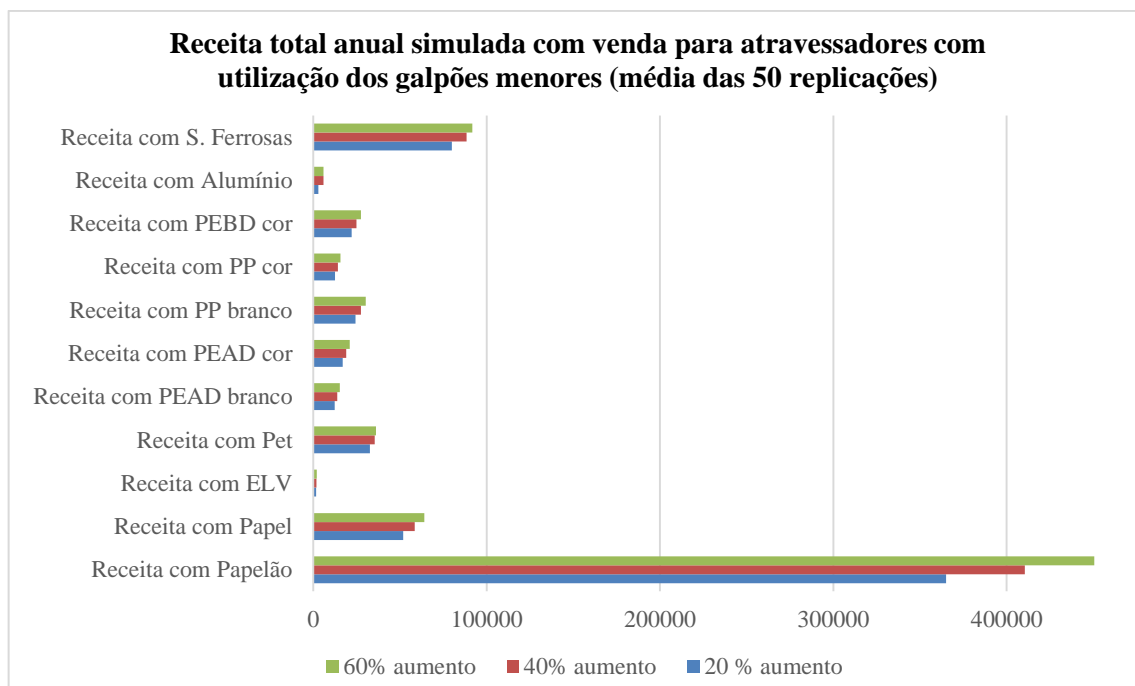


Figura 6.9: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva e, utilização dos galpões menores da ACIMAR para armazenamento. Fonte: Próprio autor.

Também foi possível calcular qual seria o aumento de receita da ACIMAR caso decidisse utilizar os menores galpões para o armazenamento dos fardos celulósicos. Percebe-se que a ACIMAR poderia arrecadar a mais, apenas com essa mudança, de R\$21.146,40 a R\$65.913,32 anuais. Na Tabela 6.5 há a dedução destes valores bem como seus respectivos desvios padrões simulados.

Tabela 6.5: Aumento das receitas anuais da ACIMAR com a utilização de seus galpões menores para armazenagem de fardos celulósicos, com venda exclusiva para atravessadores.

Material	20% aumento	40% aumento	60% aumento
Receita com Papelão	19.542,07 ± 1.105,34	28.677,00 ± 1.642,59	55.226,69 ± 2040,56
Receita com Papel	2.764,34 ± 120,85	4.068,86 ± 230,15	7.858,18 ± 480,3
Receita com ELV	90,34 ± 24,50	137,19 ± 50,45	254,30 ± 53,30
Total	22.396,75 ± 1250,35	32.883,05 ± 1923,19	63.339,16 ± 2574,16

Fonte: Próprio autor.

Por outro lado, ao se fazer a reforma que aumenta a área coberta da ACIMAR (Cenários 8, 9 e 10), percebe-se que a renda anual da associação poderia aumentar bastante com relação a atual. Com o aumento de 60% da coleta de materiais recicláveis a utilização dos atuais dois galpões menores já ficaria saturada, fato este que pode ser observado no aumento pronunciado das receitas provenientes do papelão e papel da Figura 6.10.

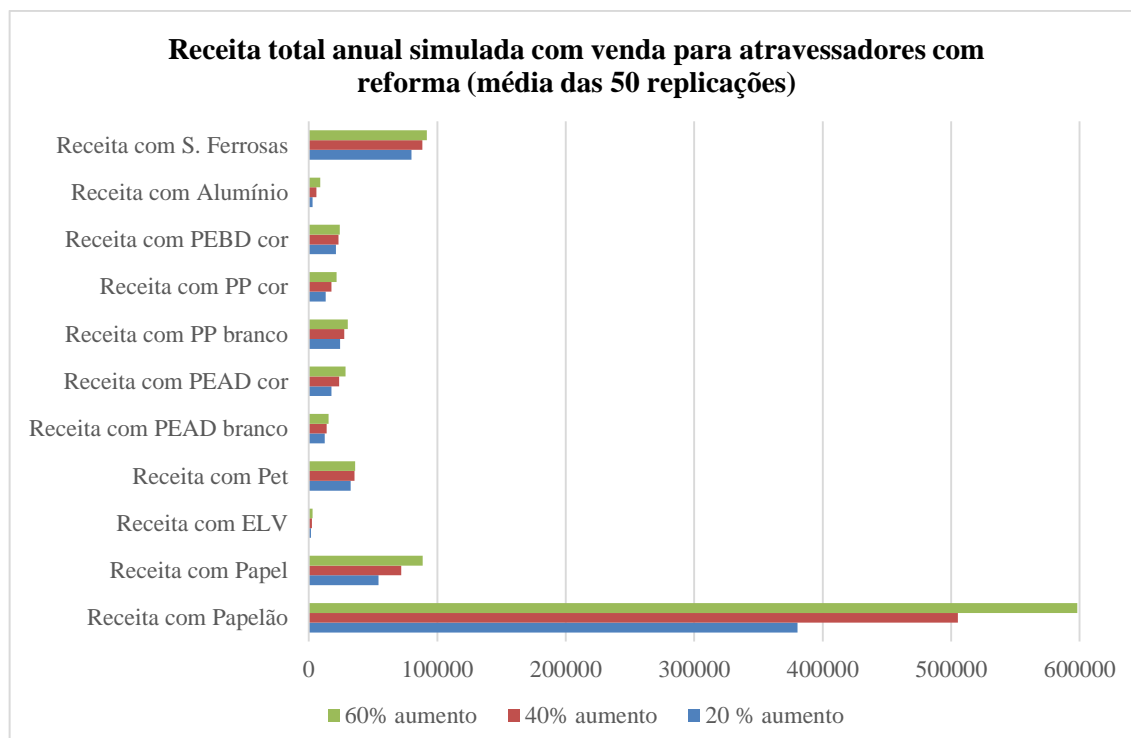


Figura 6.10: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva após reforma da área coberta na ACIMAR. Fonte: Próprio autor.

Da mesma maneira é possível calcular qual seria o aumento de receita da ACIMAR caso decidisse fazer a reforma proposta em sua área coberta. Percebe-se que a ACIMAR poderia arrecadar de R\$88.145,73 a R\$306.101,25 anuais, ou seja, quase R\$729,00 por catador adicionais, isto, obviamente, caso conseguisse também aumentar sua coleta de materiais recicláveis em 60%. Os dados estão demonstrados na Tabela 6.6.

Tabela 6.6: Aumento da receita anual da associação de catadores com a reforma pretendida na ACIMAR.

Material	20 % aumento	40% aumento	60% aumento
Receita com Papelão	34.892,09 ± 2242,87	123.399,74 ± 6.522,71	202.934,14 ± 11399,12
Receita com Papel	54.168,64 ± 190,25	72.039,79 ± 220,95	88.614,18 ± 265,68
Receita com ELV	1.645,52 ± 127,40	2.210,81 ± 132,20	2.745,94 ± 142,70
Total	90.706,25 ± 2560,52	197.650,34 ± 6875,96	294.294,25 ± 11807,50

Fonte: Próprio autor.

Por fim, é factível demonstrar um resumo dos nove cenários apresentados nesta seção, comparando-os com o valor dos ganhos mensais dos catadores simulados obtidos. Desta maneira, o rendimento dos catadores com vendas somente aos atravessadores, sem a utilização do galpões menores (Cenários 2, 3 e 4), com a utilização dos mesmos (Cenários 5, 6 e 7) e com uma possível reforma (Cenários 8, 9 e 10) é demonstrado na Figura 6.11.

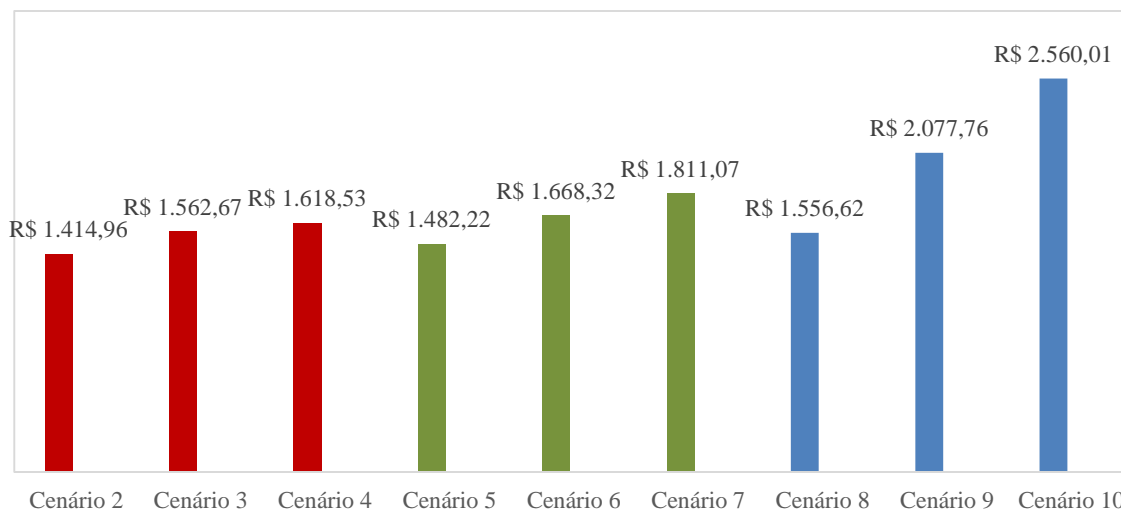


Figura 6.11: Rendimentos mensais dos catadores nos cenários simulados, com vendas para atravessadores.
Fonte: Próprio autor.

Os Cenários 2 a 10 já descritos utilizaram a situação atual da ACIMAR de venda para os atravessadores somente. O próximo grupo de cenários simula quais seriam os ganhos da associação caso fossem vendidos os materiais preferencialmente para as recicladoras.

6.3 Incremento da taxa de coleta seletiva com venda de materiais para recicladoras

Nos Cenários 11 a 19 foram calculados os aumentos da taxa de coleta dos materiais recicláveis também em 20, 40 e 60% a título de comparação, ou seja, as taxas de chegada da Tabela 6.1 também foram inseridas neste grupo de cenários. Também há nestes cenários a utilização do preço pago pelas recicladoras pelos materiais recicláveis, demonstrados na Tabela 4.4. Não há custos de transporte e nem custos adicionais nestes cenários.

Os dados obtidos com as simulações e as receitas provenientes dos Cenários 11, 12 e 13 (sem a utilização dos galpões menores), dos Cenários 14, 15 e 16 (com inclusão dos galpões menores) e Cenários 17, 18 e 19 (com a reforma pretendida para aumentar a área coberta) estão demonstrados nas Figuras 6.12, 6.13 e 6.14. Todos estes cenários foram simulados com 50 replicações.

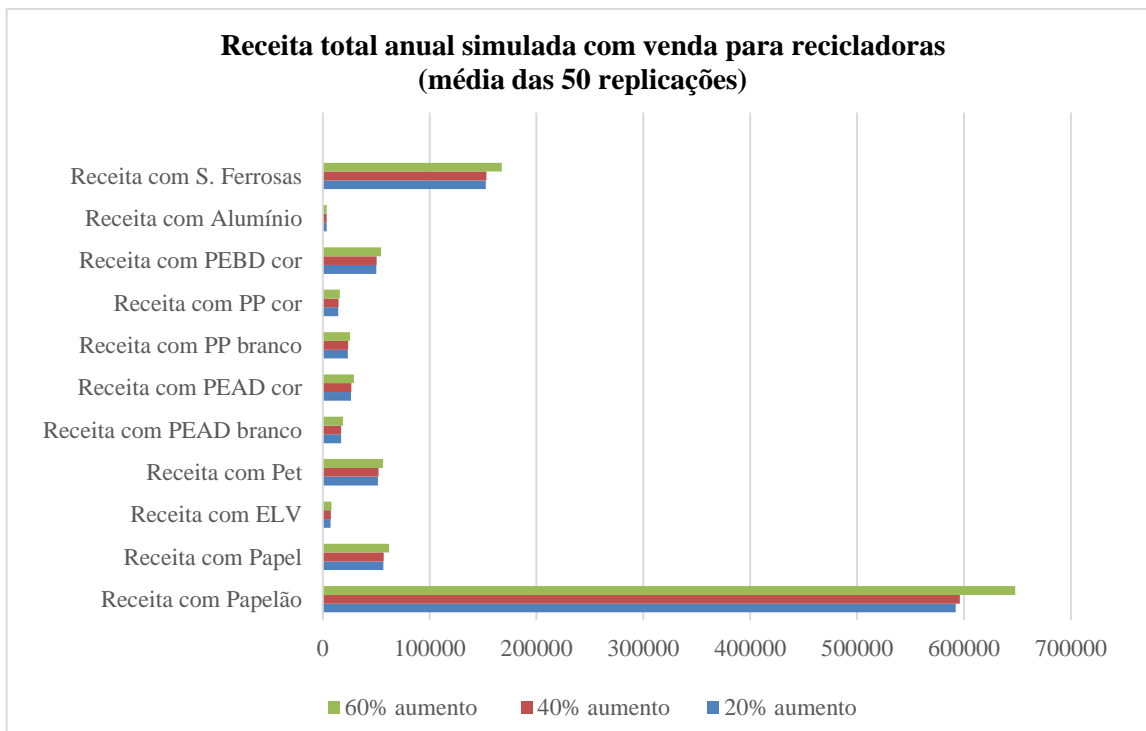


Figura 6.12: Receitas obtidas com vendas preferencialmente às recicladoras com 20%, 40% e 60% do aumento da coleta seletiva, sem a utilização dos galpões menores para armazenamento de fardos celulósicos. Fonte: Próprio autor.

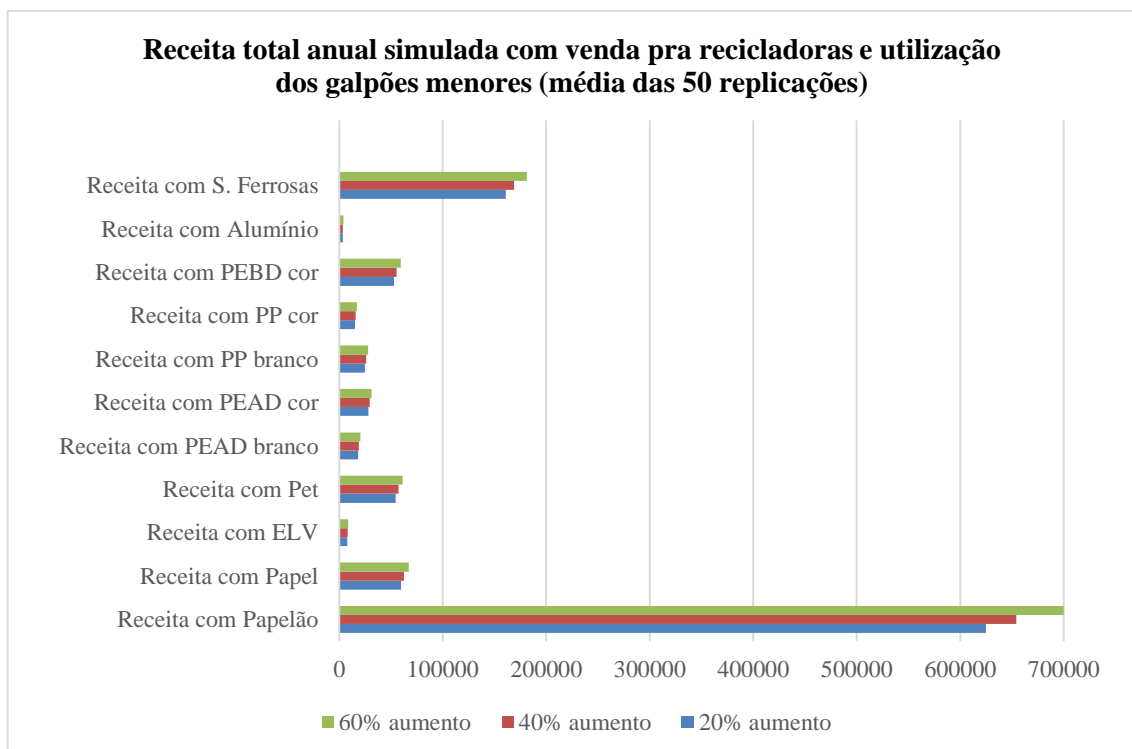


Figura 6.13: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis preferencialmente para recicladoras com 20%, 40% e 60% no aumento da coleta seletiva e, utilização dos galpões menores da ACIMAR para armazenamento de fardos celulósicos. Fonte: Próprio autor.

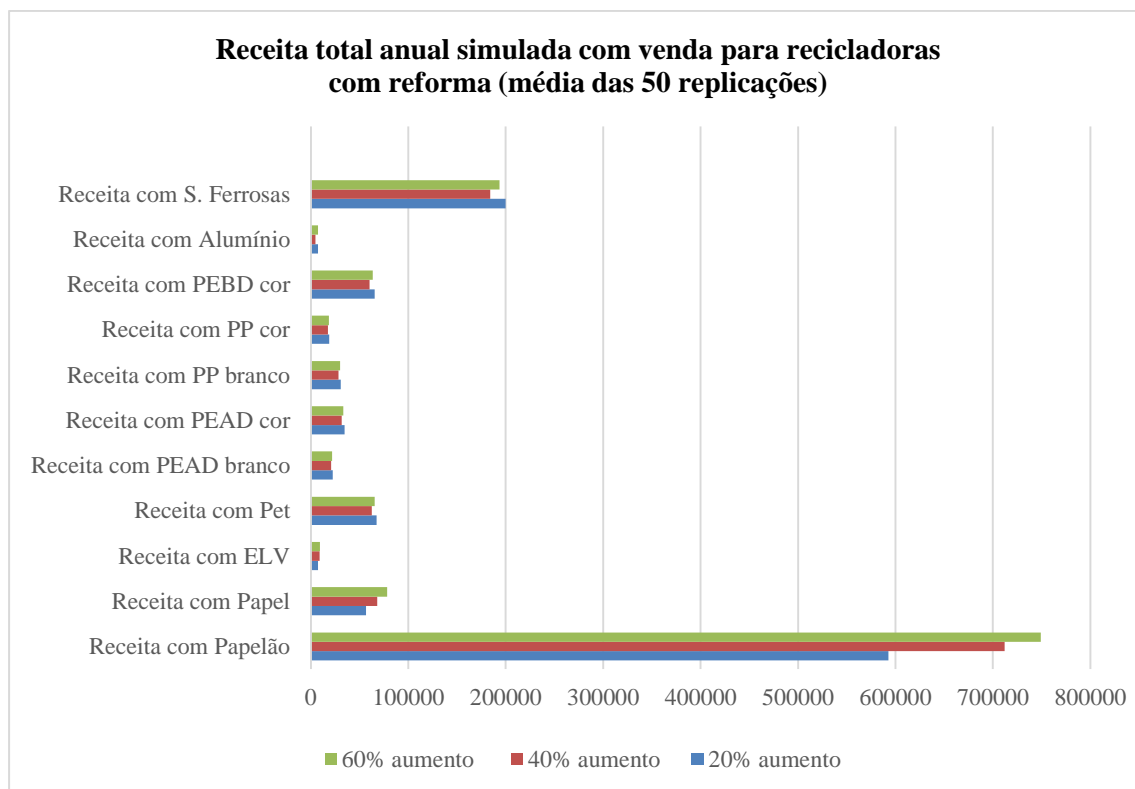


Figura 6.14: Receitas obtidas com a venda de materiais recicláveis para atravessadores com 20, 40 e 60% de aumento da coleta seletiva após reforma na área coberta da ACIMAR. Fonte: Próprio autor.

Da mesma maneira, para este grupo de nove cenários foi possível simular anualmente o quanto seria gasto com transporte (diárias de motoristas) e combustível para levar os materiais recicláveis até as recicladoras da região. Estes valores estão representados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Custo com transporte e combustível anuais para cada um dos cenários da simulação.

Cenários	Custo transporte	Custo combustível
Cenário 11	R\$ 103.800,00	R\$ 56.092,50
Cenário 12	R\$ 104.550,00	R\$ 56.497,50
Cenário 13	R\$ 110.700,00	R\$ 59.827,50
Cenário 14	R\$ 109.650,00	R\$ 59.242,50
Cenário 15	R\$ 114.000,00	R\$ 62.010,00
Cenário 16	R\$ 123.000,00	R\$ 66.442,50
Cenário 17	R\$ 114.000,00	R\$ 61.560,00
Cenário 18	R\$ 125.100,00	R\$ 67.567,50
Cenário 19	R\$ 131.700,00	R\$ 71.167,50

Fonte: Próprio autor.

Por fim, é factível demonstrar um resumo dos nove cenários apresentados nesta seção, comparando-os no valor simulado dos ganhos mensais dos catadores. Desta maneira, os rendimentos dos catadores sem a utilização dos galpões menores (Cenários 11, 12, e 13), com

a utilização dos mesmos (Cenários 14, 15 e 16) e com uma reforma que amplie a área coberta (Cenários 17, 18 e 19), com vendas preferencialmente para recicladoras, estão demonstrados na Figura 6.15.

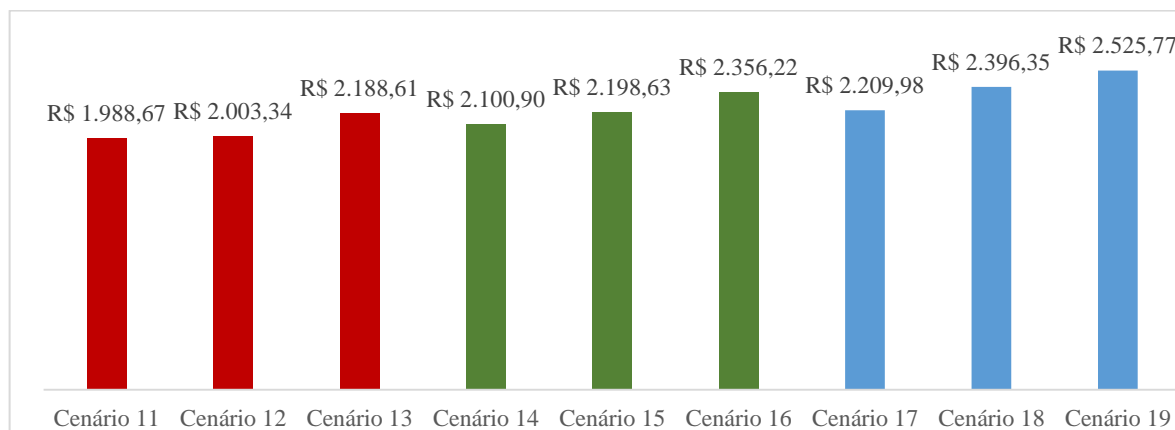


Figura 6.15: Rendimentos mensais dos catadores com vendas preferencialmente para recicladoras.

Comparando os cenários de vendas somente para atravessadores com os cenários de vendas preferencialmente para recicladoras têm-se a Tabela 6.8. Percebe-se nesta tabela um fato interessante, que para um aumento de 60% da taxa de coleta dos materiais recicláveis da ACIMAR, os ganhos da associação são maiores com a venda para os atravessadores. Isso se dá principalmente pelas grandes distâncias que devem ser percorridas até a recicladora de papel utilizada neste trabalho (185 km) e, também, porque mais da metade dos materiais coletados pela ACIMAR são materiais celulósicos (papel, papelão, e ELVs). Por razão da capacidade máxima dos caminhões de transporte utilizados na simulação ser 8 toneladas, percebe-se neste caso que é mais viável economicamente a venda para atravessadores da região, se realmente houver um aumento de 60% da taxa de coleta destes materiais por parte da ACIMAR.

Tabela 6.8: Comparação entre cenários de vendas para recicladoras e cenários de vendas para atravessadores.

Comparação	Valor
Cenário 11/ Cenário 2	140,5%
Cenário 12 / Cenário 3	128,2%
Cenário 13 / Cenário 4	135,2%
Cenário 14 / Cenário 5	140,8%
Cenário 15 / Cenário 6	130,3%
Cenário 16 / Cenário 7	127,1%
Cenário 17 / Cenário 8	142,0%
Cenário 18 / Cenário 9	115,3%
Cenário 19 / Cenário 10	98,7%

Este fato curioso demonstrado na Tabela 6.8 pode despertar os associados da ACIMAR a buscar alternativas para melhor planejar a coleta seletiva em um futuro próximo. Pode se pensar em estratégias como, por exemplo, alugar caminhões com capacidade maior de armazenamento para realizar este transporte dos fardos celulósicos até a recicladora de papel em Jacareí, ou, até mesmo, encontrar alguma outra recicladora de papel que seja localizada mais perto de Itajubá, mesmo que pague um valor um pouco menor por estes materiais. A ACIMAR poderia também pedir uma alteração em seu convênio com a prefeitura para que seja possível que o caminhão e o motorista utilizados na coleta seletiva dentro da microrregião de Itajubá possam realizar também o transporte até as recicladoras. É importante salientar que o preço pago pelas recicladoras pode variar durante o ano e também entre os anos, sendo, desta forma, de interesse da ACIMAR avaliar estas variações melhor no futuro e inseri-las novamente em simulações de cenários adicionais.

6.4 ACIMAR atuando de maneira autônoma

Segundo o IBAM (2012), o custo de operação de um galpão de triagem e beneficiamento (GTB) é de R\$ 66,00 por tonelada de material reciclado. Tais valores foram adotados como referência por se tratar de um estudo bem detalhado e amplo sobre implantação de coleta seletiva e LR nos municípios, além da dificuldade de se conseguir tais dados na prática. Os custos de operação para um GTB no estudo são considerados conforme a população dos municípios, neste caso considerou-se 100.000 habitantes. Nos custos de operação são contabilizados valores referentes aos gastos com energia elétrica, manutenção e conservação, uniformes e Equipamentos de Proteção Individual, dentre outros. De acordo com o CEMPRE (2016), o custo da coleta seletiva no país é de R\$389,46 em média por tonelada coletada, e este dado também será inserido nestes cenários que averigam a possibilidade da ACIMAR tentar se manter de maneira autônoma.

Um outro fator a ser considerado é que, como se percebeu em cenários anteriores, a utilização dos galpões menores para armazenamento dos fardos celulósicos é útil financeiramente, portanto, os próximos cenários utilizam os aumentos da Tabela 6.1 já incluindo estes galpões menores (Cenários 20, 21 e 22) e, também, a reforma pretendida para a área coberta (Cenários 23, 24 e 25). Para estes cenários entende-se que é necessário que a ACIMAR venda os materiais recicláveis preferencialmente às recicladoras, já que estas pagam melhor. Há um consenso dentre os catadores da associação que se quiserem atuar de forma autônoma necessariamente terão que começar a organizar a venda dos materiais recicláveis para

as recicladoras, não sendo possível apenas vendê-los aos atravessadores como é feito atualmente. Os dados referentes aos rendimentos mensais dos catadores com a ACIMAR atuando de maneira autônoma são apresentados na Figura 6.16.

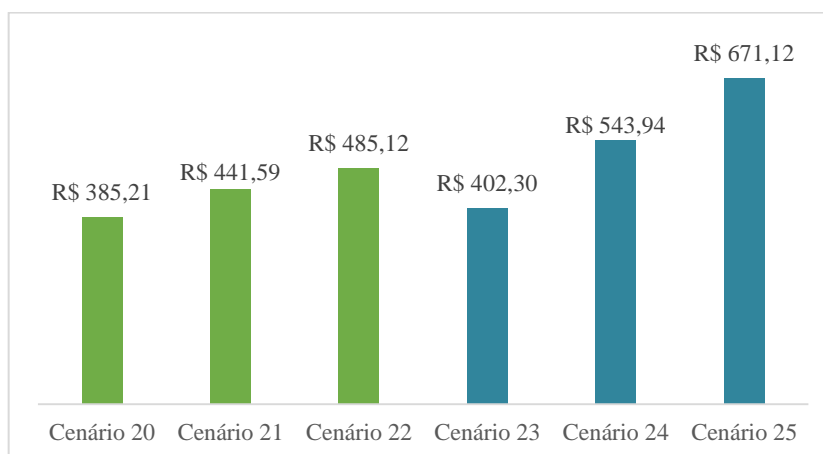


Figura 6.16: Rendimentos mensais dos catadores com a ACIMAR autônoma e venda preferencialmente às recicladoras. Fonte: Próprio autor.

Da mesma maneira, para este grupo de seis cenários foi possível simular anualmente o quanto seria gasto com transporte (diárias de viagem) e combustível para levar os materiais recicláveis até as recicladoras da região. Estes valores estão representados na Tabela 6.7.

Tabela 6.7: Custo com transporte e combustível anuais para cada um dos cenários da simulação.

Cenários	Custo transporte	Custo combustível
Cenário 20	R\$ 106.650,00	R\$ 57.222,50
Cenário 21	R\$ 111.000,00	R\$ 60.914,50
Cenário 22	R\$ 122.400,00	R\$ 62.231,00
Cenário 23	R\$ 112.650,00	R\$ 58.430,25
Cenário 24	R\$ 123.150,00	R\$ 64.105,00
Cenário 25	R\$ 127.800,00.	R\$ 68.868,25

Fonte: Próprio autor.

Também é possível comparar os valores dos rendimentos mensais obtidos nos Cenários 20 a 25 com os valores obtidos nos cenários onde a ACIMAR mantém seu convênio com a prefeitura de Itajubá, no caso os Cenários 5 a 10, que incluem os galpões menores na simulação e a reforma da área coberta. A comparação entre os cenários está descrita na Tabela 6.9.

Este convênio com a prefeitura garante para a associação um caminhão emprestado, o salário do motorista e o custo com combustível utilizado nas rotas de coleta seletiva dentro da microrregião de Itajubá, além das despesas com eletricidade, água, telefone e internet. Percebe-

se na Tabela 6.9 que os ganhos dos catadores neste caso seriam próximos a 26% do atuais rendimentos.

Tabela 6.9: Comparação entre cenários da ACIMAR autônoma e cenários onde há o convênio com a prefeitura.

Comparação	Valor relativo
Cenário 20 / Cenário 5	26,0%
Cenário 21 / Cenário 6	26,2%
Cenário 22 / Cenário 7	26,8%
Cenário 23 / Cenário 8	25,9%
Cenário 24 / Cenário 9	26,2%
Cenário 25 / Cenário 10	26,2%

Pode-se comparar novamente os rendimentos dos catadores da ACIMAR e dos catadores descritos em outros trabalhos utilizados na pesquisa previamente demonstrados na Figura 6.7. É possível perceber agora que, sem o convênio com a prefeitura, os rendimentos da ACIMAR estariam situados mais perto da média descritas nestes trabalhos, fato observado na Figura 6.17.

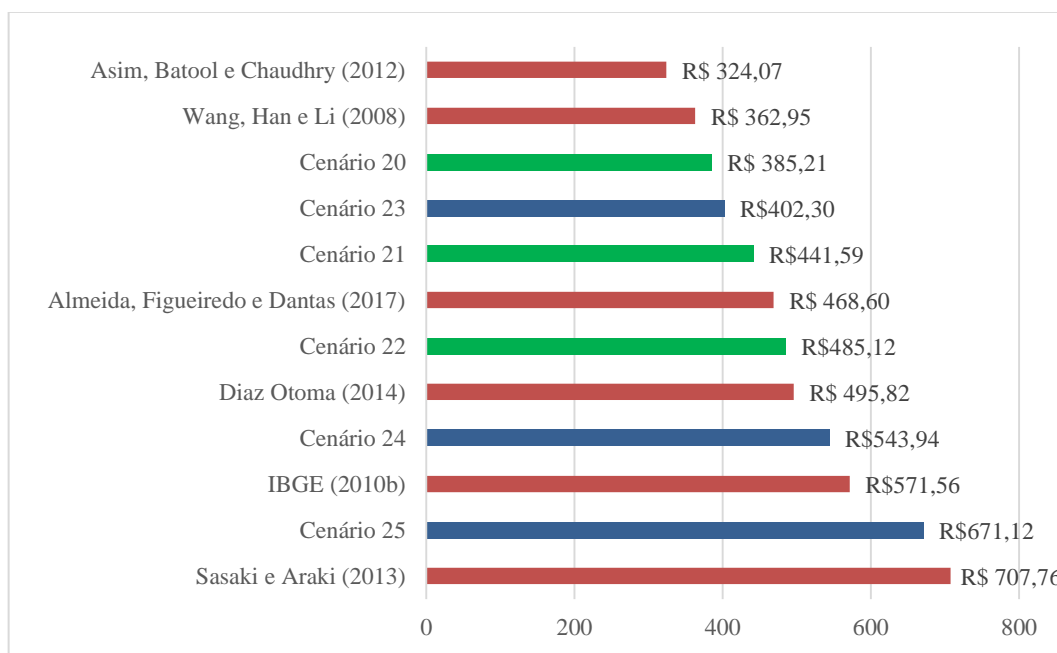


Figura 6.17: Rendimento médio dos catadores em alguns trabalhos pesquisados e cenários apresentados.

Portanto, mostra-se na Figura 6.17 que os rendimentos obtidos nos Cenários 20 a 25 são baixos e, incapazes de sustentar financeiramente um catador que trabalha em torno de 45 horas por semana. Os associados devem tentar de todas as maneiras não perder esse convênio com a prefeitura de Itajubá e saber que, no eventual caso do órgão municipal vir novamente a faltar

com seus compromissos, os associados talvez não deveriam seguir atuando de maneira autônoma.

Por outro lado, os associados poderiam tentar se arriscar a operar de maneira autônoma se conseguissem se qualificar melhor e buscassem também aumentar a eficiência da associação, ou seja, que tentassem incrementar a quantidade de material reciclável coletada por catador.

6.5 ACIMAR e as cidades integrantes do Consórcio CIMASAS

Estima-se que a ACIMAR recicle de 6 a 7% do total de materiais recicláveis de Itajubá e por volta de 3 a 3,5% do total de materiais recicláveis de todas as cidades integrantes do Consórcio CIMASAS somadas, segundo dados da SEMEA, secretaria do meio ambiente de Itajubá. Portanto, pode-se concluir que ACIMAR recicle por volta de 700 a 750 toneladas anuais de RSU do município. Grande parte dos materiais recicláveis em Itajubá ainda são enviados ao aterro sanitário ou, estão diluídos em várias outras entidades recicladoras da cidade. A Figura 6.18 representa as porcentagens calculadas de reciclagem feita pela ACIMAR em 2016, no município de Itajubá.

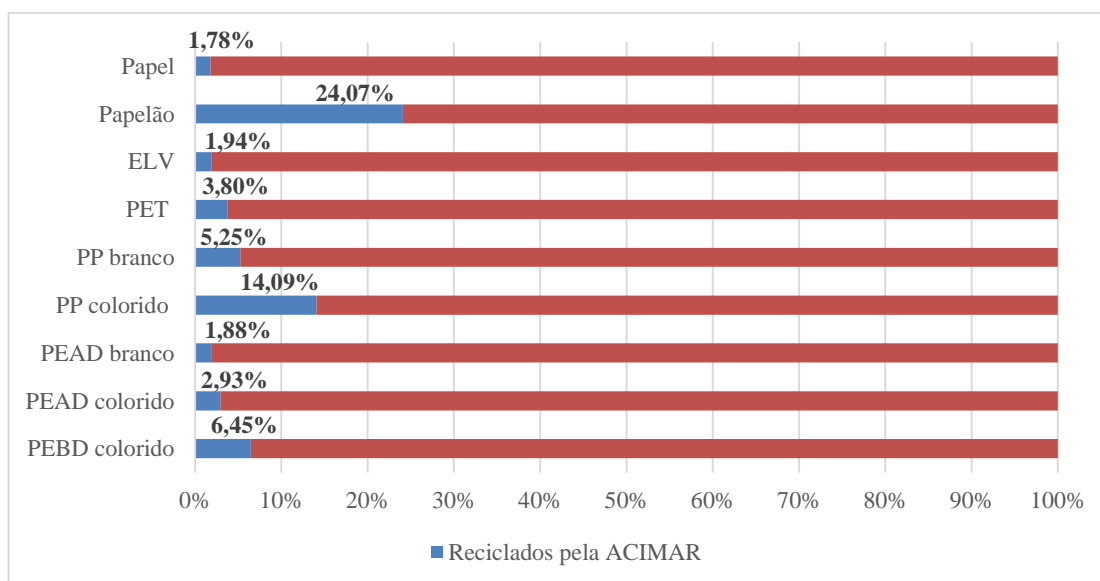


Figura 6.18: Porcentagem de reciclagem feita pela ACIMAR em 2016 no município de Itajubá.
Fonte: Próprio autor.

Os dados da Figura 6.18 foram obtidos através da multiplicação do valor do peso médio dos fardos, da Tabela 4.1, pelo número de fardos encontrados na simulação do cenário atual (Cenário 1) da Figura 6.5. Não foi possível obter os valores para as sucatas ferrosas e para o alumínio duro porque estes não formam fardos. Por fim, houve a divisão da quantidade reciclada pela ACIMAR pela quantidade total de cada material reciclável encontrada para o

município de Itajubá. A quantidade total de cada material em Itajubá foi calculada através do Teste de Gravimetria, onde foi possível obter a quantidade dos materiais recicláveis em cada cidade do Consórcio CIMASAS, demonstrada na Figura 4.11 anteriormente. A Tabela 6.10 elucida estes dados e os valores encontrados.

Tabela 6.10: Cálculo de porcentagens de reciclagem referentes à ACIMAR em 2016, no município de Itajubá.

Material	Peso médio fardos (kg)	Número de fardos (Cenário 1)	Quantidade reciclada ACIMAR (ton)	Total de recicláveis de Itajubá (ton)	Porcentagem referente à ACIMAR
Papel	167,1	329	55,0	3086,1	1,78%
Papelão	254,4	1187	302,0	1254,3	24,07%
ELVs	185,8	81	15,0	776,5	1,94%
PET	96,2	236	22,7	597,3	3,80%
PP branco	140,7	78	11,0	209,1	5,25%
PP colorido	138,9	212	29,4	209,1	14,09%
PEAD branco	139	66	9,2	487,8	1,88%
PEAD colorido	118,2	121	14,3	487,8	2,93%
PEBD colorido	134,2	225	30,2	467,9	6,45%

Fonte: Próprio autor.

Para os Cenários 26 a 28 estimou-se que, a ACIMAR poderia reciclar a mesma porcentagem do total de materiais recicláveis que já realiza em Itajubá também nas outras cidades integrantes do Consórcio CIMASAS. Inicialmente considerou-se que o caminhão da coleta seletiva em posse da associação poderia coletar os materiais recicláveis destas cidades aproveitando o convênio firmado com a prefeitura de Itajubá, uma vez que todos estes municípios fazem parte da microrregião da cidade. No entanto, esse transporte deveria ocorrer necessariamente após as 16:00 horas e aos fins de semana, já que o caminhão da ACIMAR é utilizado de segunda a sexta-feira durante as manhãs e início das tardes na coleta seletiva em Itajubá. Por fim, as cidades integrantes do consórcio são cidades pequenas, com exceção de Santa Rita do Sapucaí, que é uma cidade média. Dessa maneira, as quantidades de materiais recicláveis referentes a Santa Rita do Sapucaí não serão inseridas no modelo uma vez que, para esta cidade, deveria haver um caminhão de coleta seletiva exclusivo, devido ao seu tamanho.

Para que a coleta seletiva possa acontecer então nas outras cidades integrantes do Consórcio CIMASAS no período noturno e finais de semana, é necessário que haja o pagamento de um motorista extra. Os Cenários 26 a 28 incluem um gasto com um motorista extra de R\$1500,00 mensais, mesmo valor do salário pago pela prefeitura de Itajubá ao motorista atual da ACIMAR. Alguns outros custos, como por exemplo o adicional noturno, elevariam esse salário a R\$2500,00 mensais, e este é o valor que será adicionado ao custo de transporte no modelo computacional. Os custos com o combustível não serão incluídos na

simulação porque espera-se que, ao menos, o custo com combustível possa ser pago pela prefeitura de Itajubá, ou por uma das outras cidades do consórcio. Por fim, também se considera nestes cenários os custos relacionados a ida e volta até as recicladoras da região para levar os materiais recicláveis.

Este grupo de cenários é o único grupo onde não se utiliza os valores das distribuições de aumento da taxa de coleta mostradas na Tabela 6.1. Nestes cenários foram utilizadas distribuições uniformes inseridas diretamente no *software* Promodel®, com seus respectivos desvios padrões. Os desvios padrões foram encontrados em IBGE (2010 b) e CIMASAS (2014), onde se apresenta os valores referentes aos anos de 2010 a 2013 do total de RSU coletados em todas as cidades integrantes do Consórcio CIMASAS. As variações do total de cada material reciclável, nestes anos, compuseram então os dados dos desvios padrões do modelo. Estes desvios padrões foram inicialmente inseridos no Cenário 26, cenário que representa a coleta das cidades integrantes do consórcio com as mesmas taxas de reciclagem que a ACIMAR realiza em Itajubá, sem a inclusão da cidade de Santa Rita do Sapucaí, como dito anteriormente. Nos cenários 27 e 28 estimou-se um aumento de 20 e 40% nos valores encontrados no Cenário 26 e estes foram calculados através do acréscimo de 20 e 40% nas médias e, respectivamente, nos desvios padrões. Não se estimou em 60% esse aumento como anteriormente feito em outros grupos de cenários porque não se acha factível que ocorra, ao menos no curto prazo, um aumento de 60% da coleta seletiva de todas estas cidades do Consórcio CIMASAS. Muitas destas cidades nunca tiveram a cultura da coleta seletiva, até mesmo por serem algumas delas muito pequenas, e estima-se portanto que, haveria uma certa demora para que esses aumentos de 20 e 40% se realizassem, quanto mais um aumento de 60%. Não seria real, por estas razões, simular um aumento de 60% nestes cenários. Dessa maneira, as médias e os desvios padrões utilizados para compor os Cenários 26, 27 e 28 estão descritos na Tabela 6.11.

Para estes cenários também se considera que a reforma pretendida para aumentar a área coberta da associação de catadores já tenho sido feita, haja vista que a capacidade atual de armazenamento da ACIMAR, mesmo incluindo os galpões menores, não seria suficiente para acomodar a quantidade de materiais celulósicos provenientes de todas estas cidades. Seria inócuo considerar portanto, para este cenários, uma capacidade de armazenamento menor que 1558 fardos celulósicos, dado esse inserido no local ACIMAR fantasma do modelo computacional.

Tabela 6.11: Dados de taxa de chegada inseridos nos Cenários 26, 27 e 28.

Material	Cenário 26		20% aumento		40% aumento	
	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão	Média	Desvio Padrão
Papel	297,9	24,3	357,5	48,5	417,1	72,8
ELVs	81,6	16,8	97,9	33,6	114,2	50,5
Papelão	1636,5	27,1	1963,8	54,2	2291,1	81,3
PET	123,0	12,6	147,6	25,3	172,2	37,9
PEBD colorido	163,6	10,1	196,4	20,3	229,1	30,4
PEAD colorido	77,5	10,5	93,0	20,9	108,5	31,3
PEAD branco	49,7	20,9	59,7	20,9	69,6	31,3
PP cor	159,6	4,5	191,5	8,9	223,4	13,3
PP branco	59,5	4,5	71,4	8,9	83,3	13,3

Os Cenários 26, 27 e 28 foram simulados com 50 replicações. As receitas com as vendas dos materiais recicláveis, com exceção das sucatas ferrosas e do alumínio duro (por estes não estarem incluídos nas distribuições de taxa de chegada) estão demonstradas na Figura 6.19.

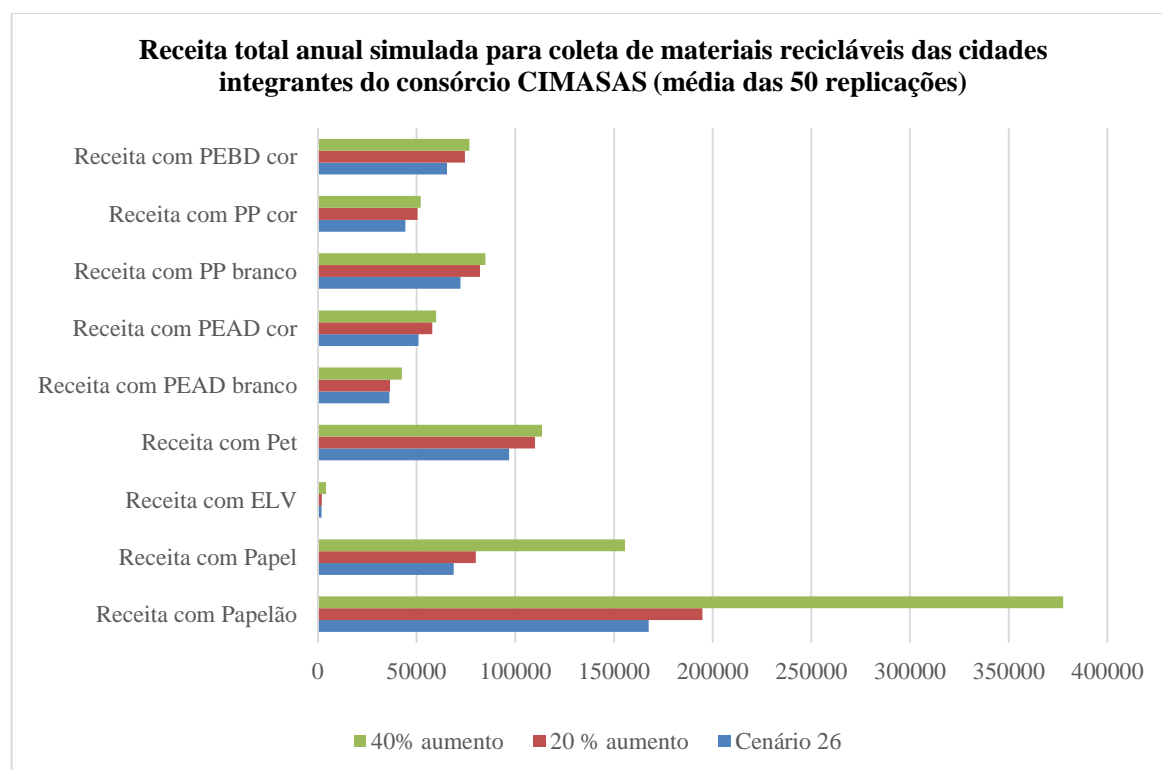


Figura 6.19: Cenários simulados com a coleta seletiva de cidades do consórcio CIMASAS, com exceção de Santa Rita do Sapucaí, e respectivos aumentos de 20 e 40%. Fonte: Próprio autor.

Da mesma maneira calculou-se os custos com transporte e combustível na coleta seletiva das cidades integrantes do Consórcio CIMASAS (com exceção da cidade de Santa Rita do Sapucaí) com o valor do motorista incluído no custo do transporte. O resultado dessa simulação está demonstrado na Tabela 6.12.

Tabela 6.12: Custos com transporte e combustível na coleta seletiva de cidades do Consórcio CIMASAS.

Cenários	Custo transporte	Custo combustível
Cenário 26	R\$ 91.200,00	R\$ 47.450,00
Cenário 27	R\$ 114.000,00	R\$ 59.280,00
Cenário 28	R\$ 151.950,00	R\$ 79.040,00

Fonte: Próprio autor.

Os valores referentes aos rendimentos médios obtidos por catador na simulação dos Cenários 26, 27 e 28 estão demonstrados na Figura 6.20. Ao se comparar estes cenários com outros cenários que já incluíam a reforma da área coberta da ACIMAR e também a venda para recicladoras (Cenários 17, 18 e 19), e, retirando também destes as receitas referentes às sucatas ferrosas e ao alumínio duro, percebe-se que o rendimento dos catadores da ACIMAR são menores quando estes participam da coleta seletiva das cidades integrantes do Consórcio CIMASAS do que quando participam da coleta seletiva somente da cidade de Itajubá.

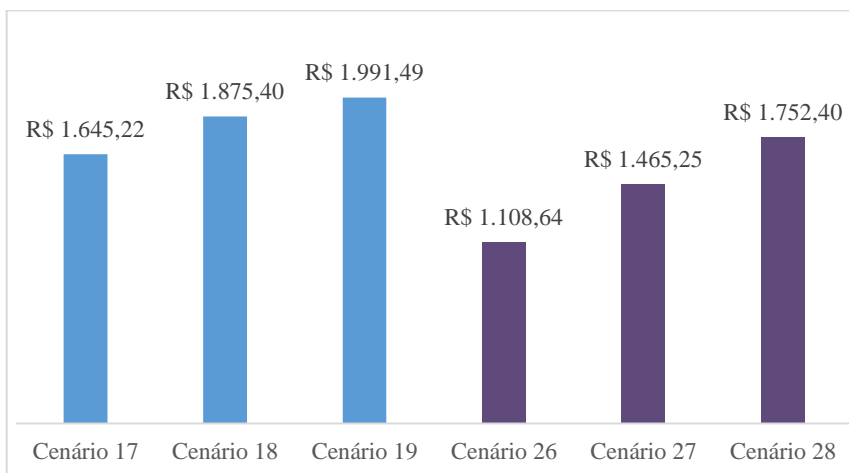


Figura 6.20: Rendimentos obtidos com a participação da ACIMAR na coleta seletiva das cidades do consórcio CIMASAS (Cenários 26 a 28) e rendimentos com coleta realizada somente em Itajubá. Fonte: Próprio autor.

Pode-se concluir que, se a ACIMAR tiver que arcar com o salário de um novo motorista, não é viável participar da coleta seletiva de outras cidades do Consórcio CIMASAS. No entanto, se alguma outra cidade do consórcio se disponibilizar a fazer um convênio com a ACIMAR nos mesmos moldes do atual convênio da associação com a prefeitura de Itajubá (com o fornecimento de um caminhão de coleta seletiva e o pagamento do valor gasto com o combustível), isto poderia ajudar a aumentar o rendimento dos catadores. Caso isso não venha a ocorrer, a ACIMAR e os catadores devem se concentrar somente na coleta seletiva da cidade de Itajubá.

7. CONCLUSÕES

7.1 Considerações iniciais

O objetivo deste trabalho foi elaborar estratégias que possibilitassem aumentar o rendimento dos catadores de materiais recicláveis da ACIMAR, Associação de Catadores Itajubense de Materiais Recicláveis, através do uso da Modelagem e Simulação computacional. Através do método de análise proposto foi possível considerar duas alternativas que a associação poderia tomar com relação a sua capacidade de armazenamento de fardos celulósicos, dentre estas, a utilização de seus galpões menores de 125m² e 63m², ou, a concretização de uma reforma que aumentasse a área coberta da associação em 210m². Outras alternativas envolviam a decisão de vender os materiais recicláveis preferencialmente para as recicladoras e, a possibilidade da associação de catadores se manter de maneira autônoma, sem o convênio atual com a prefeitura de Itajubá. Por fim, houve a criação de cenários que permitissem avaliar a participação da associação na coleta seletiva de cidades pertencentes a um consórcio intermunicipal de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos, o Consórcio CIMASAS. Assim, conforme o objetivo descrito, é possível denotar que este trabalho atinge o que foi proposto e portanto, apresenta-se as conclusões obtidas neste presente trabalho, os resultados práticos e por fim, as sugestões para pesquisas futuras.

7.2 Conclusões obtidas com a pesquisa

Em relação a simulação utilizada neste trabalho, esta se apresentou como uma ferramenta viável ao permitir uma maior compreensão do funcionamento do sistema a ser estudado e possibilitou a elaboração de estratégias de aumento de rendimento dos catadores através de análises de 28 cenários. Percebeu-se também que as ferramentas e recursos disponíveis no *software* Promodel[®] supriram as necessidades do modelo de simulação com suas peculiaridades de maneira satisfatória.

Percebeu-se durante as simulações que a ACIMAR necessita pensar no uso de seus galpões menores para armazenar seus fardos celulósicos (fardos de papel, papelão e embalagens longa vida). A ACIMAR poderia arrecadar apenas com essa mudança de R\$21.146,40 a R\$65.913,32 anuais, caso houvesse também um aumento da coleta seletiva de 20 a 60% de materiais recicláveis em Itajubá, cidade onde está localizada. Com relação a reforma pretendida pela ACIMAR para aumentar sua área coberta em 210m², esta poderia ajudar a associação a

arrecadar de R\$88.145,73 a R\$306.101,25 anuais, implicando em quase R\$729,00 adicionais por catador mensalmente, isto, obviamente, caso também conseguisse aumentar sua coleta de materiais recicláveis em 60%.

Devido ao fato da associação arcar com os custos do transporte dos materiais recicláveis até as recicladoras, percebeu-se nas simulações que para um aumento de 60% da coleta seletiva (devido à longa distância da recicladora de papel escolhida e baixa capacidade de transporte dos caminhões utilizados), neste caso seria mais vantajoso para ACIMAR vender estes fardos celulósicos para atravessadores de Itajubá. Assim como descrito em Castilhos Junior *et al.* (2013) e em Coletto e Bisschop (2017), a ausência de indústrias recicladoras de materiais nas proximidades dos grupos de catadores e a não disponibilização de caminhões por essas indústrias são fatores que contribuem para o baixo rendimento dos catadores. A ACIMAR poderia então criar estratégias, tais como alugar caminhões com capacidade maior de armazenamento, ou, até mesmo, vender à outra recicladora de papel localizada mais perto mesmo se o valor pago pelos materiais for menor.

Pode-se concluir também que, ao tentar atuar de maneira autônoma, os rendimentos mensais dos catadores da ACIMAR cairiam para apenas 26% do total dos rendimentos obtidos atualmente, incluindo neste caso a manutenção do convênio atual da prefeitura de Itajubá. O rendimento dos catadores portanto, não seria suficiente para manter de maneira adequada um indivíduo e suas necessidades básicas. Neste caso os associados deveriam saber que se o órgão municipal vir novamente a faltar com seus compromissos estes não devem continuar sua atuação de maneira autônoma. No entanto, uma melhor qualificação destes associados e um hipotético aumento da quantidade de materiais recicláveis recolhida por catador poderiam mudar reverter de alguma maneira este quadro.

Com relação a coleta seletiva das cidades integrantes do Consórcio CIMASAS, percebeu-se nas simulações que, caso não houver um convênio parecido com o da prefeitura de Itajubá com alguma outra cidade deste consórcio, ou seja, um empréstimo do caminhão de coleta seletiva e o pagamento do valor gasto com combustível), seria inviável se iniciar a coleta em outras cidades. O rendimento dos catadores seria menor neste caso, portanto, somente a coleta seletiva da cidade de Itajubá deveria ser focada. A cidade de Santa Rita do Sapucaí seria o melhor lugar para se tentar estabelecer um convênio parecido, haja vista que a cidade é grande o suficiente para ter um caminhão de coleta seletiva exclusivo na coleta do seus materiais recicláveis.

Concluiu-se também que, após a implantação de uma cooperativa de catadores, é importante que o poder público continue oferecendo apoio institucional de forma a suprir as carências básicas que prejudicam seu bom desempenho. Entre as principais ações que deveriam ser empreendidas pode-se destacar: o apoio administrativo e contábil com a contratação de um profissional responsável pela gestão da cooperativa; fornecimento de uniformes e equipamentos de proteção; implementação de programas de educação ambiental para os catadores e; auxílio financeiro para manutenção do galpão de triagem e beneficiamento. É recomendável que a associação também conte com um pequeno capital de giro de forma a assegurar um rendimento mínimo aos catadores até o restabelecimento de melhores condições de comercialização.

7.3 Resultados práticos obtidos

Como resultado prático do trabalho, com o intermédio da INTECOOP e posteriormente com a ajuda de um gestor ambiental, a ACIMAR passou a ter os registros de venda de fardos e outros materiais de maneira eletrônica, passando a ter um controle melhor de suas operações, divisões de tarefas e oferecendo assim, remunerações mais justas aos seus associados. Antes de 2015 haviam apenas registros e recibos escritos, que mal organizados e armazenados, se perdiam ou até mesmo não eram contabilizados pela associação. A divisão das receitas entre os associados passou a ser feita de maneira mais transparente, com a emissão de holerites e descontos por faltas. Empréstimos feitos à associação, que anteriormente eram tomados com juros muito altos e sem nenhum planejamento, acabaram após a realização deste trabalho.

Pode-se ainda definir como resultado prático indireto desse trabalho o maior volume recolhido de materiais recicláveis que seriam destinados a aterros ou a inadequada disposição. Segundo o IPEA (2010), os benefícios econômicos e ambientais da reciclagem estão associados à própria reutilização do material na cadeia produtiva, a economia de energia e água e a redução de poluentes. Uma breve estimativa dos benefícios da reciclagem feita pela ACIMAR no ano de 2015, em Itajubá, descontando os custos associados à coleta seletiva e disposição final dos RSU, é demonstrada na Tabela 7.1 e Tabela 7.2. Foi calculada uma estimativa em torno de R\$508.152,00 de benefícios obtidos ao se considerar a coleta seletiva feita pela associação no ano de 2015.

Tabela 7.1: Benefícios econômicos e ambientais gerados pela reciclagem feita pela ACIMAR em Itajubá, em 2015.

Materiais	Benefícios relacionados ao processo produtivo (R\$/ ton)		Custos associados à gestão dos RSU (R\$/ ton)		Benefício Total (R\$/ ton)
	Benefícios econômicos	Benefícios ambientais	Coleta Seletiva	Disposição Final	
Celulose	330	24	136	23	241
Plástico	1.164	56	136	23	1.107
Vidro	120	11	136	23	18

Fonte: adaptado de IPEA (2010)

Tabela 7.2: Estimativa dos benefícios obtidos pela ACIMAR com a reciclagem em 2015.

Materiais	Quant.Total vendida (ton)	Benefícios relacionados ao processo produtivo (R\$/ton)		Custos associados à gestão dos RSU (R\$/ton)		Benefício Total (R\$/ton)
		Benefícios econômicos	Benefícios ambientais	Coleta Seletiva	Disposição Final	
Celulose	372	122.760	8.928	50.592	8.556	89.652
Plástico	204	433.008	20.832	50.592	8.556	411.804
Vidro	96	44.640	4.092	50.592	8.556	6.696
Total						508.152,00

Fonte: Próprio autor.

7.3 Sugestões para pesquisas futuras

Para problemas específicos com catadores de materiais recicláveis se percebeu que os mesmos apresentam grandes dificuldades para entender decisões quantitativas, já que muitos dos catadores sequer possuem uma educação formal, e, por esta razão, há grandes dificuldades de implementação de mudanças nessas organizações. Sugere-se que ao trabalhar com catadores de materiais recicláveis, se tente propor um método de pesquisa que permita ao pesquisador contribuir de maneira mais prática afim de que as estratégias obtidas nos trabalhos sejam corretamente interpretadas e aplicadas nestas associações. Sugere-se portanto que, para futuras pesquisas com catadores de materiais recicláveis, o método de Pesquisa-Ação seja preferencialmente o método priorizado, haja vista que é possível interferir nas decisões do objeto de estudo e propor melhorias através de ciclos de aprendizagem com este método.

A presente pesquisa também não pôde avaliar o impacto de simulações envolvendo um maior número de recicladoras de materiais recicláveis. Para futuras pesquisas o mapeamento de mais recicladoras existentes no interior de São Paulo, Sul de Minas Gerais e até mesmo do Rio de Janeiro poderiam ser realizadas e os rendimentos dos catadores melhores avaliados.

Futuras pesquisas também poderiam verificar melhor os custos com transporte dos materiais recicláveis até as recicladoras, haja vista as diferentes modalidades de fretes existentes e diferentes parceiras que poderiam ser feitas com empresas de transporte da região, reduzindo assim os custos e consequentemente aumentando o rendimentos atual dos catadores.

Por fim, neste trabalho foram utilizados apenas 11 materiais recicláveis, portanto, para uma pesquisa mais completa e abrangente, os demais materiais recicláveis coletados pelas associações de materiais recicláveis também poderiam ser utilizados.

ANEXO

Materiais	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7
Restos de Alimentos	48,2	58,2	38,5	24,4	26,8	59,7	36,8
Restos de Podas	0,0	10,0	2,6	10,2	140,5	14,5	25,0
Papel Branco	4,8	14,8	9,1	19,4	10,6	36,2	10,0
Papel Colorido	14,6	14,6	2,3	0,5	12,0	16,8	12,5
Jornal	2,0	12,0	2,1	12,2	5,6	9,2	10,8
Revistas	1,0	9,0	3,2	1,5	11,8	22,2	5,6
Embalagem Longa Vida	2,4	12,4	1,3	11,6	11,4	16,8	16,8
Papelões	2,8	22,8	25,8	6,8	7,0	26,6	25,3
PET (refrig. óleo, etc)	0,6	0,6	13,2	0,4	11,2	24,4	4,2
PEBD	8,8	8,8	9,4	13,6	7,6	22,6	16,9
PEAD	4,8	4,8	0,9	18,6	5,0	39,2	17,0
PS	1,0	11,0	2,1	5,0	5,0	2,5	5,0
PP	1,0	1,0	3,4	15,2	6,3	6,5	5,0
PVC	1,6	1,6	0,8	10,5	10,6	14,2	11,3
Eletrônicos	0,0	0,0	4,8	32,0	8,0	10,8	12,6
Eleto-eletrônicos	0,0	0,0	2,9	8,5	28,0	16,0	0,5
Sucatas Ferrosas	9,4	19,4	30,0	11,2	11,4	38,6	5,7
Alumínio	1,0	1,0	9,0	1,0	0,8	10,3	3,0
Vidros	0,0	0,0	4,5	6,2	2,9	2,5	1,5
Trapos	0,0	0,0	0,5	15,5	0,0	0,0	3,8
Madeira	0,0	0,0	22,0	9,0	10,8	22,0	20,0
Entulho	4,5	4,5	25,0	20,0	0,9	5,6	22,8
Fraldas, guardanapos	19,0	19,0	1,8	0,0	4,8	0,4	6,3
Borracha, isopor	5,0	5,0	3,0	1,5	3,5	3,1	2,1

Anexo 1: Teste de Gravimetria realizado na ACIMAR durante 7 dias. Quantidade dada em porcentagem diária de cada um dos materiais. Fonte: Próprio autor.

ACIMAR					
PRESTAÇÃO DE CONTAS MENSAL DA PRODUÇÃO DA					
COLETA - TRIAGEM - COMPACTAÇÃO - VENDAS					
data da informação prestada a P.M.I.- INTECOOP			ANUAL	ANO	2015
MATERIAL RESULTANTE DA COLETA SELETIVA NO MUNICIPIO DE					
Cliente: ACIMAR					
Endereço: José Julião Simões, 60					
Bairro: Santa Rita de Cassia					
MUNICÍPIO: Itajubá					
CNPJ: 08956949/0001-71					
DATA			CONTROLE DE FARDOS		
Material	Espécie	QUANT.	Peso UNIT.	MEDIA/MENSAL	TOTAL 12 MESES
Sucata	PAPELÃO				
1	Papelão (liso)			21.000,00	252.000,00
2	Papelão (ondulado)			1.320,00	15.840,00
3	Papelão (Cartão)			6,00	72,00
Sucata	PAPÉIS				0,00
4	Papel branco			7.100,00	85.200,00
Sucata	PAPEL DE TERCEIRA				0,00
5	Jornal			650,00	7.800,00
6	Revista				0,00
7	Misto				0,00
8	Longa vida			3.800,00	45.600,00
Sucata	PLÁSTICOS				0,00
9	ABS			150,00	1.800,00
10	PVC			210,00	2.520,00
Sucata	PET				0,00
11	PET cristal			410,00	4.920,00
12	PET verde			274,00	3.288,00
13	PET óleo			290,00	3.480,00
Sucata	PEAD				0,00
14	PEAD Branco			1.300,00	15.600,00
15	PEAD Colorido			1.000,00	12.000,00
16	PP			241,00	2.892,00
17	PP Branco			110,00	1.320,00
18	PP Colorido			854,00	10.248,00
19	P.S - PP5			45,00	540,00
20	PEBD colorido			1.080,00	12.960,00
21	Sacolinha			212,00	2.544,00
22	Lona			0,00	0,00
Sucata	METAL				0,00
23	Sucata ferrosa			4.500,00	54.000,00
24	Cobre			21,00	252,00
25	Antimônio (metal branco)			2,00	24,00
26	Metal amarelo			51,00	612,00
27	Lata de alumínio			300,00	3.600,00
28	Alumínio duro			120,00	1.440,00
29	Alumínio pesado			84,00	1.008,00
30	Inox			12,00	144,00
31	Inox ferroso			80,00	960,00
Sucata	VIDRO				0,00
32	Vidro ambar			2.980,00	35.760,00
33	Vidro colorido			25,00	300,00
34	Vidro transparente			31,00	372,00
Líquido	OUTROS				0,00
35	oleo vegetal			780,00	9.360,00
Total receitas					588.456,00

Anexo 2: Renda por tipo de material reciclável da ACIMAR em 2015. Fonte: ACIMAR.

ACIMAR					
PRESTAÇÃO DE CONTAS MENSAL DA PRODUÇÃO DA ACIMAR					
COLETA - TRIAGEM - COMPACTAÇÃO - VENDAS					
data da informação prestada a P.M.I.	ANUAL	ANO	2016		
MATERIAL RESULTANTE DA COLETA SELETIVA NO MUNICÍPIO DE ITAJUBÁ					
Cliente: ACIMAR					
Endereço: José Julião Simões, 60					
Bairro: Santa Rita de Cassia					
MUNICÍPIO: itajubá					
CNPJ: 08956949/0001-71					
DATA	CONTROLE DE FARDOS				
Material	Espécie	QUANT.	Peso UNIT.	MEDIA/MENSAL	TOTAL 12 MESES
Sucata	PAPELÃO				
1	Papelão (liso)			23.000,00	276.000,00
2	Papelão (ondulado)			1.200,00	14.400,00
3	Papelão (Cartão)			10,00	120,00
Sucata	PAPÉIS				0,00
4	Papel branco			3.150,00	37.800,00
Sucata	PAPEL DE TERCEIRA				0,00
5	Jornal			800,00	9.600,00
6	Revista				0,00
7	Misto			200,00	2.400,00
8	Longa vida			4.000,00	48.000,00
Sucata	PLÁSTICOS				0,00
9	ABS			155,00	1.860,00
10	PVC			320,00	3.840,00
Sucata	PET				0,00
11	PET cristal			920,00	11.040,00
12	PET verde			1.020,00	12.240,00
13	PET óleo			350,00	4.200,00
Sucata	PEAD				0,00
14	PEAD Branco			1.500,00	18.000,00
15	PEAD Colorido			110,00	1.320,00
16	PP			255,00	3.060,00
17	PP Branco			250,00	3.000,00
18	PP Colorido			1.000,00	12.000,00
19	P.S - PP5			51,00	612,00
20	PEBD colorido			1.250,00	15.000,00
21	Sacolinha			320,00	3.840,00
22	Lona			0,00	0,00
Sucata	METAL				0,00
23	Sucata ferrosa			6.000,00	72.000,00
24	Cobre			30,00	360,00
25	Antimônio (metal branco)			6,00	72,00
26	Metal amarelo			60,00	720,00
27	Lata de alumínio			333,00	3.996,00
28	Alumínio duro			160,00	1.920,00
29	Alumínio pesado			100,00	1.200,00
30	Inox			25,00	300,00
31	Inox ferroso			110,00	1.320,00
Sucata	VIDRO				0,00
32	Vidro ambar			3.400,00	40.800,00
33	Vidro colorido			50,00	600,00
34	Vidro transparente			60,00	720,00
Líquido	OUTROS				0,00
36	oleo vegetal			987,00	11.844,00
Total receitas					614.184,00

Anexo 3: Renda por tipo de material reciclável da ACIMAR em 2016. Fonte: ACIMAR.

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST, Associação Brasileira da Indústria do Plástico. **Indústrias Recicladoras do Estado de Minas Gerais**. Disponível em: <http://file.abiplast.org.br/download/recicladores/recicladores_de_mg.pdf>. Acesso em: Jun. 2017
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004: 2004**. Disponível em: <<http://www.videverde.com.br/docs/NBR-n-10004-2004.pdf>>. Acesso em: Jan. 2017
- ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas da Limpeza Pública. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil**, 2015. Disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/panorama_edicoes.cfm> Acesso: Jun. 2017.
- ALMEIDA, M. D. F. G.; FIGUEIREDO, P. S.; DANTAS, J. The socioeconomic conditions of waste pickers in Bahia, and an evaluation of a workforce restructuring: A multiple case study. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 11, n. 1, p. 2–20, 2017.
- AKHTAR, M.; HANNAN, M. A.; BASRI, H.; SCAVINO, E. Solid waste generation and collection efficiencies: Issues and challenges. **Jurnal Teknologi**, v. 75, n. 11, p. 41–49, 2015.
- ASSEMBLÉIA DE MINAS. Gestão compartilhada de resíduos é arma contra os lixões. **Notícias**, 2014. Disponível: <http://www.almg.gov.br/acompanhe/noticias/arquivos/2014/06/02_materia_especial_fim_dos_lixoes_consortio_intermunicipal.html>. Acesso: Dez. 2016.
- BAUTISTA, J.; PEREIRA, J. Modeling the problem of locating collection areas for urban waste management. An application to the metropolitan area of Barcelona. **Omega**, v. 34, p. 617-629, 2006.
- BANKS, J. **Handbook of simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice**. Ed. John Wiley & Sons, Inc., 864p, 1998.
- BANKS, J.; CARSON, J. S.; NELSON, B. L. **Discrete-event Simulation**. 5th. Ed. New Jersey: Prentice-Hall, 2009.
- BARROS, A. J. S; LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2. ed. São Paulo: Makron Books, 2000.
- BATEMAN, R. E.; BOWDEN, R. O.; HARRELL, C. R.; GOGG, T. J. **Simulação de sistemas: aprimorando processos de logística, serviços e manufatura**. 1 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. Organização de Belge Engenharia e Sistemas.
- BELLINGIERI, P. H. Sistema de informações sobre resíduos sólidos como instrumento de gestão. In: JARDIM, A.; YOSHIDA, C.; MACHADO FILHO, J. V. **Política nacional, gestão e gerenciamento de resíduos sólidos**. Barueri: Manole, 2012. cap. 11, p. 245-281.

BESEN, G. R. **Coleta seletiva com inclusão de catadores: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. Tese de doutorado. Programa de Pós-graduação da Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BESEN, G. R.; RIBEIRO, H.; GÜNTHER, W. M. R.; JACOBI, P. R. Selective waste collection in the São Paulo metropolitan region: Impacts of the national solid waste policy. **Ambiente e Sociedade**, v. 17, n. 3, p. 259–278, 2014.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e outras providências**, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm> Acesso: Mar. 2017.

_____. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Versão preliminar para consulta pública. Setembro de 2011**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf> Acesso em: Fev. 2017.

BRITO, T. B. **Aplicabilidade da Simulação Híbrida em Sistemas logísticos**. Dissertação (mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2011.

CAMPOS, T. R. T.; FONSECA, M. V. A.; MORAIS, R. M. N. Reverse logistics: A route that only makes sense when adopting a systemic vision. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 180, p. 41–52, 2014.

CARTER, C. R.; ELLRAM, L. M. Reverse Logistics: A review of the literature and framework for future investigation. **Journal of Business Logistics**, v. 19, n. 1, p. 85-102, 1998.

CASTILHOS JUNIOR, A. B.; RAMOS, F.; ALVES, C. M; FORCELLINI, F. A. Recyclable material waste pickers: An analysis of working conditions and operational infrastructure in the south, southeast and northeast of Brazil [Catadores de materiais recicláveis: Análise das condições de trabalho e infraestrutura operacional no Sul. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 18, n. 11, p. 3115–3124, 2013.

CEMPRE. Compromisso Empresarial para a Reciclagem. **Cempre Review**, 2013. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao/artigos>>. Acesso: 20 jan. 2017.

_____. **Pesquisa CICLOSOFT**, 2016. Disponível em: <<http://cempre.org.br/ciclossoft/id/8>>. Acesso: Jan. 2017.

CIMASAS, **Consórcio Intermunicipal Dos Municípios Da Microrregião Do Alto Sapucaí Para Aterro Sanitário** (2014). Disponível em <http://abes-dn.org.br/eventos/seminario_residuos_solidos/Paineis_SNRS/Painel7/72.pdf>. Acesso em: Jun. 2017.

CHAVES, G. L. D.; ALCÂNTARA, R. L. C.; ASSUMPÇÃO, M. R. P. Medidas de desempenho na logística reversa: o caso de uma empresa do setor de bebidas. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 8, n. 2, p. 1-23, 2008.

CHWIF, F.; MEDINA, A. **Modelagem e Simulação de eventos discretos: Teoria e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Ed. dos autores, 2010.

COLETTI, D.; BISSCHOP, L. Waste pickers in the informal economy of the Global South: included or excluded? **International Journal of Sociology and Social Policy**, v. 37, n. 5–6, p. 280–294, 2017.

COSTA, R. F. S. **Abordagem sistemática para avaliação econômica de cenários para modelos de simulação discreta em manufatura**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, 2010.

COSTA, L. E. B.; COSTA, S. K.; REGO, N. A. C.; SILVA JUNIOR, M. F. Gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos domiciliares e perfil socioeconômico no município de Salinas, Minas Gerais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 3, n. 2, p. 73-90, 2012.

DAMÁSIO, J. **Impactos socioeconômicos e ambientais do trabalho dos catadores na cadeia da reciclagem**. Pangea, 2010. Disponível em < http://www.cress-mg.org.br/arquivos/reciclagem/relatorio_IPEA.pdf >. Acesso: Jan. 2017.

DEMAJOROVIC, J. ; AUGUSTO, E. E. F. ; SOUZA, M. T. S. Reverse logistics of E-waste in developing countries: Challenges and prospects for the Brazilian model. **Ambiente e Sociedade**, v. 19, n. 2, p. 117–136, 2016.

DEMIRBAS, A. Waste management, waste resource facilities and waste conversion process. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 1280-1287, 2011.

DIAS, S. M. Waste pickers and cities. **Environment and Urbanization**, v. 28, n. 2, p. 375–390, 2016.

DIAZ, R.; OTOMA, S. Cost-benefit analysis of waste reduction in developing countries: A simulation. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 16, n. 1, p. 108–114, 2014.

FAGUNDES, L. D.; AMORIM, E. S.; LIMA, R. S. Action Research in Reverse Logistics for End-Of-Life Tire Recycling. **Systemic Practice and Action Research**, p. 1–16, 2017.

FERGUTZ, O.; DIAS, S.; MITLIN, D. Developing urban waste management in Brazil with waste picker organizations. **Environment and Urbanization**, v. 23, n. 2, p. 597–608, 2011.

FERRI, G. L. .; CHAVES, G. D. L.; RIBEIRO, G. M. Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement. **Waste Management**, v. 40, p. 173–191, 2015.

PASCHOALIN FILHO, J. A. P.; SILVEIRA, F. F. S.; LUZ, E. G.; OLIVEIRA, R. B. Comparação entre as massas de resíduos sólidos urbanos coletadas na cidade de São Paulo por meio de coleta seletiva e domiciliar. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 3, n. 3, 2014.

FLEISCHMANN, M.; DEKKER, R.; LAAN, E.; NUNEN, A. E. E. Quantitative models for reverse logistics: a review. **European Journal of Operation Research**, v. 103, p. 1-17, 1997.

FREITAS, L. F. S.; FONSECA, I. F. (2012). **Diagnóstico sobre catadores de resíduos sólidos**. Relatório de pesquisa. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA).

GHISOLFI, V.; CHAVES, G. L. D. C.; SIMAN, R. R.; XAVIER, L. H. System dynamics applied to closed loop supply chains of desktops and laptops in Brazil: A perspective for social inclusion of waste pickers. **Waste Management**, v. 60, p. 14–31, 2017.

GUTIERREZ, C. B. B.; GUTIERREZ, D. M. G.; SANTOS, L. S.; PONTES, A. N.; RIBEIRO, H. M. C. Electronic waste disregard on amazon metropolis: The case of Belém city, Pará [O descaso com o lixo eletroeletrônico de uma metrópole amazônica: O caso da cidade de Belém, Pará]. **Espacios**, v. 38, n. 2, 2017.

HERCULANO, R. D.; NORBERTO, A. M. Q. Scientific research output evaluation of professors of Sao Paulo State University. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v.17, n.2, p.57-70, 2012.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J.; **Introduction to Operations Research**. 9th. Ed. New York: McGraw-Hill, 2010.

IBAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL. **Gestão integrada de resíduos sólidos: manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**, 2010a. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/link.php?uf=mg> >. Acesso em: Mar. 2017

_____. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**, 2008. Disponível em: < http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/condicaoadevida/pnsb2008/PNSB_2008.pdf >. Acesso em: Fev. 2017.

_____. **Censo Demográfico**, 2010b. Sinopse do Censo e Resultados Preliminares do Universo. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000402.pdf>>. Acesso em: Jun. 2017

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. (2013). **Situação Social das Catadoras e dos Catadores de Material Reciclável e Reutilizável**. Brasília: Ipea.

_____. **Catadores de Materiais Recicláveis - um encontro nacional**. (2016). Disponível em:<http://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=27461>. Acesso em: Jun. 2017.

_____. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos** (2012). Disponível em:<http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriospesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf>. Acesso em: Jun. 2017.

_____. **Pesquisa sobre pagamento por serviços ambientais urbanos para gestão de resíduos sólidos** (2010). Disponível em:

<http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_arquivos/estudo_do_ipea_253.pdf>. Acesso em: Maio 2015.

JACOBI, P. R. .; BESEN, G. R. Gestão de resíduos sólidos em São Paulo: desafios da sustentabilidade. **Estudos Avançados**, v. 25, n. 71, p. 135–158, 2011.

KLEIJNEN, J. P. C. Theory and Methodology: Verification and validation of simulation models. **European Journal of Operational Research**, v.82, p.145-162, 1995.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation Modeling & Analysis**. 3 ed. New York: McGraw-Hill, 2000.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A.; MONTEVECHI, J. A. B. Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO, 40. **Anais do Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional João Pessoa**, PB, 2008.

LEAL, F.; COSTA, R. F. S; MONTEVECHI, J. A. B.; ALMEIDA, D. A. A.; MARINS, F. A. S. A practical guide for operational validation of discrete simulation models. **Pesquisa Operacional**, v. 31, n. 1, p. 57–77, 2011.

LEITE, P.R. **Logística Reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. ed, São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIMA, J. P.; LEAL, F.; LIMA, R. S.; LOBATO, K. C. D. Using Discrete-Event Simulation in Urban Solid Waste Selection. **The Journal of Solid Waste Technology and Management**. Volume 41, Number 1, February 2015, pp. 15-27(13).

LIMA, R. S.; LIMA, J. P.; SILVA, T. V. V. Roteirização em arcos com um sistema de informações geográficas para transportes: aplicação em coleta de resíduos sólidos urbanos. **Journal of Transport Literature**, v. 6, n. 2, p. 180-196, 2012.

LOGAREZZI, A. **Educação ambiental em resíduo: uma proposta de terminologia**. In: CINQUETTI, H. C.; LOGAREZZI, A. Consumo e resíduo: fundamentos para o trabalho educativo. São Carlos: EdUFSCar, 2006.

MACCARINI, A.C.; HERNÁNDEZ, R.H. Melhoria no processo de triagem de materiais recicláveis a partir da implementação de tecnologias simples. In: **Seminário Anual de Ensino, Pesquisa e Extensão**. Jornada de Iniciação Científica, Pato Branco, PR.UTFPR, 2007.

MACIEL, A. C. **Avaliação da Simulação a Eventos Discretos, Projeto de Experimentos e Função Desejabilidade para Verificar a Viabilidade de Metas Estabelecidas para uma Célula de Manufatura**. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2013.

MANNARINO, C. F. B; FERREIRA, J. A.; GANDOLLA, M. E. Contribution to the development of municipal solid waste management in Brazil based on European experience [Contribuições para a evolução do gerenciamento de resíduos sólidos urbanos no Brasil com base na experiência Européia]. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 21, n. 2, p. 379–385,

2016.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V. **Fundamentos de metodologia científica**. 6 ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MARTINS, R. A. Princípios da pesquisa científica. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier, 2010. p. 5-29.

MEDINA, M. Scavenger cooperatives in Asia and Latin America. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 31, p.51-69, 2000.

MEDINA, M. **The world's scavengers: salvaging for sustainable consumption and production**. Lanham MD: Altamira Press, 2007.

MIRANDA, R. C. **Algoritmo genético adaptativo para otimização de modelos de Simulação a Eventos Discreto**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

MITROFF, I. I.; BETZ, F.; PONDY, L. R.; SAGASTI, F. On managing science in the system age: two schemas for the study of science as a whole system phenomenon. **Interfaces**, v.4, n.3, p.46-58, 1974.

MONTEVECHI, J. A. B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; OLIVEIRA, M. L. M.; SILVA, A. L. F. Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. In: Winter Simulation Conference, **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. Baltimore, MD, USA, 2010.

MONTEVECHI, J. A. B.; PINHO, A. F.; LEAL, F.; MARINS, F. A. S. Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. Washington, DC, USA, 2007.

MONTEVECHI, J. A. B.; OLIVEIRA, M. L. M.; LEAL, F.; PINHO, A. F. Analysis of the Applicability of The IDEF-SIM Modeling Technique to the Stages of a Discrete Event Simulation Project. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, 2014, Savannah. WSC 2014, 2014.

MONTEVECHI, J.A.B.; LEAL, F.; PINHO, A. F.; COSTA, R. F. S.; MARINS, F. A. S. Combined use of modeling techniques for the development of the conceptual model in simulation projects. In: **Proceedings of the Winter Simulation Conference**, Miami, USA, 2008.

MORABITO, R.; PUREZA, V. Modelagem e Simulação. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro, Campus/Elsevier, p. 165-194, 2010.

MOTTA, W. H. Logística Reversa e a Reciclagem de embalagens no Brasil. In: CNEG – **Congresso Nacional em excelência de gestão**. Rio de Janeiro, 2011.

MUTTAMARA, S.; VISVANATHAN, C.; ALWIS, K. U. Solid waste recycling and reuse in Bangkok. **Waste Management & Research**, v. 12, n. 2, p. 151–163, 1994.

NEVES, F. Urban solid waste management in the paraná river basin: Elements for a research Agenda. Gestão dos resíduos sólidos urbanos na bacia do paraná: Elementos para uma agenda de pesquisas. **O Espaço Geográfico em Análise**, v. 38, p. 169–194, 2016.

OLIVEIRA, M. M. **Análise da Aplicabilidade da Técnica de Modelagem IDEF-SIM nas etapas de um projeto de simulao a eventos discretos**. Tese (mestrado). Programa de Pós-Graduao em Engenharia de Produo da Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI, Itajubá, 2010.

OLIVEIRA, R. L. **Logística Reversa: A Utilizao de Um Sistema de Informaoes Geográficas na Coleta Seletiva de Materiais Recicláveis**. Dissertao (mestrado). Programa de Pós-Graduao em Engenharia de Produo da Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI, Itajubá, 2011.

OLIVEIRA, R. L. **Logística Reversa: Modelagem e Simulao a Eventos Discretos em Logística Reversa e Destinao Final de Materiais Recicláveis**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduao em Engenharia de Produo da Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI, Itajubá, 2015.

OTENG-ABABIO, M. The role of the informal sector in solid waste management in the Gama, Ghana: Challenges and opportunities. **Tijdschrift voor Economische en Sociale Geografie**, v. 103, n. 4, p. 412–425, 2012.

PARREIRA, G. F.; OLIVEIRA, F. G.; LIMA, F. P. A. O gargalo da reciclagem: determinantes sistmicos da triagem de materiais recicláveis. In: **Encontro Nacional de Engenharia de Produo**, 29, Salvador, BA, 2009.

PEREIRA, M. C. G.; TEIXEIRA, M. A. C. A inclusão de catadores em programas de coleta seletiva: da agenda local  nacional. **Caderno EBAPE.BR**, v. 9, n. 3, p. 895-913, 2011.

PINTO, M. B. **Implantao de um programa de Coleta Seletiva: Uma pesquisa-ao na cidade de São Lourenço**. Dissertao (mestrado). Programa de Pós-Graduao em Engenharia de Produo da Universidade Federal de Itajubá. UNIFEI, Itajubá, 2016.

POLETTO, M. B.; MORI, P. R.; SCHNEIDER, V. E.; ZATTERA, A. J. Urban solid waste management in Caxias do Sul/Brazil: Practices and challenges. **Journal of Urban and Environmental Engineering**, v. 10, n. 1, p. 50–56, 2016.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Mtodos e Técnicas da Pesquisa e do trabalho académico**. 2ed. Novo Hamburgo: Freevale, 2013.

OLIVEIRA, J. B.; LIMA, R. S.; MONTEVECHI, J. A. B. Perspectives and relationships in Supply Chain Simulation: A systematic literature review. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 62, p. 166–191, 2016.

ROBINSON, S. Conceptual modelling for simulation Part II: a framework for conceptual modelling. **Journal of the Operational Research Society**, 59 (3). 291–304. 2008.

ROBINSON, S. **Simulation: The Practice of Model Development and Use**, John Wiley & Sons, Chichester, 2004.

REBEHY, P. C. P. W.; COSTA A. L.; CAMPELLO, C.A.G.B.; Espinoza, F. D. Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. **Journal of Cleaner Production**, v. 154, p. 462–473, 2017.

REZENDE, J. H.; CARBONI, M.; MURGEL, M. A. T.; CAPPS, A. L. A. P. Composição gravimétrica e peso específico dos resíduos sólidos urbanos em Jaú (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, v. 18, n. 1, 2013.

RIBEIRO, L. C. S.; FREITAS, L. F. S.; CARVALHO, J. T. A.; DAMÁSIO FILHO, J. D. Aspectos econômicos e ambientais da reciclagem: um estudo exploratório nas cooperativas de catadores de material reciclável do Estado do Rio de Janeiro. **Nova Economia Belo Horizonte**, v. 24, n.1, p. 191-214, 2014.

RODRIGUES, U.; MONTEVECHI, J. A. B.; MIRANDA, R. de C; PEREIRA, L. F. Aplicação de simulação a eventos discretos e arranjo ortogonal de Taguchi na otimização de uma célula de manufatura. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 44, 2012, **Anais Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**, Rio de Janeiro, RJ, 2012.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Pittsburgh: Reverse Logistics Executive Council Press (RLEC), 1999.

RUTKOWSKI, J. E.; RUTKOWSKI, E. W. Expanding worldwide urban solid waste recycling: The Brazilian social technology in waste pickers inclusion. **Waste Management and Research**, v. 33, n. 12, p. 1084–1093, 2015.

SABEDOT, S.; PEREIRA NETO, T. J. Environmental performance of waste pickers in Esteio (RS) [Desempenho ambiental dos catadores de materiais recicláveis em Esteio (RS)]. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 1, p. 103–109, 2017.

SÁNCHEZ, R. DEL P. ; MALDONADO, J. H. Surviving from garbage: The role of informal waste-pickers in a dynamic model of solid-waste management in developing countries. **Environment and Development Economics**, v. 11, n. 3, p. 371–391, 2006.

SANDHU, K.; BURTON, P.; DEDEKORKUT-HOWES, A. Between hype and veracity; privatization of municipal solid waste management and its impacts on the informal waste sector. **Waste Management**, v. 59, p. 545–556, 2017.

SANTOS, M. C. L.; GONÇALVES-DIAS, S. L. F.; MENDONÇA, P. M; TEODÓSIO, A. S. **S. Frames de ação coletiva: uma análise da organização do MNCR**. In: SCHERER-WARREN, Ilse; LUCHMANN, Lígia H. H. Movimentos sociais e participação. Florianópolis: Editora UFSC, 2011.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. In: Winter Simulation Conference. **Proceedings of the Winter Simulation Conference**. Phoenix, AZ, USA, 2011.

SARGENT, R. G. Verification and validation of simulation models. **Journal of Simulation**, v.7, n. 1, p. 12-24, 2013.

SASAKI, S.; ARAKI, T. Employer-employee and buyer-seller relationships among waste pickers at final disposal site in informal recycling: The case of Bantar Gebang in Indonesia. **Habitat International**, v. 40, p. 51–57, 2013.

SASAKI, S.; ARAKI, T. Estimating the possible range of recycling rates achieved by dump waste pickers: The case of Bantar Gebang in Indonesia. **Waste Management and Research**, v. 32, n. 6, p. 474–481, 2014.

SEMBIRING, E.; NITIVATTANANON, V. Sustainable solid waste management toward an inclusive society: Integration of the informal sector. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p. 802–809, 2010.

SCHENCK, R. ; BLAAUW, P. F. The Work and Lives of Street Waste Pickers in Pretoria-A Case Study of Recycling in South Africa's Urban Informal Economy. **Urban Forum**, v. 22, n 4, p. 411–430, 2011.

SIMATELE, D. M.; DLAMINI, S.; KUBANZA, N. S. From informality to formality: Perspectives on the challenges of integrating solid waste management into the urban development and planning policy in Johannesburg, South Africa. **Habitat International**, v. 63, p. 122–130, 2017.

STEUER, B.; RAMUSCH, R.; PART, F.; SALHOFER, S. Analysis of the value chain and network structure of informal waste recycling in Beijing, China. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 117, p. 137–150, 2017.

SUTHAR, S.; RAYAL, P.; AHADA, C. P. S. Role of different stakeholders in trading of reusable/recyclable urban solid waste materials: A case study. **Sustainable Cities and Society**, v. 22, p. 104–115, 2016.

TIBBEN-LEMBKE, R. S.; ROGERS, D. S. Differences between forward and reverse logistics in a retail environment. **Supply Chain Management: an International Journal**, v.7, n.5, p. 271-282, 2002.

TIRADO-SOTO, M. M.; ZAMBERLAN, F. L. Networks of recyclable material waste-picker's cooperatives: An alternative for the solid waste management in the city of Rio de Janeiro. **Waste Management**, v. 33, n. 4, p. 1004–1012, 2013.

TRIVELATO, G. C. **Técnicas de modelagem e simulação de sistemas dinâmicos**. São José dos Campos: INPE, 2003.

VALENCIA-VÁZQUEZ, R.; Pérez-López, M. E.; Vicencio-de-la-Rosa, M. G.; Martínez-Prado, M.A.; Rubio-Hernández, R. Knowledge and technology transfer to improve the municipal solid waste management system of Durango City, Mexico. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9, p. 848-856, 2014.

VILAÇA, M. L. C. Pesquisa e ensino: considerações e reflexões. **e-escrita - Revista do Curso de Letras da UNIABEU Nilópolis**, v. I, n. 2, mai./ago. 2010.

VILHENA, A. **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**. 3.ed. São Paulo: CE

WANG, J.; HAN, L.; LI, S. The collection system for residential recyclables in communities in Haidian District, Beijing: A possible approach for China recycling. **Waste Management**, v. 28, n. 9, p. 1672–1680, 2008.

WORLD BANK (2012). What a waste: A global review of solid waste management. **Urban Development & Local Government Unit**. Washington, DC: The World Bank. Disponível em: <<http://go.worldbank.org/BCQEP0TMO0>> Acesso em: Mar. 2017.

XAVIER, L. H.; CORRÊA, H. L. **Sistemas de Logística Reversa**. São Paulo: Editora Atlas, 2013.

ZHEN-SHAN, L. B.; LEI, Y.; XIAO-YAN, Q.; YU-MEI, S. Municipal solid waste management in Beijing City. **Waste Management**, v. 29, n. 9, p. 2596–2599, 2009.