

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

THIARA CEZANA GOMES

**MODELO MATEMÁTICO PARA DEFINIÇÃO DE CENTRAIS
DE TRANSBORDO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM TERMINAIS
MARÍTIMOS DO RIO DE JANEIRO**

VITÓRIA-ES

2015

THIARA CEZANA GOMES

**MODELO MATEMÁTICO PARA DEFINIÇÃO DE CENTRAIS
DE TRANSBORDO PARA LOGÍSTICA REVERSA DE
RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM TERMINAIS
MARÍTIMOS DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração Transportes.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa.

Coorientador: Prof. Dr. Glaydston Mattos Ribeiro.

VITÓRIA-ES
2015

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Setorial Tecnológica,
Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

Gomes, Thiara Cezana, 1988-

G633m Modelo matemático para definição de centrais de transbordo
para logística reversa de resíduos sólidos gerados em terminais
marítimos do Rio de Janeiro / Thiara Cezana Gomes. – 2015
183 f. : il.

Orientador: Rodrigo de Alvarenga Rosa.

Coorientador: Glaydston de Mattos Ribeiro

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Logística. 2. Logística – Metodologia. 3. Resíduos sólidos
– Política e governo. 4. Terminais marítimos. I. Rosa, Rodrigo de
Alvarenga. II. Ribeiro, Glaydston Mattos. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 624

THIARA CEZANA GOMES

**MODELO MATEMÁTICO PARA DEFINIÇÃO DE CENTRAIS DE TRANSBORDO
PARA LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS SÓLIDOS GERADOS EM
TERMINAIS MARÍTIMOS DO RIO DE JANEIRO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de Transportes.

Aprovada em 21 de Agosto de 2015.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Doutor em Engenharia Elétrica
Orientador – UFES

Prof. Dr. Glaydston Mattos Ribeiro
Doutor em Computação Aplicada
Coorientador - UFRJ

Prof. Dr. Adelmo Inácio Bertolde
Doutor em Estatística
Membro Interno - UFES

Prof. Dr. Renato Ribeiro Siman
Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento
Membro Externo - UFES

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha mãe Carmen.

AGRADECIMENTOS

A todos que, de alguma forma, contribuíram para este trabalho. Em especial:

A Deus por estar sempre presente e ser meu conforto nos momentos adversos.

Agradeço a minha família, meu porto seguro, repleto de carinho e proteção. Em especial, a minha querida mãe Carmen, a minha irmã e madrinha Caroline e ao meu irmão Thiago, que me deram todo o apoio necessário.

Ao professor Rodrigo que se manteve sempre incansável na busca por soluções, melhorias e novas ideias. Sou imensamente grata pela orientação, ensinamentos e parceria. Agradeço também ao professor Glaydston pela coorientação.

Meus agradecimentos à banca pelo aceite e, individualmente, ao professor Adelmo pela disponibilidade e gentileza. E ao professor Renato pelas relevantes sugestões mencionadas no exame de qualificação.

Aos demais professores, funcionários e amigos do PPGEC/UFES por todo suporte e atenção.

Ao IVIG/UFRJ e seus membros, sempre tão solícitos ao repassarem dados e informações necessárias para o andamento desta dissertação. E também às demais empresas e entrevistados que participaram desta pesquisa.

E por fim, à CAPES pelo apoio financeiro.

Meu muito obrigada!

*“Todo caminho da gente é resvaloso.
Mas, também, cair não prejudica demais -
a gente levanta, a gente sobe, a gente volta!...
O correr da vida embrulha tudo,
a vida é assim: esquentada e esfria,
aperta e daí afrouxa,
sossega e depois desinquieta.
O que ela quer da gente é coragem”
João Guimarães Rosa*

RESUMO

O Brasil possui um setor portuário com 37 portos públicos que movimentaram, em 2013, 338,3 milhões de toneladas de carga bruta, representando um incremento relativo de 6,8% em relação ao ano anterior. Estes portos geram resíduos em função de suas operações e, a adequada gestão destes se faz indispensável para a adequação ao novo marco regulatório imposto pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Assim, o principal objetivo deste trabalho consistiu em desenvolver um modelo matemático baseado no problema de localização de facilidades *n-echelon* para definição de centrais de transbordo a serem escolhidas para uma melhor configuração da rede logística reversa de resíduos sólidos gerados em terminais marítimos. O modelo proposto se diferencia dos demais por possuir uma função objetivo mais abrangente em relação à análise de custos e receitas, além de um índice adicional referente ao tipo específico de resíduo que irá ser alocado para as centrais de transbordo e direcionado às empresas receptoras. Ademais, o modelo segrega em diferentes caminhões os resíduos de acordo com sua periculosidade e permite a escolha da capacidade do caminhão que será usado na rede logística reversa. Foram selecionados nove terminais marítimos do Rio de Janeiro para elaboração de diferentes cenários, baseados em dados reais, que foram executados no *solver* CPLEX 12.6. Os resultados mostraram um percentual elevado de participação dos custos de transportes, entre 63,0% e 80,0%, dentre todos os demais custos envolvidos na elaboração da rede logística reversa; a maior rentabilidade se mostrou quando caminhões menores foram usados em detrimento aos caminhões com grande capacidade. Para todos os cenários, o resultado financeiro obtido apresentou um valor de receita maior que o valor dos custos, demonstrando que a venda de resíduos para reciclagem pode ser sim uma alternativa viável do ponto de vista econômico e não apenas da perspectiva legal, ambiental e social.

Palavras-chave: Logística Reversa, Terminais marítimos. Localização de facilidades. Política Nacional de Resíduos Sólidos.

ABSTRACT

Brazil has a port sector with 37 public ports which moved in 2013, 338.3 million tons of bulk cargo, representing a relative increase of 6.8% compared to the previous year. These ports generate waste, in terms of their operations and the adequate management of these is indispensable to adapt to the new regulatory mark imposed by the National Solid Waste Policy (PNRS). Thus, the main objective of this work was to develop a mathematical model based on the location problem of n-echelon facilities for defining transshipment stations to be allocated for better configuration of reverse logistics network of solid waste generated in maritime terminals. The proposed model differs from the others because it has a wider objective function relative to the analysis of costs and revenues, also an additional index for the specific type of waste that will be allocated to the transshipment stations and will be sent to the recycling companies and landfills. In addition, model segregates in different trucks the waste according to its danger and allows the selection of capacity truck that will be used in reverse logistics network. Nine marine terminals were selected from Rio de Janeiro to elaborate different scenarios, based on actual data, which were executed in 12.6 CPLEX solver. The results showed a high percentage for participation of transport costs, between 63.0% and 80.0%, of all other costs involved in the development of reverse logistics network; the higher return proved when smaller trucks were used instead to trucks with large capacity. For all scenarios, the obtained financial result came in at more revenue than the value of costs, demonstrating that the sale of waste for recycling may be a viable alternative from the economic perspective, not just from legal environmental and social viewpoints.

Keywords: Reverse Logistics. Maritime Terminals. Facilities Location. National Solid Waste Policy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Problema de Localização – Múltiplas Camadas (<i>Two-Echelon</i>)	21
Figura 2: Embasamento para uso das centrais de transbordo em portos	24
Figura 3: Classificação dos Problemas de Localização	30
Figura 4: Problema de Localização - <i>Two-Echelon</i>	32
Figura 5: Fluxograma de gerenciamento de resíduos sólidos	37
Figura 6: Canais de distribuição diretos e reversos.....	40
Figura 7: Linha do tempo para publicações sobre localização de facilidades	42
Figura 8: Modelo de distribuição integrado de múltiplas plantas e produtos	43
Figura 9: Rede de localização-distribuição <i>multi-echelon</i> típica.....	46
Figura 10: Proposta de rede de logística reversa para RSU no município de São Mateus	57
Figura 11: Estrutura da rede logística reversa.....	59
Figura 12: Classificação da pesquisa científica.....	63
Figura 13: Taxonomia do estudo abordado.....	65
Figura 14: Etapas da metodologia da pesquisa	67
Figura 15: Esquema do modelo proposto evidenciando suas variáveis e conjuntos.....	79
Figura 16: Rede logística reversa - Terminais.....	86
Figura 17: Localização do porto do Rio de Janeiro	87
Figura 18: Localização do Porto de Itaguaí.....	88
Figura 19: Terminais do Porto do Rio de Janeiro	89
Figura 20: Terminais do Porto de Itaguaí	89
Figura 21: Rede logística reversa – Centrais de transbordo	91
Figura 22: Visão das quatro centrais de transbordo candidatas e do Gate_24	92
Figura 23: Visão das centrais de transbordo candidatas.....	93
Figura 24: Rede logística reversa – Empresas receptoras.....	94
Figura 25: Mapa de empresas receptoras.....	95
Figura 26: Cálculo do custo de transporte.....	103
Figura 27: Segregação de resíduos e custo de transporte.....	104
Figura 28: <i>Boxplot</i> geração mensal de sucata de metais ferrosos [t] para o Terminal TECAR (Porto de Itaguaí)	107
Figura 29: Geração semanal de resíduos nos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí – Cenários 1 ao 12.....	109
Figura 30: Geração semanal de resíduos nos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí – Projeção 2023	110
Figura 31: Quantificação de centrais de transbordo escolhidas.....	113

Figura 32: Comparação entre receita auferida e custos totais gerados	114
Figura 33: Gráfico de representatividade de cada um dos custos.....	115
Figura 34: Utilização das empresas receptoras para cada um dos cenários	117
Figura 35: Ocupação das centrais de transbordo – Cenários 1 ao 9	118
Figura 36: Ocupação das centrais de transbordo – Cenários 10 ao 15	118
Figura 37: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 1	120
Figura 38: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 1.....	121
Figura 39: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 2	123
Figura 40: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 2.....	123
Figura 41: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 3	124
Figura 42: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 3.....	125
Figura 43: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 4	125
Figura 44: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 4.....	126
Figura 45: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 5	127
Figura 46: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 5.....	128
Figura 47: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 6	129
Figura 48: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 6.....	129
Figura 49: Número de caminhões usado para os seis primeiros cenários	130
Figura 50: Custo de transporte para os seis primeiros cenários	131
Figura 51: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 7	133
Figura 52: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 7.....	133
Figura 53: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 8	134
Figura 54: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 8.....	135
Figura 55: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 9	135
Figura 56: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 9.....	136
Figura 57: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 10	137
Figura 58: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 10.....	138
Figura 59: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 11	139

Figura 60: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 11.....	139
Figura 61: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 12	140
Figura 62: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 12.....	141
Figura 63: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 13	142
Figura 64: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 13.....	143
Figura 65: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 14	144
Figura 66: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 14.....	144
Figura 67: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 15	145
Figura 68: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 15.....	146

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Exemplos de aplicação da logística reversa em diferentes setores	49
Quadro 2: Análises previstas para cada cenário	70
Quadro 3: Resumo dos portos e terminais	90
Quadro 4: Listagem de centrais de transbordo candidatas	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Sintetização dos cenários propostos	72
Tabela 2: Capacidade das facilidades.....	97
Tabela 3: Cálculo do custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas – Cenários 1, 3, 5	99
Tabela 4: Custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas para os diferentes cenários	99
Tabela 5: Cálculo do custo de operação para central de transbordo de 500m ²	101
Tabela 6: Custo de operação das centrais de transbordo candidatas para os diferentes cenários	101
Tabela 7: Custos de transporte	102
Tabela 8: Faixas para variação das receitas	105
Tabela 9: Peso médio em kg de uma unidade de determinados resíduos	108
Tabela 10: Resultados para os diferentes cenários	112

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – NBR – Associação Brasileira de Normas Técnicas – Norma Brasileira

BSC – *Balanced Scorecard*

CD – Centro de Distribuição

CDD – Canal de Distribuição Direto

CDR – Canal de Distribuição Reverso

CDR – PC – Canal de Distribuição de Pós-Consumo

CDR – PV – Canal de Distribuição Reverso de Pós-Venda

GA – Algoritmo Genético

GAMS – *General Algebraic Modeling System*

IMO – Organização Marítima Internacional

IVIG – Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

SEP/PR – Secretaria Especial de Portos da Presidência da República

TUP – Terminal de Uso Privado

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVOS	23
1.1.1 Objetivo Geral	23
1.1.2 Objetivos Específicos	23
1.2 JUSTIFICATIVA	24
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	27
2. REFERENCIAL TEÓRICO	29
2.1 O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES	29
2.1.1 Taxonomia para o Problema de Localização de Facilidades	29
2.2 LOGÍSTICA REVERSA	35
2.2.1 Projetos de redes logísticas reversas	39
2.3 REVISÃO DA LITERATURA.....	41
2.3.1 Problema de localização de facilidades do tipo <i>multi-echelon</i>	41
2.3.2 Logística reversa	47
2.4 MODELO MATEMÁTICO APRESENTADO POR PISHVAEE <i>ET AL.</i> (2010) NA LITERATURA.....	58
3. METODOLOGIA	63
3.1 TIPO DE ESTUDO.....	63
3.2 CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO QUANTO AOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO	64
3.3 DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA	66
3.4 APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS	69
4. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO	79
5. OBTENÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O MODELO MATEMÁTICO	86
5.1 LOCAIS GERADORES DE RESÍDUOS.....	86
5.2 CENTRAIS DE TRANSBORDO CANDIDATAS	91
5.3 EMPRESAS RECEPTORAS.....	93
5.4 MATRIZES DE DISTÂNCIA	95

5.5 CAPACIDADE DAS FACILIDADES	96
5.6 CUSTO FIXO DE INSTALAÇÃO E DE OPERAÇÃO DAS CENTRAIS DE TRANSBORDO	97
5.6.1 Custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas	97
5.6.2 Custo de operação das centrais de transbordo candidatas	100
5.7 CUSTO DE TRANSPORTE	102
5.8 RECEITA POR RECEPTORA.....	104
5.9 ESTIMATIVAS DE RESÍDUOS GERADOS	105
6. RESULTADOS E ANÁLISES.....	111
6.1 RESULTADOS DOS CENÁRIOS.....	119
6.1.1 Cenário 1	119
6.1.2 Cenário 2	122
6.1.3 Cenário 3	124
6.1.4 Cenário 4	125
6.1.5 Cenário 5	126
6.1.6 Cenário 6	128
6.1.7 Cenário 7	132
6.1.8 Cenário 8	134
6.1.9 Cenário 9	135
6.1.10 Cenário 10	137
6.1.11 Cenário 11	138
6.1.12 Cenário 12	140
6.1.13 Cenário 13	142
6.1.14 Cenário 14	143
6.1.15 Cenário 15	145
6.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS	146
7. CONCLUSÕES.....	150
7.1 TRABALHOS FUTUROS	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	154
APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS	170

APÊNDICE B – MATRIZES DE DISTÂNCIA.....	177
APÊNDICE C – TIPO DE RESÍDUOS	179
ANEXO 1 - TABELA DE DENSIDADES POR TIPO DE RESÍDUO	182

1. INTRODUÇÃO

Com uma costa de 8,5 mil quilômetros navegáveis, o Brasil possui um setor portuário que em 2013, obteve uma movimentação total em suas instalações de 931 milhões de toneladas de carga bruta (granel sólido, granel líquido e carga geral), sendo que 36,3% desse valor foram movimentados pelos portos organizados e 63,7% pelos Terminais de Uso Privado (TUP). O valor macro apresenta um incremento relativo de 2,9% e absoluto de 26,6 milhões de toneladas em relação ao ano de 2012. Enquanto o valor de movimentação dos portos organizados demonstra um incremento relativo de 6,8% quando comparado ao ano de 2012 (ANTAQ, 2014). Nota-se, portanto, que mesmo diante das incertezas e flutuações do crescimento econômico atual, o setor portuário desempenha um papel essencial na cadeia logística global e na expansão do comércio internacional (DARBRA, 2014).

Dessa maneira, pode-se afirmar que o desenvolvimento de instalações portuárias e seus diferentes processos contribuem de forma significativa para a ampliação do transporte marítimo, do desenvolvimento econômico de países costeiros e para a geração de empregos. Entretanto, a intensificação dessas atividades e o aumento da movimentação de cargas nos portos brasileiros podem ocasionar consequências negativas do ponto de vista ambiental, caso o gerenciamento dos resíduos gerados seja realizada de forma inadequada (ALDERTON, 2005; GOBBI, 2015; DARBRA, 2014). Assim, faz-se necessário que a legislação vigente aplicável à sustentabilidade seja cumprida (GOBBI, 2015).

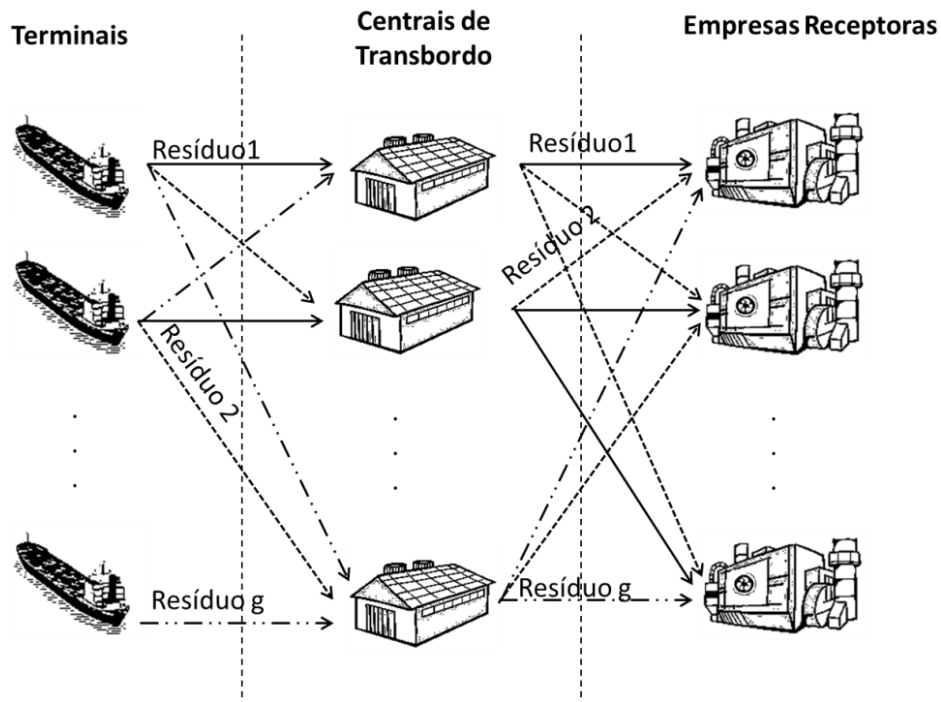
Nesse aspecto, ressalta-se, principalmente, a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que é o marco regulatório na área de resíduos sólidos no Brasil. A PNRS foi instituída pela Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b). Nela há as diretrizes para que o tratamento dos resíduos seja realizado de forma apropriada, considerando o meio ambiente, a saúde e a eficiência, dentre outros. A PNRS estabelece que somente depois de exauridas todas as possibilidades de tratamento e recuperação do material residual por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, o material pode ser considerado rejeito e seguir para disposição em aterro sanitário. Como forma de obter tais avanços, sugere-se, por meio dessa dissertação, uma reestruturação das redes logísticas

reversas existentes em ambientes portuários, de tal forma que possam permitir uma maior viabilidade da reciclagem dos resíduos gerados.

Por redes logísticas, mencionadas anteriormente, entende-se como sendo a representação dos fluxos dos materiais entre pontos de origem e de destino pré-determinados. A configuração da rede logística pode ser definida como um conjunto de nós (elos ou facilidades) e também por arcos que unem esses nós. O processo de planejamento de uma rede logística consiste em projetar um sistema de facilidades e transporte que permita que produtos fluam pelos arcos dos fornecedores para as fábricas e destas para os clientes. As facilidades são como instalações representadas, por exemplo, por postos de saúde, centros de reaproveitamento, escolas e fábricas onde ocorrem as operações logísticas. Podem ainda haver facilidades intermediárias, tais como centros de distribuição (CD), centrais de transbordo e cooperativas (FERRI *et al.* 2015). Já a logística reversa é definida como o processo de movimentar produtos, a partir do seu descarte, com o objetivo de agregar valor a eles ou promover sua destinação adequada (ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 1999; XAVIER e CORRÊA, 2013).

No caso do problema estudado nessa dissertação, a proposta é de que a rede logística reversa, geralmente, composta por dois nós, terminais geradores de resíduos e empresas receptoras (aterros sanitários e empresas recicladoras), passe a contar com um terceiro nó que é a facilidade intermediária aqui denominada central de transbordo, conforme Figura 1. Os terminais, as centrais de transbordo e as empresas receptoras são os nós da rede. As arestas que os unem são os possíveis fluxos de transporte dos materiais entre os nós da rede logística reversa. Assim, na rede logística reversa uma decisão importante que se faz necessária é definir quantas e quais centrais de transbordo devem ser construídas para compor a rede logística reversa, decisão esta que pode ser atendida por meio da modelagem matemática de um problema de localização de facilidades.

Figura 1: Problema de Localização – Múltiplas Camadas (Two-Echelon)



Fonte: Elaborado pela autora.

As centrais de transbordo desempenham um papel importante na gestão de resíduos de uma rede logística reversa, servindo como ligação entre os pontos de recolhimento de resíduos sólidos e os nós referentes à disposição final destes resíduos (USEPA, 2002). Listam-se a seguir alguns dos principais benefícios que podem ser obtidos por meio da inserção dessas instalações na rede logística reversa de resíduos sólidos dos terminais marítimos e, conseqüentemente, da alocação e localização correta dessas centrais.

- A construção de centrais de transbordo em portos do Brasil evita o transporte recorrente de resíduos que ainda não tenham o destino correto definido, sendo enviados muitas vezes para instalações inadequadas. Nas centrais é possível realizar a correta triagem dos resíduos, selecionando e segregando-os adequadamente e dando a eles a destinação correta para transporte (PISHVAEE *et al.*, 2010; FERRI *et al.*, 2015, USEPA, 2002);
- A existência das centrais permite um maior volume acumulado de resíduos, o que torna a ida do reciclador mais rentável. Isso se deve ao fato de ser possível estruturar e formalizar processos de compra e venda dos materiais recicláveis em

maior escala, proporcionando assim, benefícios sociais pela integração dos catadores ao processo (FERRI *et al.*, 2015; USEPA, 2002);

- Há um aumento da receita auferida pelo porto, já que um percentual maior de resíduos passa a ser vendido para ser reciclado, ao invés de ser direcionado a aterros sanitários que cobram por tonelada recebida;
- Ao reduzir o percentual de resíduo direcionado diretamente aos aterros sanitários, há a ampliação da vida útil dos aterros pelo menor volume recebido (FERRI *et al.*, 2015).

Diante de todos esses benefícios obtidos por meio da configuração adequada da rede logística reversa de resíduos sólidos em terminais marítimos fazendo uso das centrais de transbordo, esta dissertação propõe um modelo matemático para estruturá-la em três níveis: os terminais portuários, as centrais de transbordo candidatas e as empresas receptoras. Para testar a viabilidade da aplicação do modelo matemático proposto, o mesmo foi aplicado aos principais terminais portuários do estado do Rio de Janeiro, a listar: CDRJ, LIBRA, MULTITERMINAIS, PENNANT, PETROBRAS, TRIUNFO, TECAR SEPETIBA, TECON SEPETIBA E VALE. Sendo os três últimos pertencentes ao porto de Itaguaí e os demais ao porto do Rio de Janeiro.

Assim, é cabível afirmar que o tema desta dissertação apresenta relevância por englobar os resíduos sólidos portuários, assunto este de elevada importância legal, social, ambiental e econômica. Em contrapartida, apesar de relevante, o campo necessita de estudos, sendo abordado de maneira ainda pontual na literatura, conforme será apontado na seção de revisão da literatura deste trabalho. Desta forma, apresenta-se como um importante subsídio para a elaboração de futuras redes logísticas reversas, além de auxiliar no gerenciamento de resíduos sólidos portuários, levando em consideração o marco regulatório PNRS e a importância de pesquisas para que sua implementação seja viável e eficaz no sistema portuário.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo matemático baseado no problema de localização de facilidades *n-echelon* para definição das centrais de transbordo a serem escolhidas para uma melhor configuração da rede logística reversa de resíduos sólidos em terminais marítimos.

1.1.2 Objetivos Específicos

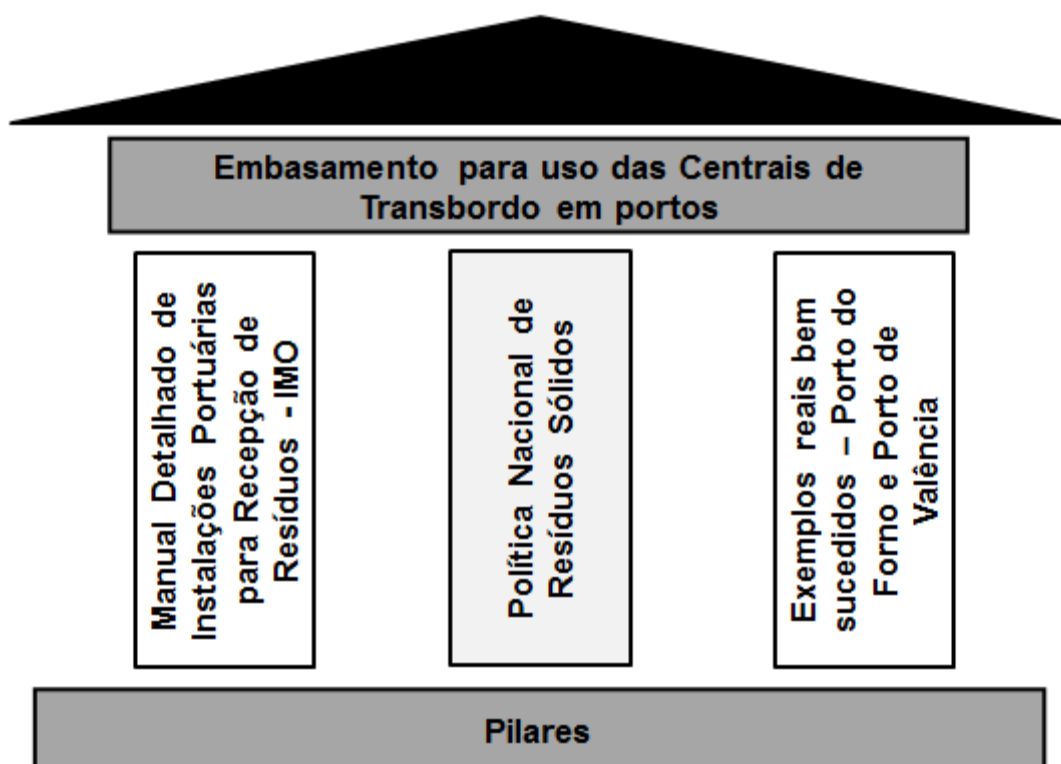
Os objetivos específicos incluem:

- Definir, por meio dos resultados do modelo matemático, quantas centrais de transbordo são necessárias, suas dimensões e suas localizações dentro ou fora dos portos do Rio de Janeiro e de Itaguaí;
- Determinar a quantidade de cada tipo específico de resíduo que deve ser enviado entre camadas;
- Determinar o tipo de veículo mais adequado a ser utilizado para a logística reversa dos resíduos gerados pelos portos no que diz respeito à capacidade do caminhão;
- Analisar o impacto da utilização de centrais de transbordo com menor área e capacidade do ponto de vista da contabilização dos custos envolvidos e da ocupação das instalações;
- Analisar o impacto do adicional do custo de oportunidade para centrais localizadas dentro da área portuária;
- Verificar se o padrão de sensibilidade do modelo se mantém com o aumento na quantidade de resíduos.

1.2 JUSTIFICATIVA

A aplicação da metodologia que será apresentada nesta dissertação e, conseqüentemente, o uso de centrais de transbordo nos portos do Brasil pode ser justificada, essencialmente, por três pilares. O pilar principal e já citado anteriormente é a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Além disso, há também o Manual Detalhado de Instalações Portuárias para Recepção de Resíduos – IMO e, por fim, experiências semelhantes e bem sucedidas que funcionam em outros portos do Brasil e do mundo (Figura 2).

Figura 2: Embasamento para uso das centrais de transbordo em portos



Fonte: Adaptado de Sanches (2014).

A PNRS foi instituída por meio da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010a) e regulamentada pelo Decreto nº 7.404 de 23 de dezembro de 2010 (BRASIL, 2010b), tem sido o ponto norteador dos trabalhos desenvolvidos no âmbito desta proposta. A PNRS abrange todos os tipos de resíduos sólidos e define diretrizes, princípios e instrumentos fundamentais ao tema, como ciclo de vida do produto e logística reversa, buscando a coordenação entre produção e consumo consciente. Na PNRS foi estabelecida a responsabilidade compartilhada na

destinação dos resíduos, onde cada integrante da cadeia produtiva e os órgãos governamentais possuem funções específicas no manejo e controle adequado dos resíduos sólidos. A ideia central é que a vida útil do produto não termina após ser consumido, mas volta a seu ciclo de vida, para reaproveitamento, ou para uma destinação ambientalmente adequada. Ademais, a Lei da PNRS introduziu a diferenciação entre resíduos e rejeitos, reconhecendo o resíduo sólido como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania. Ela considera ainda, que somente depois de exauridas todas as possibilidades de tratamento e recuperação do material residual por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, o material pode ser considerado rejeito e seguir para disposição em aterro sanitário (MMA, 2011).

Especificamente quanto aos terminais, a PNRS, discorre que os responsáveis pelos terminais estão sujeitos à elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos (Título III, Capítulo II, Seção V, Art 20º da Lei nº 12.305). Este plano, engloba, dentre outras informações (Título III, Capítulo II, Seção V, Art 21º da Lei nº 12.305), uma definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador; uma identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores; além de metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), do Sistema Nacional de Vigilância Sanitária do Brasil (SNVS) e do Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária (SUASA), à reutilização e reciclagem.

Dessa maneira, nota-se uma série de obrigações legais referentes à elaboração de planos de gerenciamento de resíduos sólidos em terminais marítimos, além de metas para ampliação da reutilização e reciclagem em portos. Tais fatos estão intimamente relacionados aos objetivos dessa dissertação e demonstram a necessidade de uma metodologia que auxilie na estruturação da gestão desses resíduos.

O segundo ponto norteador capaz de justificar este trabalho é o Manual Detalhado de Instalações Portuárias para Recepção de Resíduos – IMO. Esse manual foi lançado em 1999 na tentativa de atender as demandas da MARPOL 73/78,

Convenção Internacional para a Prevenção da Poluição por Navios. Nele constam informações necessárias para a construção de instalações adequadas para a recepção de resíduos. Entende-se por instalações adequadas para a recepção dos resíduos portuários, locais capazes de receber, separar e armazenar os resíduos e misturas com os quais se lidam nos portos, e que possuam capacidade de recepção apropriada. Além disso, o governo federal deve garantir que as formalidades sanitárias, ambientais e alfandegárias para o uso dessas instalações deverão ser tão simples e eficientes quanto possível a fim de evitar atrasos indevidos aos navios (ANTAQ, 1999).

Por fim, o terceiro pilar para embasar o modelo proposto por esta dissertação é o conjunto de experiências semelhantes que funcionam em outros portos do Brasil e do mundo. No Porto de Valencia, Espanha, por exemplo, os resíduos gerados nas instalações da Autoridade Portuária bem como nas áreas afins são de sua responsabilidade. Para essas áreas existem coletores específicos para a operacionalização da coleta seletiva, incluindo coletores específicos para resíduos perigosos. Cada arrendatário é responsável pela gestão dos seus resíduos, contudo, a Autoridade Portuária facilita tal gestão colocando à disposição um Centro de Transferência localizado na zona portuária (VALENCIA PORT, 2011). Esses centros assemelham-se às centrais de transbordo propostas nesta dissertação. Outra experiência semelhante é a do porto do Forno, localizado em Arraial do Cabo - RJ, Brasil. Nele já existem centrais de transbordo instaladas que são gerenciadas por uma empresa externa e todo resíduo gerado ou descarregado no porto precisa passar pela área de transbordo para que operações referentes à destinação final correta dos resíduos sejam realizadas. Ao final do mês, uma parcela da receita obtida pela venda desses resíduos para reciclagem e reutilização é repassada para a administração do porto (PORTO DO FORNO, 2014).

Dessa maneira, é cabível afirmar que a necessidade de estudos que possam auxiliar a estruturação do gerenciamento dos resíduos sólidos nos portos brasileiros, de modo a obter a conformidade destes em relação, principalmente, à PNRS, motivou o desenvolvimento deste trabalho. Esta dissertação apresenta relevância por envolver aspectos reais de portos do Brasil e associar tanto a questão social e ambiental relacionado ao trabalho realizado pelas empresas recicladoras, quanto à questão legal relacionada a necessidade de melhoria do gerenciamento de resíduos sólidos

nos portos brasileiros. Outro aspecto importante é a carência de estudos desse cunho com aplicações práticas em portos conforme poderá ser visto no capítulo de revisão literária. O modelo matemático proposto baseou-se nos estudos de Pishvae *et al.* (2010) diferindo deles, e dos demais pesquisados e relatados no Capítulo 2, por ter uma função objetivo mais abrangente em relação à análise de custos e receitas, visto que contempla a minimização não apenas dos custos fixos de instalação das centrais de transbordo e dos custos de transporte entre facilidades, mas também a minimização dos custos de operação das centrais abertas, além da maximização da receita auferida pela venda do material reciclável. Além disso, o modelo segrega em diferentes caminhões os resíduos de acordo com sua periculosidade, assim, resíduos perigosos não são misturados aos resíduos não perigosos, pois isso pode inviabilizar a possibilidade de reciclagem. O modelo proposto nesta dissertação possui ainda um índice adicional referente ao tipo específico de resíduo que irá ser alocado para as centrais de transbordo e empresas receptoras. Esse índice possibilita, por exemplo, a definição de qual tipo de resíduo específico cada uma das empresas receptoras é capaz de receber e tratar. Por fim, o modelo permite a escolha da capacidade do caminhão que será usado na rede logística reversa, além de informar não apenas a quantidade do fluxo de resíduos, em toneladas, que flui pelos arcos, mas também a quantidade de caminhões necessária. Diante de tais enumerações, apresenta-se como um importante subsídio e ponto de partida para a elaboração de futuras redes logísticas reversas de resíduos sólidos em ambientes portuários.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação está estruturada conforme o seguinte sumário:

1. Introdução
2. Referencial Teórico
3. Metodologia
4. Modelo Matemático Proposto
5. Obtenção e apresentação dos parâmetros para o modelo matemático
6. Resultados e análises
7. Conclusões

Este primeiro capítulo abordou o tema selecionado para a dissertação, apresentando as considerações iniciais, objetivos, justificativas para a escolha do assunto e a estrutura do trabalho.

No Capítulo 2 consta o referencial teórico, no qual estão os principais conceitos dos problemas de localização de facilidades e de logística reversa; o estado da arte, contemplando as principais publicações relacionadas aos temas; além do modelo matemático que serviu de base para elaboração do modelo proposto nesta dissertação.

O Capítulo 3 apresenta a metodologia utilizada para execução do trabalho. Constam o tipo de estudo, a classificação do problema abordado quanto aos problemas de localização, o delineamento e etapas da pesquisa. Por fim, há a apresentação dos cenários que serão modelados neste estudo.

O Capítulo 4 mostra o modelo matemático proposto, seus respectivos conjuntos, parâmetros, variáveis de decisão, restrições e função objetivo.

O Capítulo 5 possui a etapa de obtenção dos parâmetros do modelo, necessários para aplicação do modelo matemático nos diferentes cenários propostos.

No Capítulo 6, encontram-se os resultados e análises referentes a aplicação da metodologia no porto do Rio de Janeiro e Itaguaí.

O Capítulo 7 apresenta as conclusões da dissertação, análise crítica e direcionamento para pesquisas futuras.

Por fim, as referências, os apêndices e anexos.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo é explicado o problema de localização de facilidades e sua taxonomia, além dos principais conceitos de logística reversa. Posteriormente, é feita uma revisão da literatura sobre esses assuntos e apresentado o modelo de Pishvaei *et al.* (2010), no qual se baseou o modelo proposto nesta dissertação.

2.1 O PROBLEMA DE LOCALIZAÇÃO DE FACILIDADES

Os problemas de localização de facilidades consistem em determinar locais para a instalação de facilidades que atendam às demandas de clientes com o menor custo possível. Facilidades podem representar, por exemplo, postos de saúde, centros de reaproveitamento, escolas, fábricas (FERRI *et al.*, 2015). E clientes podem ser bairros, unidades de vendas, estudantes. Rozental e Pizzolato (2009) afirmam que localizar uma instalação consiste em escolher uma posição para a sua operação de maneira que uma função objetivo seja otimizada (maximizada ou minimizada), satisfazendo algumas restrições. Contudo, ao tratar problemas reais, torna-se necessário fornecer também a sua área de atendimento. Ou seja, informar ao usuário a facilidade que será alocada. Assim, surge o termo localização-alocação. Localizar ou alocar facilidades é uma importante decisão estratégica a ser tomada por organizações privadas ou públicas (OWEN e DASKIN, 1998; FARAHANI *et al.*, 2011, FERRI *et al.*, 2015). Em geral, antes de uma facilidade ser instalada fisicamente, deve-se realizar um estudo de localização para definir o melhor local das instalações e as respectivas capacidades.

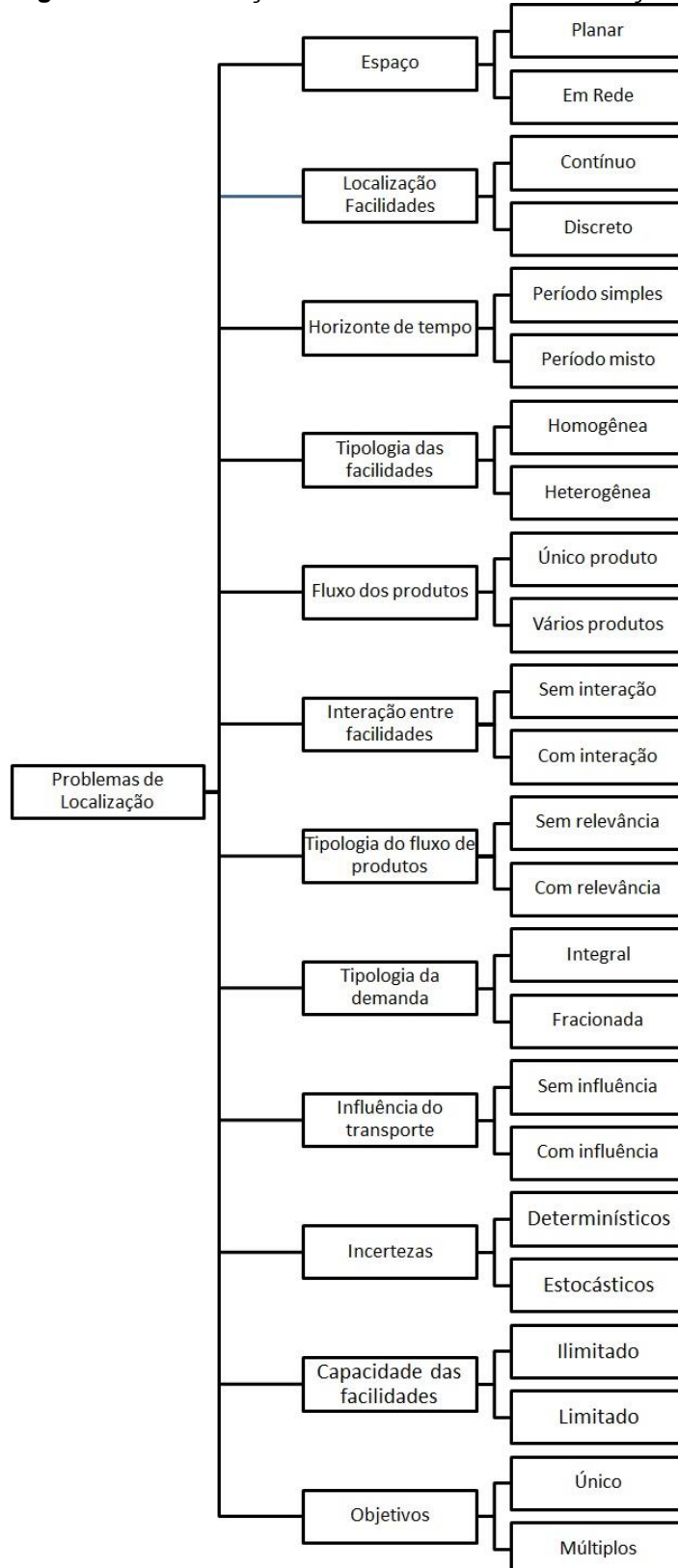
Existem diferentes taxonomias para os problemas de localização de facilidades. A seguir será apresentada uma taxonomia baseada em Klose e Drexler (2005) e Ghiani *et al.* (2004) para os problemas de localização de facilidades em uma rede logística.

2.1.1 Taxonomia para o Problema de Localização de Facilidades

A classificação apresentada é voltada para o problema de localização de facilidades em uma rede logística. Assim, baseado em Klose e Drexler (2005) e Ghiani *et al.* (2004), tem-se uma taxonomia possível para os problemas de localização com as

seguintes classes apresentadas na Figura 3. Em seguida, será feita uma breve descrição de todas as classes expostas.

Figura 3: Classificação dos Problemas de Localização



Fonte: Adaptado de Klose e Drexel (2005) e Ghiani *et al.* (2004).

A primeira classe, nomeada Espaço, diz respeito à distribuição da demanda no espaço de localização. Assim, tem-se a classe Planar onde a demanda ocorre em qualquer lugar no plano. Nesses problemas, supõe-se que não existam restrições de percurso, de modo que se pode usar a distância mais curta. Os mais utilizados são os métodos da métrica euclidiana e o modelo de Weber. Na classe Em rede, as facilidades e os pontos de demanda estão localizados nos nós da rede logística e há restrições de fluxo nos arcos que ligam estes nós da rede (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

A segunda classe, altamente relacionada à primeira, define a classe dos problemas Contínuos, onde os modelos permitem que as facilidades sejam localizadas em qualquer lugar dentro do espaço tratado do problema, o que os assemelha aos Problemas Planares. Os problemas de localização Em Rede são classificados como modelos Discretos, pois se assume que os clientes e as facilidades estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

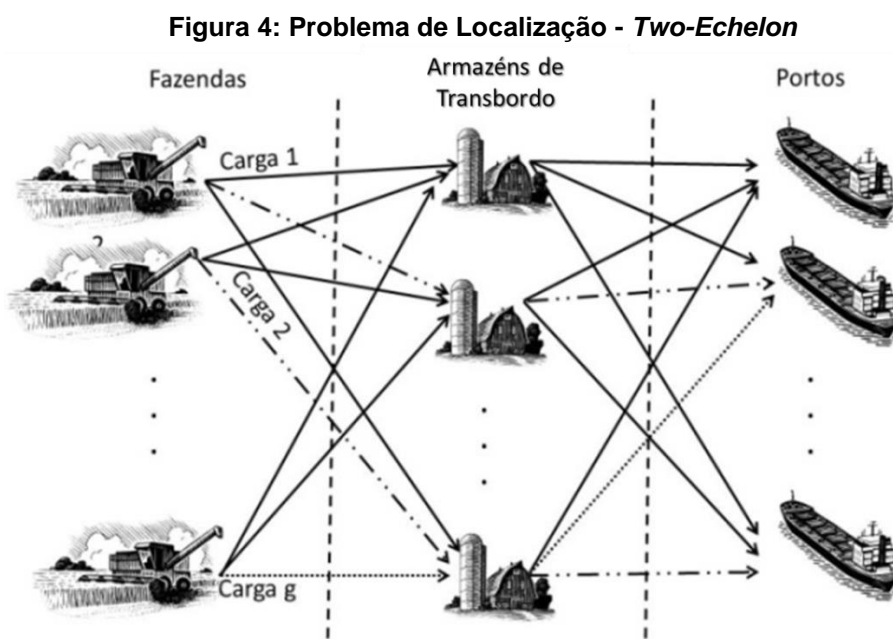
A classe Horizonte de tempo, subitem Período simples, considera somente um único período e todo planejamento é feito com as previsões para este período. No caso da classe Período misto, o horizonte de planejamento é dividido em períodos e em cada um deles novas demandas e novos cenários são definidos, definindo planejamentos diferentes para cada período (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Na quarta classe, denominada Tipologia das Facilidades, na subdivisão Homogênea existe somente um tipo de instalação previsto para localização. Em contrapartida, na Heterogênea existem vários tipos de facilidades para serem localizados (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Referente à classe Fluxo dos produtos, tem-se primeiramente a subdivisão Único produto, onde existe um fluxo de apenas um produto ao longo da rede logística. Enquanto na subdivisão Vários produtos ou multiproduto, diversos produtos podem fluir ao longo das facilidades existentes na rede. Neste último caso, cada produto está associado a um fluxo específico (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Na classificação Interação entre facilidades, quando não existe fluxo de produtos entre facilidades, denomina-se Sem interação. Em contrapartida, problemas nos quais existe a possibilidade de fluxos de produtos entre as facilidades e então a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das facilidades, mas também, dos fluxos entre as facilidades são denominados Problemas de Localização com Interação (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Na sétima classe, Tipologia do fluxo de produtos, tem-se inicialmente a subdivisão Sem relevância, aonde o fluxo do produto que chega à facilidade e que sai da facilidade não é determinante para resolver o problema de localização. Estes são os problemas tradicionais de localização espacial de uma facilidade em função da localização espacial dos fornecedores e clientes sem considerar os fluxos da rede logística. Estes problemas são conhecidos como *Single Echelon*. Já no caso Com relevância, os fluxos de produtos que entram e saem das facilidades da rede são determinantes para a solução do problema de localização. Estes problemas são conhecidos como Múltiplas Camadas ou *Multiple-Echelon* ou *Multi-Echelon*. Nestes problemas, as restrições que tenham como objetivo o equilíbrio entre os fluxos de entrada e de saída tem que ser consideradas (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004). Um caso onde se tenham somente dois níveis pode ser visto na Figura 4.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em resumo, problemas do tipo *Single-echelon* são aqueles nos quais tanto o fluxo de material que sai ou o fluxo de material que entra nas facilidades a serem localizadas é insignificante. Já no *Multi-echelon* tanto fluxo de entrada quanto de saída de mercadorias são relevantes. Este é o caso, por exemplo, quando é necessário alocar centros de distribuição (CDs) levando em consideração tanto o custo do transporte das plantas industriais para os CDs, quanto o custo de transporte dos CDs para os clientes (MELO *et al.*, 2007).

Na classe Tipologia da demanda, ocorre o caso onde o fluxo da demanda não pode ser fracionado, por exemplo, por questões contratuais, e então é exigido que cada cliente seja abastecido por uma única facilidade da rede logística. Já quando a demanda pode ser fracionada, um cliente pode ser atendido por duas ou mais facilidades, tem-se então a classe tipologia da demanda Fracionada (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

Tem-se, ainda, a classe Influência do transporte que trata da dependência e impacto do transporte em decisões de localização. A maioria dos modelos de localização assume que o custo de transporte entre facilidades é estabelecido como um valor de frete calculado, em geral, pela distância a percorrer vezes o volume de carga a ser transportado. Nestes casos tem-se a classe Sem influência. Esta abordagem é apropriada se a viagem dos veículos pode ser realizada por meio de uma rota direta, sem paradas. No entanto, se cada veículo faz coletas e/ou entregas em vários pontos diferentes, então o estabelecimento de um frete único pode ser uma definição complexa. Em tais casos, ao tratar o problema de localização, as rotas a serem seguidas pelos veículos devem ser levadas em conta explicitamente. Esta classe é definida como Com Influência. Para estes casos, o problema de localização é denominado de *Location Routing Problem* (Klose e Drexl, 2005 e Ghiani *et al.*, 2004).

A classe Incerteza é uma classe importante que traduz melhor as incertezas que ocorrem em problemas reais. Tem-se, primeiramente, a subdivisão Determinístico, onde não se consideram as incertezas e, portanto, os valores são fixos. Na classe Estocástico ocorrem incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de viagem, tempo de carregamento. Diferentes fontes de incerteza podem ser encontradas na

literatura, dentre elas: demandas dos clientes, taxas de câmbio, tempos de viagem, quantidade de retorno (MELO *et al.*, 2007).

Na classe Capacidade das facilidades, caso seja considerada a capacidade das facilidades como ilimitada, sem restrições, têm-se os modelos de localização não capacitados ou com capacidade ilimitada (*uncapacitated location model*). No entanto, existem modelos que já impõem esse limite ou tamanho da capacidade das facilidades nas restrições. Estes são problemas definidos como capacitados (*capacitated facility location model*) (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Por fim, em função dos objetivos dos modelos de localização, pode-se considerar apenas um objetivo no problema, por exemplo, determinação de mínimo custo para a rede logística. Tem-se, assim, a classe Único objetivo. Há ainda a possibilidade de existência de Múltiplos objetivos, por exemplo, determinação de mínimo custo com maximização do atendimento da demanda (KLOSE e DREXL, 2005 e GHIANI *et al.*, 2004).

Após a definição desta taxonomia, vale ressaltar que para a definição da localização, deve-se levar em conta não só fatores quantitativos, mas também, decisões qualitativas que são mais difíceis de mensurar e de extrema importância na decisão final de localização. Dentre os fatores que merecem destaque, citam-se alguns a seguir (MELO *et al.*, 2007):

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

Cabe salientar que os problemas de localização não são usualmente classificados como uma única classe da taxonomia apresentada, e sim como um conjunto de classes dentro da taxonomia. Dentre as combinações mais usuais, têm-se: um nível e um único produto (*Single-echelon – Single-commodity*) e dois níveis e vários produtos (*Two-echelon – Multi-commodity*). Aliado a essas combinações mais usuais, pode-se agregar ainda todas as outras classes gerando outros tipos de problemas. Ressalta-se que a partir desse ponto, tendo em vista que o modelo proposto neste projeto de dissertação é do tipo *multi-echelon*, esse caso será o foco do estudo.

2.2 LOGÍSTICA REVERSA

Pereira *et al.* (2012), consideraram que os diversos conceitos existentes para logística reversa derivam do conceito original que diz que a logística reversa está relacionada às atividades envolvidas no gerenciamento da movimentação e disposição de embalagens e resíduos. Leite (2009) acredita tratar-se de uma área da logística que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas do retorno dos bens de pós venda e pós consumo por meio dos canais de distribuição reversos. Por meio da logística reversa é possível agregar valor econômico, ecológico e de imagem corporativa a esses bens. Mueller (2005) elaborou uma definição um tanto quanto prática, diz tratar-se de uma versão contrária da logística habitual que conhecemos.

Em resumo, pode-se afirmar que a logística reversa inclui não apenas o conceito tradicional de logística, mas também inclui ações e operações que envolvem a redução de matérias-primas primárias até a destinação final correta de produtos, materiais e embalagens com o seu consequente reuso, reciclagem e/ou produção de energia. Por tais razões, ela também é conhecida como logística integral ou logística inversa (PEREIRA *et al.*, 2012).

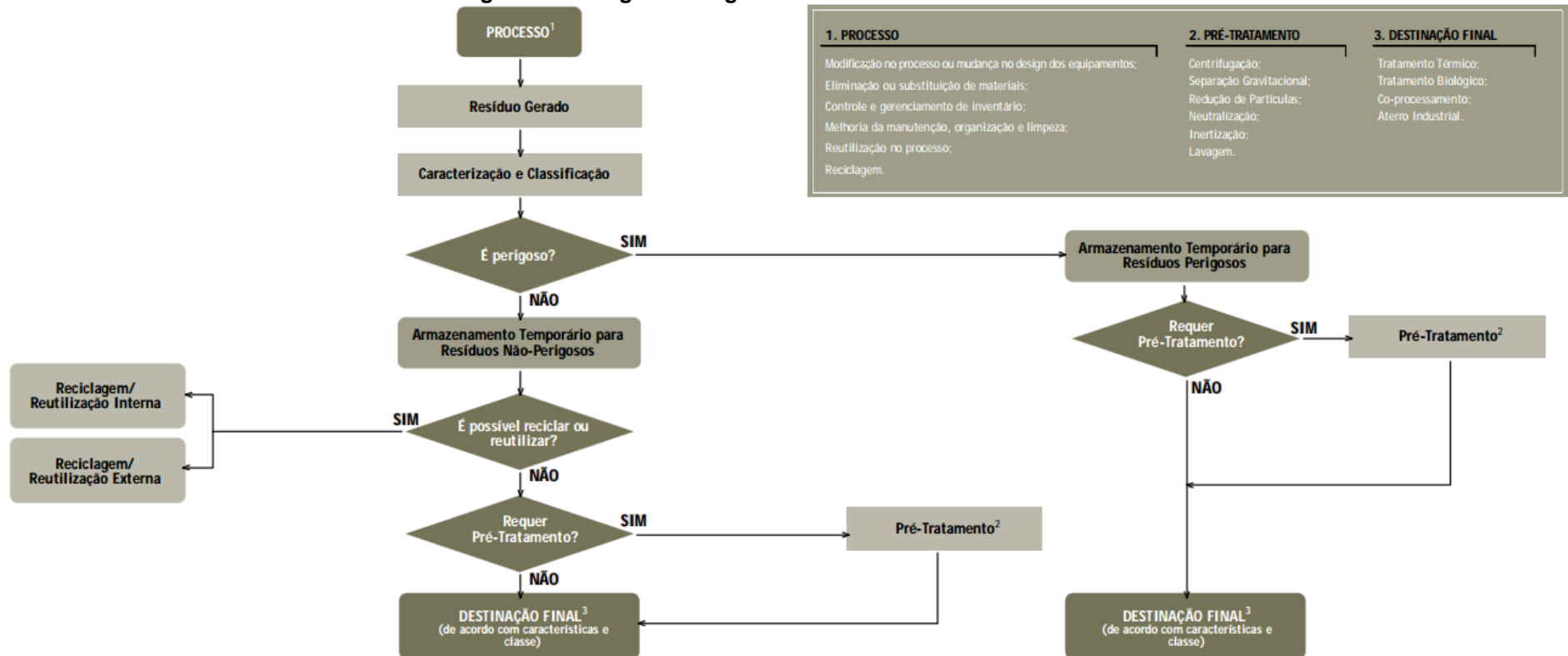
Sarkis *et al.* (1995) listaram três importantes características que diferenciam um rede logística reversa de rede logística tradicional: a maioria dos sistemas logísticos tradicionais não estão preparados para a circulação de produtos em um canal reverso; os custos da logística reversa podem ser maiores que os custos de relacionados ao fluxo dos produtos nos canais comuns, ou seja, da fábrica para os

centros consumidores; produtos recicláveis ou reutilizáveis não necessariamente podem ser transportados, armazenados ou tratados da mesma maneira que os itens que fluem nos canais tradicionais.

Meade *et al.* (2007) dividiram em dois grupos os fatores que levaram ao aumento dos investimentos em logística reversa: 1) fatores ambientais e 2) fatores de negócios. No primeiro inclui-se o impacto ambiental dos produtos utilizados, legislação ambiental e o crescimento da consciência ambiental dos clientes. Já os fatores de negócios estão relacionados aos benefícios econômicos do uso de produtos remanufaturados e às políticas liberais que culminam no aumento da satisfação do cliente.

Segundo Pereira *et al.* (2012), a partir de 1980 o termo logística reversa passou a ser mais explorado tanto no ambiente acadêmico quanto no empresarial e público. Esse crescimento se deu em conjunto à detecção do aumento da degradação ambiental no mundo. Resíduos são gerados em larga escala frutos da fabricação, manuseio e utilização de diferentes materiais nos mais variados processos. Muitos desses resíduos são eliminados de forma inadequada, sem serem tratados corretamente devido à ausência de um gerenciamento adequado. A Figura 5 mostra o fluxo de gerenciamento de resíduos sólidos orientado à redução e reciclagem.

Figura 5: Fluxograma de gerenciamento de resíduos sólidos



Fonte: Sistema Firjan (2006).

Conforme nota-se no fluxo da Figura 5, os resíduos sólidos devem ser classificados quanto à periculosidade em perigosos e não perigosos, conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010a), em seu Título III, Capítulo I, Art. 13. Os resíduos perigosos são aqueles que, em razão de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade, carcinogenicidade, teratogenicidade e mutagenicidade, apresentam significativo risco à saúde pública ou à qualidade ambiental, de acordo com lei, regulamento ou norma técnica. E os resíduos não perigosos são aqueles não enquadrados na classificação anterior.

Já a ABNT NBR 1004/2004 inicia a classificação dos resíduos sólidos de acordo com a identificação do processo ou atividade que lhes deu origem e de seus constituintes e características, bem como em função da comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente seja conhecido. A classificação dos resíduos sólidos é:

- a) Resíduos classe I – Perigosos: resíduos que apresentem periculosidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade.
- b) Resíduos classe II – Não perigosos: resíduos que não se encaixam na classificação de Resíduos Classe I.
 - Resíduos classe II A – Não inertes: resíduos que apresentam propriedade como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
 - Resíduos classe II B – Inertes: resíduos que, se submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

Ainda de acordo com a Figura 5, Thierry *et al.* (1995) classificaram em quatro maneiras o acondicionamento de resíduos: 1) Reuso direto: são os itens que podem ser reutilizados diretamente, sem que seja necessário qualquer reparo prévio (exceto limpeza ou pequeno acerto), por exemplo, garrafas, paletes ou contêineres reutilizáveis; 2) Reparo: tem como objetivo recuperar produtos que possuem pequenas falhas de forma que retornem ao seu estado de funcionamento habitual, mesmo que haja ligeira perda de qualidade; 3) Reciclagem: nesse caso, recupera-se

a matéria sem a conservação da estrutura do produto, por exemplo, reciclagem do plástico, do papel, do vidro, entre outros; 4) Remanufatura: a identidade do produto é conservada e busca-se por meio de operações de desmonte, revisão e substituição de peças trazer o produto a condição de novo. Exemplos podem ser vistos em conjuntos mecânicos (motores e ferramentas de máquinas), além da remanufatura de copiadoras e impressoras.

2.2.1 Projetos de redes logísticas reversas

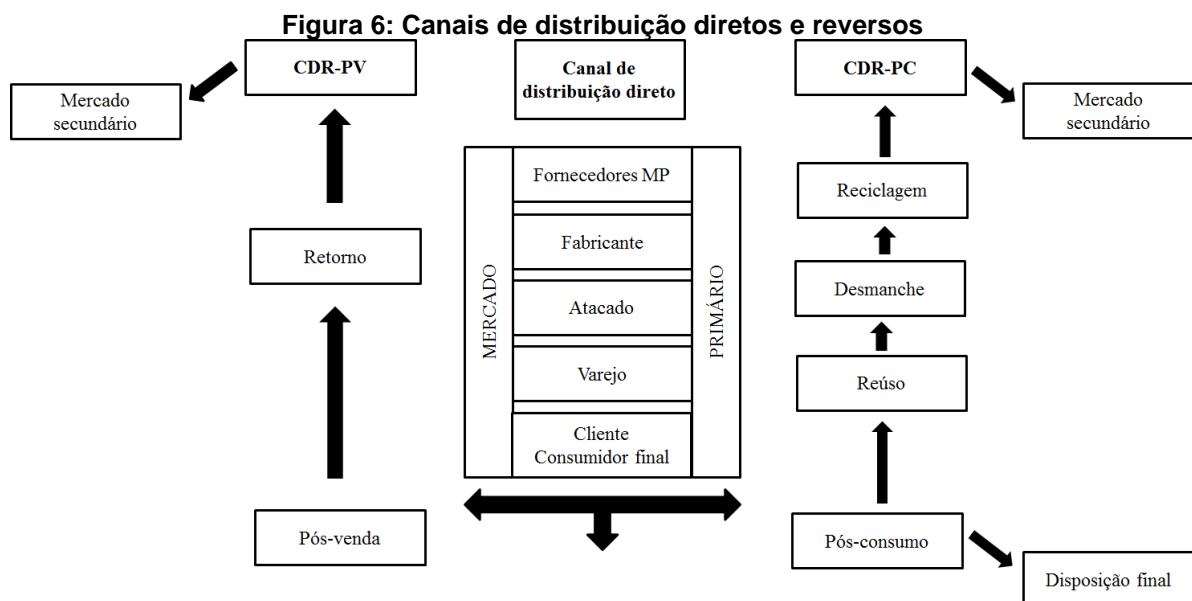
Na última década, muitas empresas como a Dell, General Motors, Kodak e Xerox focadas em atividades de recuperação e remanufatura obtiveram significativo sucesso nesta área (ÜSTER *et al.*, 2007). Em alguns casos, as atividades de recuperação de produtos de retorno criaram uma oportunidade para que os consumidores pudessem comprar e usar um produto que atendesse aos padrões de produtos originais a um preço inferior ao de um produto novo (JAYARAMAN *et al.*, 1999).

Para implementação de redes logísticas reversas, os projetos devem incluir a determinação da quantidade, dos locais e das capacidades dos pontos de recolhimento e centros de destinação final, os estoques em cada local e as quantidades de fluxo que irão circular entre as facilidades (FERRI *et al.*, 2015; USEPA, 2002). A maior parte da literatura sobre projeto de rede logística considera modelos de localização de facilidades baseados em Programação Linear Inteira Mista (PLIM). Há uma gama de modelos relacionados ao assunto, indo de modelos simples de localização de facilidades não capacitadas a modelos complexos, tais como capacitados multiestágios ou modelos *multi-commodities*. Além disso, algoritmos robustos tem sido desenvolvidos com base na otimização combinatória para resolução destes modelos (PISHVAEE *et al.*, 2010).

Na logística tradicional existem os Canais de Distribuição Diretos (CDD) que representam o fluxo dos produtos na cadeia de distribuição, ou seja, matérias-primas virgens ou primárias até o mercado consumidor. Esse fluxo é processado em diferentes etapas: atacadista, distribuidores, consumidor final. Com o decorrer do tempo, o consumidor tornou-se mais consciente, ambientalmente correto e

preocupado com a constante escassez de matérias-primas. Tais fatores culminaram no desenvolvimento de uma nova área da logística empresarial, a logística reversa, e a mesma agregou um novo fluxo de distribuição, o chamado Canal de Distribuição Reverso (CDR). Esse fluxo inclui o retorno, reuso, reciclagem e a disposição segura de componentes e materiais constituintes após o fim de sua vida útil ou ao apresentarem não conformidades, defeitos, quebras ou inutilização (PEREIRA *et al.*, 2012).

Os CDR podem ser divididos em duas classes, os canais de Distribuição Reversos de Pós-Venda (CDR-PV) e os Canais de Distribuição de Pós-Consumo (CDR-PC). Na primeira categoria, há o retorno de um determinado item que teve pouca ou nenhuma utilização, geralmente, motivado por defeitos, não conformidade, erros de emissão de pedido (PEREIRA *et al.*, 2012). Já na segunda categoria há o retorno ao ciclo de produção após o fim da vida útil de determinado bem/ produto. O produto flui por canais de reuso, desmanche e reciclagem até a destinação final. A Figura 6 resume esses conceitos (LEITE, 2009).



Fonte: Adaptado de Leite (2009).

A possibilidade ou não de integração dos canais diretos e reversos, citados anteriormente, é um dos questionamentos principais para planejar adequadamente uma rede logística reversa. Caso seja possível essa integração, deve-se analisar de que forma será realizada. As decisões devem ser tomadas levando em consideração quem são os agentes. Entende-se por agentes as entidades que possuem funções

específicas, por exemplo, as funções de coleta, teste, reprocessamento, reciclagem, adensamento e destinação final. Quais atividades devem ser levadas em conta no canal de distribuição reversa (coleta, teste, classificação, transporte e processamento) e onde deverão estar localizadas. Por fim, deve-se detectar a relação existente entre o canal de distribuição direto e o reverso, podendo ser canais com ciclo aberto ou canais com ciclos fechados (FLEISCHMAN *et al.*, 1997). No primeiro caso, os produtos retornados não voltam necessariamente ou diretamente para serem convertidos no mesmo produto de origem. Já nos ciclos fechados, o item descartado pode retornar na forma de um produto idêntico ou parecido ao original, servindo de insumo direto à cadeia produtiva tradicional. Dessa maneira, é possível uma maior integração entre o canal direto e o reverso (COSTA, 2009).

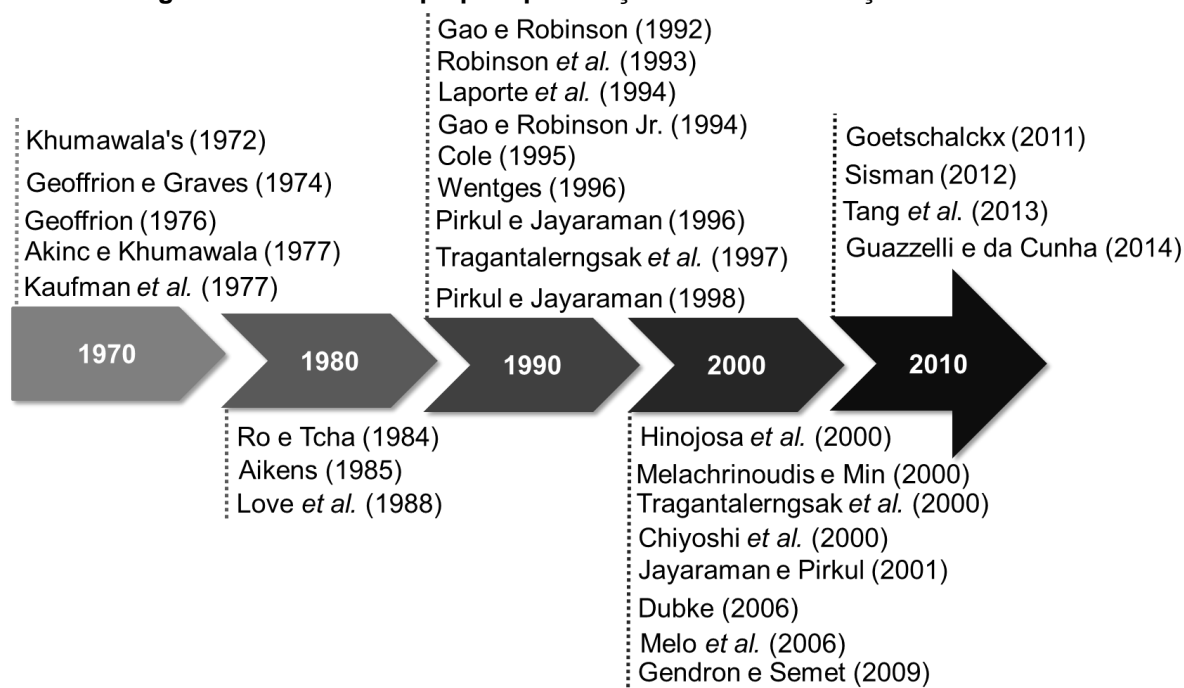
2.3 REVISÃO DA LITERATURA

Esta seção tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos envolvendo a classificação *multi-echelon* para problemas de localização de facilidades, além de trabalhos que envolvam logística reversa, e por fim, problemas que relacionem as duas teorias.

2.3.1 Problema de localização de facilidades do tipo *multi-echelon*

As aplicações possíveis para problemas de localização de facilidades do tipo *multi-echelon* (multicamadas) são muito amplas e nas últimas décadas muito se tem estudado a respeito desse assunto. A Figura 7 apresenta uma linha do tempo com os principais autores que publicaram sobre o assunto nos últimos anos. Seus estudos serão detalhados a seguir.

Figura 7: Linha do tempo para publicações sobre localização de facilidades



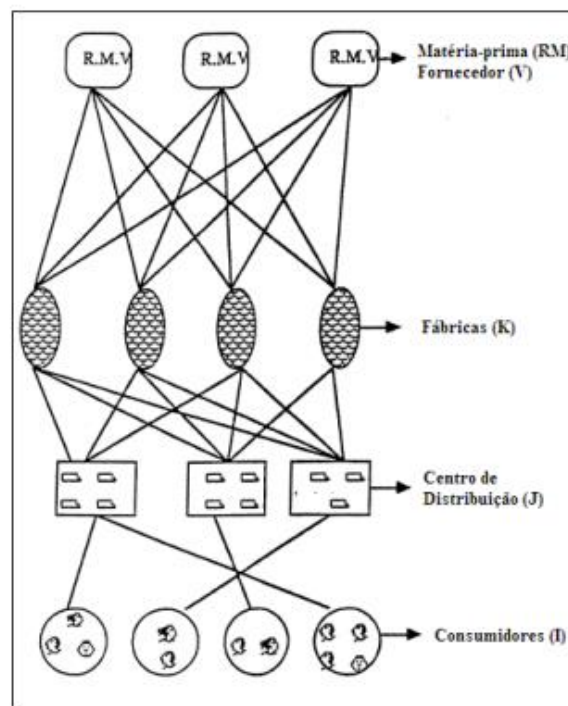
Fonte: Elaborado pela autora.

A iniciar pelo estudo de Geoffrion e Graves (1974), no qual desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista para localizar centros de distribuição de forma a minimizar os custos respeitando as restrições de capacidade impostas. O modelo é do tipo capacitado, discreto, multiprodutos e possui três tipos de nós: centro produtor, centro distribuidor e centro consumidor. Esse modelo serviu de base para diversos outros, como pode ser visto em Geoffrion (1976), Aikens (1985), Love *et al.* (1988), Pirkul e Jayaraman (1998), Chiyoshi *et al.* (2000), Dubke (2006), Hamad (2006) e Goetschalckx (2011).

Gao e Robinson Jr. (1994) apresentaram um modelo geral e um procedimento de solução *branch-and-bound dual-base* para encontrar as melhores soluções para os problemas de localização de facilidades não capacitados de um *echelon*, *two-echelon* e *multi-echelon*. O problema foi formulado como um modelo de programação de rede *arborescent-fixed-charge* (ARBNET) que exhibe estrutura física e matemática do problema e modelos generalizados de capacidade. Para formulação geral do problema de localização de facilidades com dois *echelon*, Gao e Robinson Jr. (1994) utilizaram como fundamentação teórica os estudos de Khumawala's (1972), Kaufman *et al.* (1977), Robinson *et al.* (1993).

Cole (1995) desenvolveu um sistema estratégico de alocação-localização de inventário (SILAS). O modelo inteiro misto multiproduto (*multi-commodities*), *multi-echelon*, com período único buscou otimizar a produção estratégica do sistema de distribuição quando os custos de estoque de segurança eram significativos. Pirkul e Jayaraman (1998) também trabalharam com redes multiprodutos. Eles desenvolveram uma formulação nomeada PLANWAR, objetivando minimizar os custos totais para *multi-commodities*, múltiplas plantas, múltiplos centros de distribuição (CD), sujeitos às restrições de limitação de capacidade das plantas e dos CD. Os autores apresentaram um modelo de programação inteira mista e forneceram um procedimento de solução heurística baseado em Relaxação Lagrangeana para o problema de gerenciamento de cadeia de suprimentos. Posteriormente, Jayaraman e Pirkul (2001) aplicaram o modelo de múltiplas plantas e produtos a um caso real em uma fábrica de produtos de saúde. A Figura 8 ilustra a rede do problema modelado e, nota-se que a condição de abastecimento da demanda (consumidores) só é permitida por um único centro de distribuição. Além disso, os autores trataram o problema de múltiplos produtos por meio do agrupamento de cargas a transportar, o que reduziu a quantidade de variáveis e tornou a resolução menos onerosa.

Figura 8: Modelo de distribuição integrado de múltiplas plantas e produtos



Fonte: Jayaraman e Pirkul (2001)

Em geral, os estudos relacionados aos problemas de localização de facilidades *multi-echelon* tratam de redes logísticas com dois níveis. Mas há algumas pesquisas nas quais foram utilizadas redes com três ou mais níveis. Pirkul e Jayaraman (1996) desenvolveram um modelo de programação inteira mista para um sistema multiprodutos com três camadas. O modelo de problema de localização para fábricas e armazéns tinha como objetivo minimizar os custos totais de transporte e distribuição, além dos custos fixos para abertura e operação de fábricas e armazéns. Empregou-se relaxação lagrangeana para resolução do problema, e também uma heurística para produzir uma solução viável eficaz. O artigo relatou ainda sobre o desenvolvimento de uma estrutura de modelo que pode ser utilizado para prever o desempenho da empresa.

Tragantalerngsak e Holt (1997) consideraram seis diferentes heurísticas lagrangeanas para resolução do problema de localização com dois *echelons*, fonte única e capacitado. Todas as heurísticas foram implementadas e os resultados mostraram que a heurística lagrangeana fornece limites inferiores melhores que os obtidos a partir da programação linear (LP). Em um estudo posterior, Tragantalerngsak *et al.* (2000) também trataram do problema de localização de facilidades capacitado com dois *echelons* e fonte única, ou seja, cada unidade do segundo *echelon* poderia ser abastecido por uma única instalação do primeiro *echelon*. Entretanto, nesse último estudo a forma de resolução foi algoritmo *branch-bound*. Em contrapartida, nos estudos de Kaufman *et al.* (1977), Ro e Tcha (1984) e Gao e Robinson (1992) não existiam restrições de capacidade e cada cliente poderia receber suas demandas de múltiplas fontes.

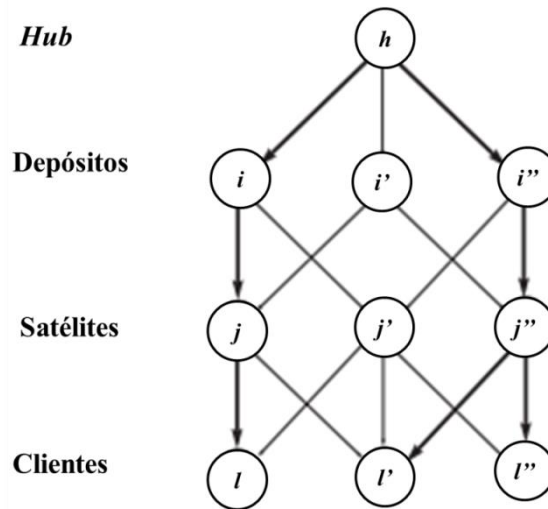
Hinojosa *et al.* (2000) trataram um problema de localização de facilidades onde se desejava estabelecer instalações para dois diferentes níveis de distribuição escolhendo os períodos de tempo. O modelo visa minimizar o custo total ao atender às demandas de todos os produtos especificados ao longo do horizonte de planejamento ao mesmo tempo em que satisfaçam os requisitos de capacidade das plantas de produção e armazéns intermediários. O problema foi solucionado por meio de programação inteira mista e uso de relaxação lagrangeana, juntamente com um procedimento de heurística que constrói soluções viáveis do problema original a partir das soluções nos limites inferiores obtidos pelos problemas relaxados.

Cabe salientar que em alguns casos é necessário realocar facilidades. Trata-se de um processo demorado que deve ser cuidadosamente planejado para evitar interrupções na rede logística. Apenas muitos anos depois que os primeiros artigos sobre problemas de localização multi-período foram publicados, que novos modelos apareceram para lidar com esta situação. Eles consideram uma transferência gradual da capacidade das localizações atuais para novos locais durante um horizonte multi-período e sob custos de movimentação (MELACHRINOUDIS e MIN, 2000 e MELO *et al.*, 2006). Em particular, Melo *et al.* (2006) realizaram um estudo de caso para redes *multi-echelon* sem restrição quanto ao número de camadas de localização.

Dubke (2006) propôs um modelo de *transshipment* (transbordo), combinado com o modelo de localização de plantas capacitadas, aplicado à localização de terminais especializados inseridos em uma cadeia de suprimentos do agronegócio rumo à exportação. Os terminais especializados funcionam como área de transbordo, escoamento e agregação de valor de cargas com destino ao exterior. Trata-se de um modelo de rede, discreto, determinístico, aplicado a múltiplos produtos e com restrições de capacidade.

Gendron e Semet (2009) consideraram um problema de localização-distribuição *multi-echelon* decorrentes de uma aplicação real no serviço de entrega rápida *delivery*. A Figura 9 ilustra uma rede típica que representa esse sistema de localização-distribuição. Iniciando suas viagens de um único *hub* h , os produtos devem ser entregues a três clientes, i , i' e i'' . Do *hub* h , caminhões de médio porte são usados para enviar os produtos para depósitos (até três “depósitos, i , i' e i'' , estão disponíveis) onde os produtos são transferidos em caminhões de pequeno porte e entregues aos satélites (há três satélites, j , j' e j''). Os arcos em negrito representam uma solução para o problema, no caso apenas dois depósitos (i e i'') e dois satélites (j e j'') são usados. No estudo de Gendron e Semet (2009) foram apresentadas e comparadas duas formulações para este problema: um modelo baseado em arco e um modelo baseado em caminho. Foi possível mostrar que a relaxação da programação linear (LP) do modelo baseado em caminho proporciona um melhor limite que a relaxação LP do modelo baseado em arco.

Figura 9: Rede de localização-distribuição *multi-echelon* típica



Fonte: Adaptado de Gendron e Semet (2009).

Já o estudo de Sisman (2012) teve como objetivo definir a abertura de armazéns (CD) em locais apropriados considerando o nível de serviço (alto, médio e baixo), de maneira a minimizar os custos de operação, transporte, distribuição e inventário. Identificou-se, então, o número ideal de facilidades e os locais onde estarão alocadas tais facilidades, de maneira a cobrir a quantidade máxima de clientes e levando em conta a variabilidade de nível de serviço. Os níveis de serviço foram comparados alterando restrições de distância entre os armazéns e clientes. Para isso, desenvolveu-se um procedimento de análise para a localização de CD que integra custos de instalação, custos de estoque, custo de transporte e capacidade de resposta do serviço considerando um sistema de serviços logístico *multi-echelon* com multiprodutos (*multi-commodity*). O modelo utilizou uma cadeia de suprimentos composta por três nós, além de uma estrutura matemática com multiprodutos e programação inteira mista. Utilizou-se o *solver* CPLEX 12.2 para resolução do problema.

No trabalho de Guazzelli e da Cunha (2014), semelhante ao estudo de Sisman (2012), eles apresentaram um modelo matemático para um problema real de localização de centros de distribuição de uma indústria de alimentos na América Latina. Mais especificamente, foi proposto um modelo de programação inteira mista que considera múltiplos produtos; múltiplas camadas, com transferência entre unidades da mesma camada; pontos de *cross-docking*; restrições de capacidade e custos fixos e variáveis para as unidades; além

do ganho de escala em função do tamanho de centros de distribuição. A função objetivo visava a minimização do custo operacional total e os resultados obtidos atingiram reduções deste custo de até 8,3%, mantendo os níveis de serviço próximos aos atuais. Dessa forma, os resultados indicam que para se obter reduções de custo não necessariamente se deve sacrificar o nível de serviço, por mais que o *trade-off* entre custo e nível de serviço seja real em diversas situações.

Notou-se que grande parte das pesquisas referentes à localização de facilidades em redes *multi-echelon* possuem enfoque no desenvolvimento de soluções algorítmicas, principalmente, quando os problemas envolvem a taxonomia de instalações capacitadas. Nessas pesquisas podem ser incluídos os trabalhos com algoritmos *branch and bound* (AKINC e KHUMAWALA, 1977; GAO e ROBINSON JR, 1994; TRAGANTALERNGSAK *et al.*, 2000), relaxação lagrangeana (TRAGANTALERNGSAK e HOLT, 1997; PIRKUL e JAYARAMAN, 1998; HINOJOSA *et al.*, 2000), decomposição de Benders (WENTGES, 1996, TANG *et al.*, 2013), métodos de base dual (GAO e ROBINSON JR, 1994), além de modelos de localização de plantas capacitadas com demandas estocásticas (LAPORTE *et al.*, 1994).

2.3.2 Logística reversa

O planejamento para as atividades de logística reversa vem experimentando um forte desenvolvimento nas últimas décadas. Novos modelos foram desenvolvidos para apoiar a tomada de decisão nesta área. De acordo com os estudos de Roger e Tibben-Lembke (1999) o principal item elencado como motivo para a utilização de estratégias de logística reversa foi o aumento da competitividade, sendo ela alcançada tanto em termos econômicos quanto em termos de imagem. Posteriormente, Hernandez *et al.* (2012) também realizaram uma pesquisa junto às empresas e elaboraram um modelo conceitual que incluía indicadores de desempenho para avaliação da logística reversa. Os indicadores seguiram a lógica do *Balanced Scorecard* (BSC), ou seja, estabeleceram-se medidas de desempenho associadas às diferentes perspectivas - financeira, clientes, processos internos e aprendizado e crescimento. O resultado do estudo confirmou a importância dos

programas econômicos e de imagem sobre o desempenho empresarial, ou seja, os indicadores pertencentes a estes programas são os prioritários, atestando assim o estudo anterior de Rogers e Tibben-Lembke (1999).

Os primeiros artigos de Fleischmann *et al.* (1997), Barros *et al.* (1998) e Jayaraman *et al.* (2003) incentivaram muito a pesquisa subsequente no segmento da logística reversa. Além disso, o desenvolvimento significativo do planejamento da cadeia de suprimentos também levou a uma maior atenção às atividades de logística reversa (DEKKER *et al.*, 2004; DYCKHOFF *et al.*, 2003 e LEBRETON, 2007). Dentre as principais revisões realizadas sobre o tema, destacam-se: Fleischmann *et al.* (1997), que em sua revisão sistemática sobre modelos relacionados à logística reversa, forneceram diretrizes para o entendimento e classificação das formas de atuação da logística reversa. Para isso, subdividiram o tema em três áreas principais: planejamento da distribuição, controle de estoques e planejamento da produção. E ainda, Rosenau *et al.* (1996) e Georgiadis e Vlachos (2004), que associaram logística reversa e desempenho ambiental.

Podem ser citadas ainda as revisões de Rogers e Tibben-Lembke (2001) e Leite e Brito (2003) que investigaram a natureza e as motivações para operações de logística reversa em variadas indústrias. Brito e Dekker (2003), apresentaram uma revisão histórico-bibliográfica e um quadro de referência sobre logística reversa. Daugherty *et al.* (2005) estudaram a relevância dos sistemas e da tecnologia de informação na logística reversa. Já Klose e Drexl (2005) realizaram uma revisão da literatura dos problemas de localização de facilidade com ênfase nos pressupostos fundamentais, modelos matemáticos e referências específicas para abordagens de solução. Por fim, Farahani *et al.* (2011) utilizaram para sua revisão sobre logística reversa cinco categorias: conceitos básicos de logística reversa, pesquisas sobre abordagens quantitativas, estudos de tópicos logísticos, perfis de empresas e aplicações de logística reversa. Dentre os modelos quantitativos clássicos apresentados em seu estudo destacou-se o modelo de localização de facilidades com base em Programação Linear Inteira Mista aplicado por Pishvaei *et al.* (2010).

Além disso, há os estudos que apresentaram e discutiram casos de aplicação de logística reversa em indústrias e setores específicos. Destacam-se: plástico (POHLEN e FARRIS, 1992; GRACZYK e WITKOWSKI, 2011), areia e sobras de

construção (SPENGLER *et al.* 1997; BARROS *et al.*, 1998; LISTES e DEKKER, 2005), carpetes (LOUWERS *et al.*, 1999), copiadoras (KRIKKE *et al.*, 1999), subprodutos do aço (SPENGLER *et al.*, 1997), lojas de departamento (RODRIGUES e PIZZOLATO, 2003), embalagem reutilizável/ retornável (KROON e VRIJENS, 1995; ADLMAIER e SELLITO, 2007), coleta de resíduos sólidos (CUNHA e CAIXETA FILHO, 2002; FERRI *et al.*, 2015), óleo residual de fritura (MATAVEL, 2015), computadores/ informática (RAVI *et al.*, 2005; LEE e DONG, 2008), latas de alumínio (SOUZA *et al.* 2006), setor automotivo (DYCKHOFF *et al.*, 2004), vendas *on line* (MIN *et al.* 2006), recauchutagem de pneus (SASIKUMAR *et al.* 2010; GIURIATTO, 2014), baterias e pilhas (SCHULTMANN *et al.*, 2003; KANNAN *et al.*, 2010; RAMKUMAR *et al.*, 2011), indústria química (GUILLÉN-GOSÁLBEZ e GROSSMANN, 2009) (Quadro 1). Esses estudos serão detalhados a seguir quanto suas especificidades, taxonomia, métodos de resolução e resultados. Ressalta-se que os estudos listados que envolvem problemas de localização em redes logísticas reversa serão tratados na Seção 2.3.3.1.

Quadro 1: Exemplos de aplicação da logística reversa em diferentes setores

Setor/ Indústria de aplicação da logística reversa	Autores
Areia e sobras de construção	Spengler <i>et al.</i> (1997); Barros <i>et al.</i> (1998); Listes e Dekker (2005)
Carpetes	Louwers <i>et al.</i> (1999)
Automotivo	Dyckhoff <i>et al.</i> (2004)
Baterias e pilhas	Schultmann <i>et al.</i> (2003); Kannan <i>et al.</i> (2010); Ramkumar <i>et al.</i> (2011)
Coco verde	Schwartz Filho (2006)
Coleta de resíduos sólidos	Cunha e Caixeta Filho (2002); Ferri <i>et al.</i> (2015)
Computadores/ informática	Ravi <i>et al.</i> (2005); Lee e Dong (2008)
Copiadoras	Krikke <i>et al.</i> (1999)
Embalagem reutilizável/ retornável	Kroon e Vrijens (1995); Adlmaier e Sellito (2007)
Indústria química	Guillén-Gosálbez e Grossmann (2009)
Latas de alumínio	Souza <i>et al.</i> (2006)
Lojas de departamento	Rodrigues e Pizzolato (2003)
Óleo residual de fritura	Matavel (2015)
Plástico	Pohlen e Farris (1992); Graczyk e Witkowski (2011)
Recauchutagem de pneus	Sasikumar <i>et al.</i> (2010); Giuriatto (2014)
Refrigeradores	Krikke <i>et al.</i> (2003)
Serviço de pós-venda	Du e Evans (2008)
Subprodutos do aço	Spengler <i>et al.</i> (1997)
Vendas <i>on-line</i>	Min <i>et al.</i> (2006)

Fonte: Elaborado pela autora.

O cenário que instigou o estudo de Spengler *et al.* (1997) para o problema de entulhos gerados por construções domiciliares foram os baixos percentuais de reciclagem desses resíduos na região de *Upper Rhine Valley*, Alemanha. A modelagem proposta pelos autores para ampliar esse percentual não buscava localizar instalações, mas sim determinar os fluxos de forma integrada nos níveis de desmonte e reciclagem, de forma a maximizar o ganho marginal com os produtos no processo. Os autores fizeram uso um algoritmo de decomposição de Benders e alguns cenários foram criados para análise. O estudo de Kroon e Vrijens (1995) também foi realizado na Alemanha, entretanto, abordou o uso eficiente de embalagens retornáveis. Assim como Adlmaier e Sellitto (2007), que estudaram os ganhos obtidos pela adoção de embalagens retornáveis em uma operação de exportação de cabeçotes de motores do Brasil para os Estados Unidos da América. A introdução dessa prática, específica da logística reversa, trouxe três tipos resultados à empresa exportadora: benefícios financeiros e logísticos, além da redução de ataques ambientais por meio da reciclagem das embalagens plásticas após o término da sua vida útil e da reciclagem das embalagens danificadas.

Krikke *et al.* (1999) desenvolveram um modelo PLIM para uma rede logística reversa de uma empresa copiadora. O estudo destina-se a verificar se a decisão estratégica de mover atividades de remanufatura de uma cidade para outra é economicamente viável. No modelo, os custos de transformação dos produtos devolvidos e os custos de estoque são considerados na função objetivo.

Cunha e Caixeta Filho (2002) propuseram uma abordagem que engloba múltiplos objetivos, contemplando metas para as variáveis consideradas importantes no sistema de coleta de resíduos sólidos urbanos. Ao todo foram estabelecidas nove metas: (i) minimizar a quantidade não coletada mensalmente na cidade; (ii) coletar a maior quantidade de lixo possível, percorrendo-se a menor distância possível; (iii) minimizar a sub ou superutilização dos veículos coletores; (iv) minimizar da quantidade de resíduos sólidos transportados diretamente das zonas i para o aterro sanitário; (v) minimizar as despesas com coleta, transferência, tratamento e disposição final do lixo coletado de maneira convencional; (vi) relacionada ao orçamento destinado à coleta seletiva dos resíduos urbanos; (vii) quantidades coletadas seletivamente por setor; (viii) densidade abaixo e acima da estabelecida. A densidade representa a quantidade de lixo a ser coletada por quilômetro percorrido.

Quanto mais constante for essa densidade em cada um dos setores, melhor distribuídos serão os setores e, conseqüentemente, as equipes de trabalho, já que cada uma é responsável por, ao menos, um setor; (ix) produtividade dos coletores inferior e superior à estabelecida. Quanto mais uniforme for a produtividade, mais bem distribuídas serão as equipes de trabalho. As restrições reais que compõem o modelo são restrições de quantidade coletada e de capacidade da usina de triagem e compostagem. O modelo desenvolvido foi aplicado à cidade de Piracicaba-SP e os resultados mostraram que os setores podem estar mal dimensionados. Além disso, foram detectados problemas de produtividade na coleta seletiva, visto que a produtividade máxima possível não foi alcançada, o que leva a um aumento do custo operacional.

Dyckhoff *et al.* (2004) trataram da expansão da cadeia de suprimentos para sistemas de circuito fechado e analisou o fluxo de materiais no ciclo automotivo. Ravi *et al.* (2005) empregaram *Analytic Network Process* (ANP) e *Balanced Scorecard* (BSC) na análise multicritério de alternativas de logística reversa para computadores que estão no final de vida útil. Souza *et al.* (2006) analisaram o sistema de logística reversa na reciclagem das latas de alumínio, mostrando os resultados econômicos obtidos, além da geração de empregos e renda por meio do desenvolvimento de projetos de caráter social voltados para a educação ambiental.

2.3.2.1 Problemas de localização aplicados a redes logísticas reversas

Esta seção objetiva realizar uma revisão de trabalhos que agreguem problemas de localização de facilidades aplicados a redes logísticas reversas, tendo assim alguma similaridade com o tema abordado nesse estudo.

Spengler *et al.* (1997) estudaram a reciclagem de subprodutos industriais que são aplicados à indústria de aço alemã. Tratou-se de um modelo de localização capacitado de armazéns em múltiplos níveis que buscava auxiliar na escolha do processo de reciclagem mais favorável sob o ponto de vista econômico, além de verificar as possibilidades de cooperação, com base nas capacidades das plantas de reciclagem e na sua localização. Os autores utilizaram o *solver General Algebraic Modeling System* (GAMS/OSL) para resolução do problema.

Barros *et al.* (1998) apresentaram uma rede para a reciclagem de areia e sobras de construção. Havia a necessidade de alocar dois tipos de instalações intermediárias: depósitos regionais e instalações de tratamento especializadas. Tratou-se de um problema de localização capacitado em dois níveis e sem limitação do número máximo de facilidades. Os autores sugeriram o uso de heurísticas para redução do tempo computacional necessário para resolução do problema. No caso, fez-se uso da relaxação linear e a aplicação real foi feita utilizando dados da Holanda. Listes e Dekker (2005) também propuseram um modelo para uma rede de reciclagem de areia, entretanto, tratou-se de um modelo estocástico, ao invés de determinístico, de programação linear inteira mista com o objetivo de maximizar o lucro total. Eles adequaram seu modelo para diferentes situações, gerando vários cenários.

Jayaraman *et al.* (1999) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista 0-1 de ciclo fechado para remanufatura. O objetivo do problema era minimizar os custos totais que incluíam os custos de estoque, localização de instalações e de transporte. Ademais, os autores discutiram os usos gerenciais do modelo para a tomada de decisão. Posteriormente, Jayaraman *et al.* (2003) realizaram uma revisão literária de artigos relacionados a logística reversa, e propuseram uma modelagem de programação matemática inteira mista para o problema de localização de facilidades em redes logísticas reversas, no qual utilizaram uma heurística proposta por Rosing e Reville (1997), conhecida como “heurística de concentração”, anteriormente aplicada ao problema das p-medianas.

Louwers *et al.* (1999) consideraram o planejamento de uma rede de reciclagem de sobras de carpetes. Os autores propuseram um modelo de localização-alocação com duas aplicações prática: uma para o mercado na Europa, onde todo material fornecido precisava ser processado; a outra aplicação foi direcionada à rede reversa nos EUA, onde apenas a quantidade de resíduos de tapetes que foram coletados, deveria ser processada, ou seja, uma rede orientada pela demanda. Os autores ressaltaram que o modelo proposto pode ser utilizado como um ponto de partida para a concepção de outras redes reversas, além disso, ao substituir os custos econômicos na função objetivo por fluxos de resíduos e emissões, o modelo poderia ser usado para obter *insights* sobre os aspectos ambientais de diferentes redes logísticas.

Schulmann *et al.* (2003) desenvolveram um método híbrido para estabelecer uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado para baterias usadas que combinou um modelo de otimização para o planejamento de uma rede reversa e um modelo de fluxo que permite a simulação de potenciais pontos de reciclagem para estes produtos. Os autores encontraram quantos e quais (localização) centros de triagem deveriam ser abertos por meio de um modelo de programação linear inteira mista que minimiza o custo total. O mesmo foi implementado em *General Algebraic Modeling System* (GAMS) e utilizou-se um algoritmo *branch-and-bound*. Kannan *et al.* (2010) também estudaram a logística reversa de baterias. Os autores utilizaram algoritmo genético (GA) e nos resultados realizaram uma comparação entre os valores obtidos por meio do GA com as soluções obtidas pelo GAMS. Resultados satisfatórios foram alcançados tanto no quesito tempo computacional, quanto em termos de qualidade das soluções. Posteriormente, Ramkumar *et al.* (2011) contestaram o modelo proposto por Kannan *et al.* (2010) e recomendaram algumas modificações para corrigir determinadas falhas.

O enfoque de Krikke *et al.* (2003) foi uma cadeia de suprimentos de ciclo fechado de refrigeradores. Eles combinaram um método de programação linear inteira mista para localização de instalações e a análise de sensibilidade do método de programação linear. O modelo foi executado para diferentes cenários variando o tipo de processo (centralizado/ descentralizado), projetos alternativos de produtos, quantidade de retorno, entre outros.

Beamon e Fernandes (2004) analisaram uma cadeia de suprimentos de circuito fechado em que os fabricantes produzem novos produtos e também remanufaturavam produtos usados. Um modelo de programação inteira multiperíodo foi elaborado para determinar quais os armazéns e centros de recolhimento deveriam ser abertos e a quantidade de material que deve ser transportado entre facilidades. O modelo criado analisa conjuntamente os custos de investimento e os custos operacionais.

Schwartz Filho (2006) desenvolveu um modelo matemático e um procedimento metodológico para o estudo de localização de indústrias de reciclagem na cadeia logística reversa do coco verde. Buscou-se caracterizar a cadeia logística reversa do coco verde; selecionar os locais candidatos à instalação das indústrias de

reciclagem; estimar as quantidades de resíduos do coco verde gerados, distâncias e custos; modelar o problema proposto, utilizando-se a programação linear mista e não-linear; e por fim, escolher as ferramentas para solução do modelo. Dez cenários foram propostos para o estado do Espírito Santo, combinando-se diferentes quantidades de indústrias, capacidades e regiões de instalação, e variando-se os custos envolvidos, a quantidade de resíduos e o tempo de vida das indústrias. O objetivo do modelo era minimizar os custos de instalação, operação, estoque e transporte, e as ferramentas utilizadas foram o *Solver* e o *What'sBest!*. Os resultados mostraram que os custos de instalação e transporte foram os que representaram maior peso na minimização do custo total e, conseqüentemente, na escolha dos locais de instalação das indústrias de reciclagem, e os parâmetros de custo do terreno e distâncias os que mais afetaram estes custos, respectivamente. Além disso, os resultados foram coerentes com a atual localização do aterro sanitário existente no município de Cariacica, hoje utilizado como local de destinação final dos resíduos do coco verde gerados na Região da Grande Vitória, sendo este município escolhido nos dez cenários utilizados. Ressalta-se que a metodologia formulada pelo autor não fornecia a localização exata das indústrias de reciclagem, mas permitia obter a indicação das melhores localizações de forma a minimizar os custos envolvidos.

Min *et al.* (2006) propuseram um modelo de programação inteira combinada não-linear e um algoritmo genético que foram aplicados a um processo de retorno de produtos de vendas *on-line*. Por meio do modelo era possível determinar o número de localizações de centros de retorno.

Srivastava e Srivastava (2006) descreveram um *framework* que oferece soluções rentáveis para gerir devoluções de produtos na Índia. O *framework* integrado ajuda a estimar retornos para determinadas categorias de produtos e, posteriormente, tomar decisões simultâneas sobre sua disposição, localização e capacidade das instalações e dos fluxos de produtos devolvidos para um determinado horizonte de tempo, obedecendo a várias restrições operacionais, estratégicas e de atendimento aos clientes. Os autores combinaram modelagem descritiva com técnica de otimização usando programação linear inteira mista. Segundo os autores, a metodologia criada pode ser ajustada e incorporada a múltiplas estruturas de custos,

a outros produtos, e embora, o estudo tenha sido feito no contexto indiano, o *framework* pode ser facilmente aplicado a outros países em desenvolvimento.

Lu e Bostel (2007) consideraram um problema de localização de dois níveis com três tipos de facilidades a serem localizadas em um sistema de logística reversa chamado de rede de remanufatura. Eles propuseram um modelo de programação inteira mista 0-1 que considera os fluxos direto e reverso e suas interações, simultaneamente. Eles também desenvolveram um algoritmo baseado nas heurísticas de Lagrange para resolver o modelo proposto. Já Üster *et al.* (2007) projetou uma rede semi-integrada na qual centros de recuperação devem ser localizados. O modelo otimiza os fluxos diretos e reversos simultaneamente. Um método exato foi desenvolvido com base na técnica de decomposição de Benders.

Aras *et al.* (2008) desenvolveram um modelo não-linear para determinar as localizações dos centros de recolhimento em uma rede logística reversa que permitia determinar o preço ideal de compra de produtos utilizados com o objetivo de maximizar o lucro total. Eles propuseram uma abordagem heurística baseada em busca tabu para resolver o modelo.

Lee e Dong (2008) abordaram o projeto de rede logística para recuperação de produtos de informática no final da vida útil por meio do desenvolvimento de um modelo de programação determinística que gerencia de forma sistemática os fluxos logísticos. Devido à complexidade do problema e o grande número de variáveis e restrições uma abordagem heurística de duas fases foi desenvolvida para decompor o projeto integrado das redes de distribuição multi-*echelon* tradicional e reversa em um problema de localização-alocação e um problema de fluxo de rede. Um algoritmo de busca tabu foi aplicado para se obter a solução de melhoria do transporte dos produtos recuperados. A aplicabilidade do método foi ilustrada em um estudo numérico com 25 instâncias que mostraram soluções de alta qualidade. Já Du e Evans (2008) propuseram um modelo PLIM biobjetivo, sendo os objetivos a minimização custos totais e a minimização do atraso total de tempo de ciclo em um serviço de pós venda. A abordagem de solução baseou-se em uma combinação de três algoritmos de busca: *Scatter Search*, o método simplex dual e o método das restrições. Os resultados numéricos revelaram uma relação de *trade-off* (perde-e-ganha) entre os dois objetivos. Ademais, a otimização para a primeira função

objetivo, minimização dos custos totais, levou a uma estrutura de rede centralizada, já a segunda, resultou em uma estrutura de rede descentralizada.

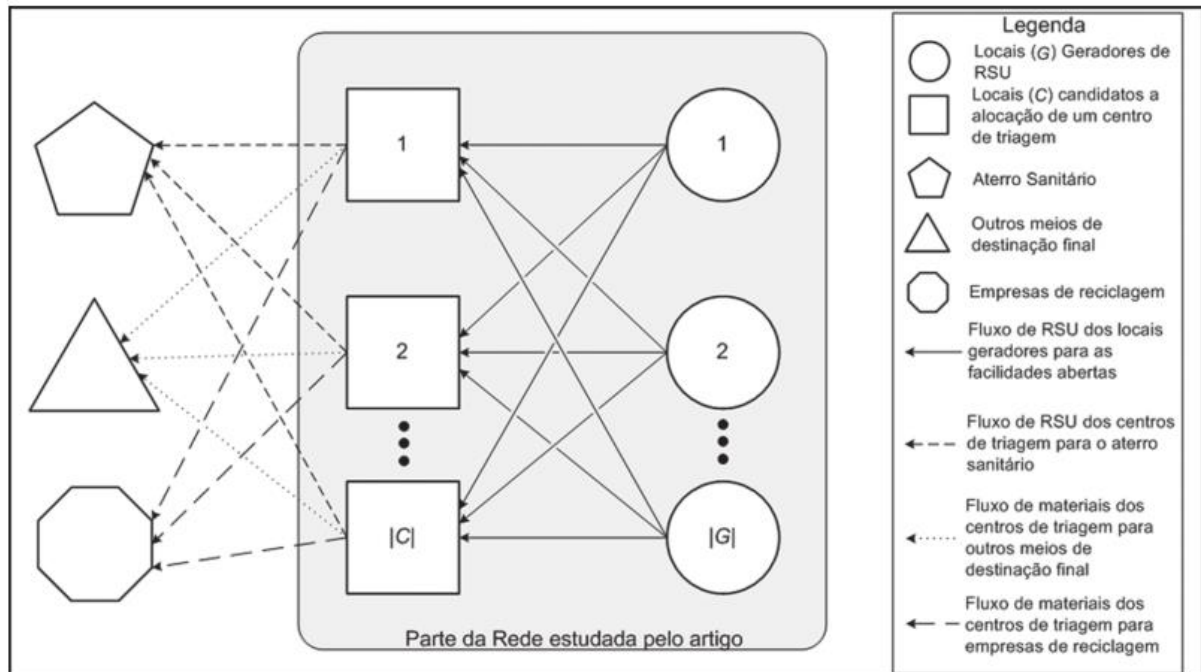
Sasikumar *et al.* (2010) desenvolveram um modelo de programação linear inteira mista para maximizar os lucros de uma rede logística reversa multi *echelon* aplicada em a recauchutagem de pneus de caminhão. O modelo foi resolvido usando o *software* LINGO 8.0 e forneceu decisões relacionadas ao número de facilidades a abrir, seus locais e também os fluxos de destinação dos produtos. Além disso, foi feita análise de sensibilidade do modelo para saber a distância máxima permitida entre os clientes e os pontos de coleta iniciais. Os resultados gerais mostraram que a utilização de pneus recauchutados é rentável.

Giuriatto (2014) propôs um modelo de localização para definir quais municípios serão candidatos a pontos de coleta de pneus inservíveis, os EcoPontos, no estado do Espírito Santo. Dentre as conclusões obtidas por meio da execução dos cinco cenários propostos, listou-se o aspecto vantajoso da utilização de dois EcoPontos menores em detrimento de um maior, do ponto de vista de minimização de custos, além da necessidade de uma estrutura de custos integrada entre os agentes envolvidos na rede logística reversa, visando uma análise de viabilidade econômica global.

Ferri *et al.* (2015) apresentaram uma metodologia baseada em um modelo matemático de localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos (RSU) para municípios. A aplicação do método foi realizada no município de São Mateus-ES, e envolveu a inclusão de centros de armazenagem e triagem pelo município com o objetivo de segregar os materiais passíveis de serem reciclados antes de enviar os RSU para o aterro sanitário. A inserção dessa facilidade proporcionou uma diminuição do volume de resíduos destinados ao aterro, reduzindo os custos de transporte e aumentando a vida útil do aterro sanitário, além de permitir a comercialização de materiais recicláveis. O modelo matemático proposto teve como objetivo minimizar os custos fixos totais (instalação e operação das centrais), além dos custos variáveis de transporte dos resíduos. Para avaliar a localização dos centros de armazenagem e triagem no município de São Mateus, ES foram criados doze cenários de acordo com as especificidades do local e testados

com o *solver* CPLEX 12.2. A Figura 10 ilustra a estrutura da rede logística reversa proposta no trabalho de Ferri *et al.* (2015).

Figura 10: Proposta de rede de logística reversa para RSU no município de São Mateus



Fonte: Ferri *et al.* (2015).

Matavel (2015) apresentou a projeção de uma rede logística reversa para viabilizar a coleta e transporte óleo residual de fritura de forma a garantir o volume e escala necessários para seu reaproveitamento, com destaque para a produção do biodiesel no distrito municipal KaMpfumo em Moçambique. A rede logística reversa do estudo possui dois elos, a listar: os geradores de óleo residual de fritura e os centros de retorno e pré-tratamento. O modelo matemático proposto baseou-se em uma variante do problema p-Mediana para a localização das facilidades. O método de resolução foi a Programação Linear Inteira Mista, implementado em linguagem C/C++, e testado com o *solver* CPLEX. Os três cenários criados estimaram a situação atual de coleta de óleo, a elevação desta coleta por meio de crescimento populacional dos próximos anos e por meio de implantação de um quadro legal proposto para impulsionar para produção de biodiesel. Tanto o número de centros de retorno abertos, quanto o número de centro de pré-tratamento mostraram-se constantes em todos cenários, 12 e 1, respectivamente.

Ao final da revisão literária dos três temas, problemas de localização de facilidades do tipo *multi-echelon*, logística reversa e problemas de localização de facilidades aplicados à redes logísticas reversas, nota-se que grande parte dos estudos concentram-se no uso de metodologias baseadas em modelagem matemática. Além disso, há um grande desenvolvimento nas últimas décadas no que diz respeito à integração de logística reversa e gestão de resíduos (FERREIRA, 2012; PISHVAEE *et al.*, 2010). Entretanto, muitas direções de pesquisa na área de projetos de redes de logística reversa ainda exigem uma intensa pesquisa. Por exemplo, a subclasse de incerteza (estocástico/ determinístico, conforme Figura 3). A literatura referente a esses tópicos da logística reversa ainda é escassa. Outras subclasses também demandam maior estudo, principalmente, por serem problemas complexos do tipo NP-*hard*. Entretanto, o desenvolvimento de soluções eficientes nessa área vem crescendo nos últimos anos por ser uma necessidade crítica dada a relevância do tema no cenário atual carente de soluções práticas em prol da sustentabilidade em diferentes processos.

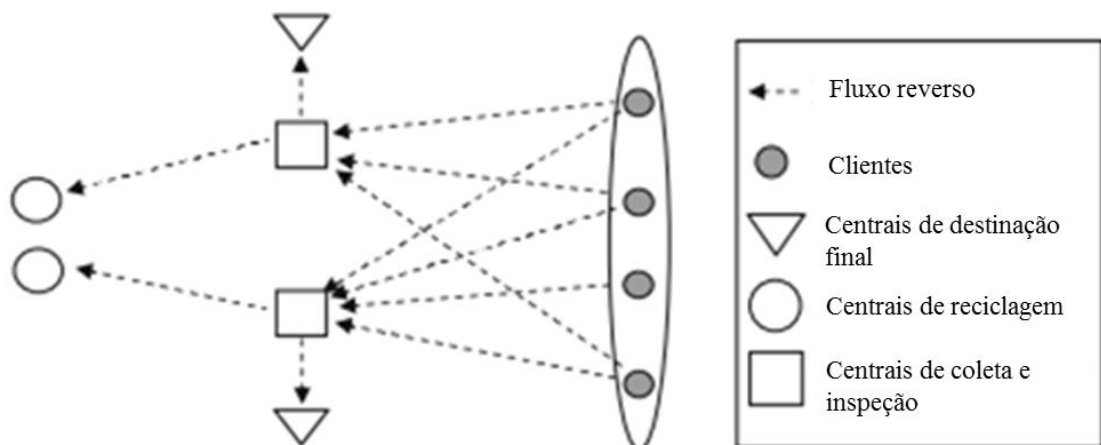
Por fim, ressalta-se que não foram encontrados trabalhos de problemas de localização *n-echelon* de centrais de transbordo para incentivar a reciclagem em portos públicos nas plataformas de busca citadas na Seção 3.1, *Science Direct*, *Web of Science*, *Scopus*, Plataforma CAPES, além do *Google Scholar*. As palavras chaves para busca foram: *reverse logistics*, *facility location*, *location problem*, *multi-echelon system*. Foram encontrados trabalhos que utilizam esse tipo de facilidade, as centrais de transbordo, para gerenciar melhor os resíduos, entretanto, nenhum deles com a aplicação em terminais. Esse fator amplia a importância da aplicação relatada nesta dissertação.

2.4 MODELO MATEMÁTICO APRESENTADO POR PISHVAEE *et al.* (2010) NA LITERATURA

Farahani *et al.* (2011) em seu estudo apresentou modelos quantitativos clássicos relacionados a logística reversa. Dentre eles, o modelo de localização de facilidades com base em programação linear inteira mista de Pishvaeae *et al.* (2010). Os autores analisam uma rede logística reversa com várias camadas compostas por clientes,

coleta e inspeção, reciclagem e centrais de destinação final com capacidades limitadas. Conforme Figura 11, os produtos que são coletados nas zonas de clientes direcionam-se a centrais de coleta e inspeção, também chamadas de centrais de transbordo, e após a inspeção de qualidade são divididos em produtos recicláveis e produtos sem possibilidade de reutilização. Os produtos recicláveis são transportados para as centrais de reciclagem, enquanto os produtos irrecuperáveis são enviados para as centrais de destinação final para serem eliminados. Segundo os autores, essa estratégia evita o transporte excessivo de materiais que ainda não tenham o destino correto definido, sendo enviados muitas vezes para instalações inadequadas. Ao adotar a estratégia de utilização de centrais de transbordo para coleta e inspeção, garante-se que os produtos sejam destinados às instalações adequadas, sejam elas centrais de reciclagem ou centrais de destinação final.

Figura 11: Estrutura da rede logística reversa



Fonte: Pishvae et al. (2010).

Para este estudo, três pressupostos e simplificações na formulação do modelo são definidos:

- Todos os produtos devolvidos pelos clientes devem ser recolhidos;
- Os locais (zonas) de clientes são fixos e pré-definidos;
- Quantidade, locais e capacidades das centrais de reciclagem e destinação final são conhecidos com antecedência.

O objetivo do projeto de rede logística reversa de Pishvae et al. (2010) é escolher o local e a quantidade de centrais de coleta e inspeção para a rede, além de

determinar a quantidade de fluxo entre as facilidades. O modelo é apresentado a seguir em cinco partes, os conjuntos, as variáveis, os parâmetros, a função objetivo e as restrições.

- Conjuntos

I - Conjunto de áreas potenciais para as centrais de coleta e inspeção;

J - Conjunto de centrais de reciclagem;

K - Conjunto de centrais de destinação final;

L - Conjunto dos locais de clientes.

- Variáveis

X_{ii} - Quantidade de produtos que retornaram do cliente i para a central de coleta e inspeção i ;

Z_{ij} - Quantidade de produtos reutilizáveis transferidos da central de coleta e inspeção i para a central de reciclagem j ;

W_{ik} - Quantidade de não recicláveis transferidos da central de coleta e inspeção i para a central de destinação final k .

$$Y_i \begin{cases} = 1 & \text{se uma central de coleta e inspeção é aberta no local } i; \\ = 0 & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

- Parâmetros

d - Fração média de produtos não recicláveis (em percentual);

r_i - Quantidade de produtos devolvidos pelo cliente i ;

f_i - Custo fixo de instalação da central de coleta e inspeção i ;

cf_{ii} - Custo de transporte para uma unidade de produto devolvido do cliente i para a central de coleta e inspeção i ;

cs_{ij} – Custo de transporte para uma unidade de produto reutilizado transportado da central de coleta e inspeção i para a central de reciclagem j ;

ct_{ik} - Custo de transporte para uma unidade do produto não reciclável transportado da central de coleta e inspeção i para a central de destinação final k ;

caf_i - Capacidade da central de coleta e inspeção i ;

cas_j - Capacidade da central de reciclagem j ;

cat_k - Capacidade da central de destinação final k .

- Função objetivo

$$\min \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} cf_{li} X_{li} + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} cs_{ij} Z_{ij} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} ct_{ik} W_{ik} \quad (1)$$

- Restrições

$$\sum_{i \in I} X_{li} = r_l \quad \forall l \in L \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} Z_{ij} = (1-d) \sum_{l \in L} X_{li} \quad \forall i \in I \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} W_{ik} = d \sum_{l \in L} X_{li} \quad \forall i \in I \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L} X_{li} \leq Y_i caf_i \quad \forall i \in I \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} Z_{ij} \leq cas_j \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} W_{ik} \leq cat_k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$X_{li}, Z_{ij}, W_{ik} \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (9)$$

A Função Objetivo (1) visa minimizar os custos. A primeira parcela é referente ao custo fixo de instalação das centrais de coleta e inspeção alocadas, as demais parcelas referem-se aos custos de transporte entre as facilidades. Na segunda parcela tem-se o custo de transportar itens dos clientes para as centrais de coleta e inspeção, a terceira contempla o custo de transporte das centrais de coleta e inspeção até as centrais de reciclagem. Por fim, a quarta parcela refere-se ao custo de transportar produtos que não podem ser reciclados da central de coleta e inspeção para as centrais de destinação final.

As Restrições (2) garantem que todos os produtos devolvidos pelos clientes sejam coletados e direcionados às centrais de coleta e inspeção. As Restrições (3) e (4) asseguram o equilíbrio de fluxo nos centros de coleta e inspeção. As Restrições (5) proíbem que as unidades de produtos devolvidos sejam transferidos para centrais de coleta e inspeção, a menos que as centrais estejam alocadas, além de garantir que os valores transportados não excedam as capacidades dos centrais de coleta e inspeção. As Restrições (6) e (7) são restrições de capacidade das centrais de reciclagem e das centrais de destinação final, respectivamente. Por meio delas, há a obrigatoriedade que os produtos enviados para tais instalações não ultrapassem as suas capacidades. Finalmente, as Restrições (8) garantem que a variável Y_i assuma apenas os valores 0 ou 1. Já as Restrições (9) garantem a não negatividade das demais variáveis.

Segundo Pishvaei *et al.* (2010), o modelo apresentado em seu trabalho consiste em dois problemas, problema de localização de facilidades capacitado em uma rede logística reversa e otimização do fluxo. Sendo considerado, portanto, um problema do tipo NP-Hard de difícil resolução por meio de algoritmos exatos quando em tamanho grande. Para tornar a resolução menos demorada os autores aplicaram um algoritmo *simulated annealing* que não é o foco deste estudo e, por isso, não será detalhado.

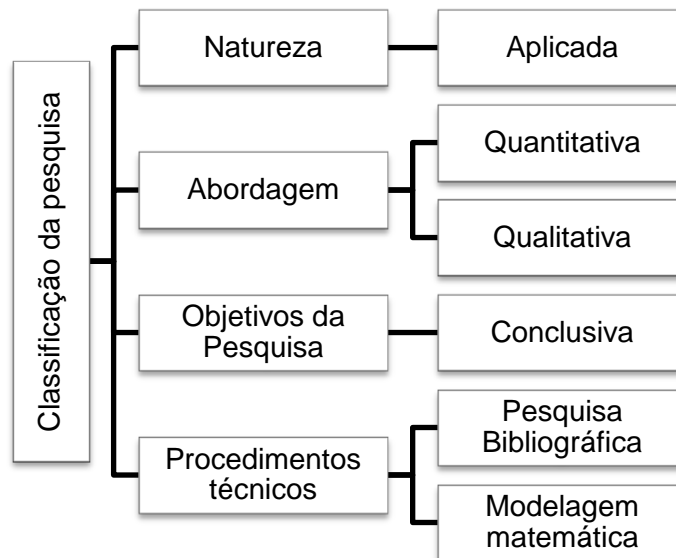
2. METODOLOGIA

Neste capítulo são apresentados os aspectos referentes à metodologia de pesquisa utilizada no desenvolvimento desta dissertação. O tipo de estudo, a classificação do problema abordado quanto aos problemas de localização de facilidades, o delineamento e as etapas da pesquisa e, por fim, os cenários a tratar estão expostos a seguir.

3.1 TIPO DE ESTUDO

A metodologia de pesquisa adotada neste trabalho pode ser classificada como uma pesquisa científica de natureza aplicada, segundo abordagens quantitativas e qualitativas, com objetivos conclusivos e utilizando-se da modelagem matemática, além de pesquisa bibliográfica como procedimento técnico (Figura 12) (SILVA e MENEZES, 2005; BERTRAND e FRANSOO, 2002).

Figura 12: Classificação da pesquisa científica



Fonte: Elaborado pela autora.

A pesquisa classifica-se como natureza aplicada, pois é capaz de gerar conhecimentos para a aplicação prática de problemas de localização de facilidades para diferentes setores, além disso, é dirigida à solução de problemas específicos. Quanto à abordagem, pode dizer que possui enfoque quantitativo, que é dada

quando informações são transformadas em números e então comparadas e analisadas, e também enfoque qualitativo, pois há utilização do enfoque indutivo na análise dos resultados dos diversos cenários propostos (SILVA e MENEZES, 2005).

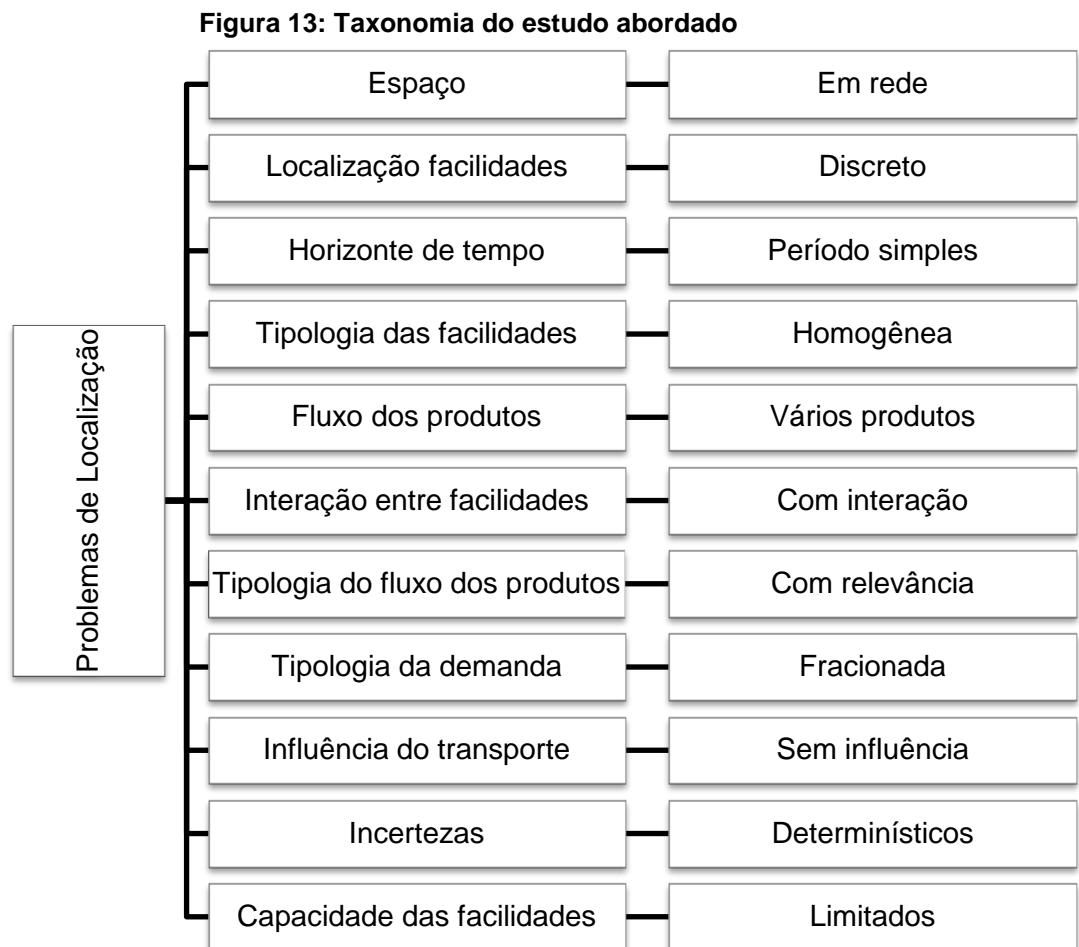
Em relação aos objetivos, a pesquisa pode ser classificada como conclusiva, visto que é bastante estruturada em termos de procedimentos, além da origem dos dados ser bem definida e a análise de dados, formal e tipicamente quantitativa. Quanto ao procedimento técnico, enquadra-se como modelagem matemática, visto que há o uso de técnicas matemáticas para descrever o funcionamento de um sistema (BERTO; NAKANO, 2000), desejando-se prever o efeito de mudanças no sistema ou avaliar seu desempenho ou comportamento futuros. Além de pesquisa bibliográfica, pois ocorreram consultas a materiais já publicados, como livros e artigos científicos (SILVA e MENEZES, 2005).

Quanto a pesquisa bibliográfica, esta abrangeu, sobretudo, a pesquisa de artigos científicos em plataformas como *Science Direct*, *Web of Science*, *Scopus*, Plataforma CAPES, além do *Google Scholar*. As palavras chaves para busca foram: *reverse logistics*, *facility location*, *location problem*, *multi-echelon system*. Com base no levantamento inicial, os artigos foram avaliados e os principais autores citados identificados. A análise de cada artigo englobou a abordagem de solução proposta para a resolução de problemas de localização, bem como as principais áreas e setores de aplicação. A literatura sobre problemas de localização é bastante vasta, mas o foco eram artigos que tivessem promovido análises envolvendo não apenas localização de facilidades, mas também logística reversa. Também se efetuou uma procura para verificar se havia algum problema de localização de facilidades que abordasse a questão da logística reversa de resíduos sólidos em portos, mas nenhum foi encontrado considerando as premissas de busca citadas anteriormente.

3.2 CLASSIFICAÇÃO DO PROBLEMA ABORDADO QUANTO AOS PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO

Como visto na revisão da literatura, este trabalho insere-se na tipologia dos problemas de localização, tendo como foco fatores econômicos, como custos de transporte, custos de operação e os valores de investimento pela abertura das

facilidades. Além disto, de acordo com a taxonomia de Klose e Drexl (2005) e Ghiani *et al.* (2004) e conforme Figura 13, o problema estudado enquadra-se como em rede, pois as facilidades e os pontos de demanda estão localizados nos nós da rede logística e há restrições de fluxo nos arcos que ligam estes nós da rede. Em relação à localização das facilidades, enquadra-se como discreto, já que os clientes e as facilidades estão localizados nos nós de uma rede, em um conjunto finito de localizações. O horizonte de tempo é de período simples porque considera somente um período único e todo planejamento é feito com as previsões para este período.



Fonte: Adaptado de Klose e Drexl (2005) e Ghiani *et al.* (2004).

Além disso, quanto à tipologia das facilidades é homogênea, pois existe somente um tipo de instalação, as centrais de transbordo, previstas para localização. Ao analisar o fluxo dos produtos, pode-se classificar o problema de localização abordado nesse estudo como multiproduto ou vários produtos, afinal, existem diferentes tipos de resíduos fluindo ao longo das facilidades existentes na rede logística. Tais

facilidades possuem interação, visto que há possibilidade de fluxos de produtos entre os nós. Assim, a solução do problema de localização passa a depender não só da distribuição espacial das instalações, mas também, dos fluxos entre as facilidades. Dessa forma, pode-se dizer também que os fluxos possuem relevância, e por isso, são necessárias restrições de equilíbrio. São os problemas denominados *Multiple-Echelon* (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

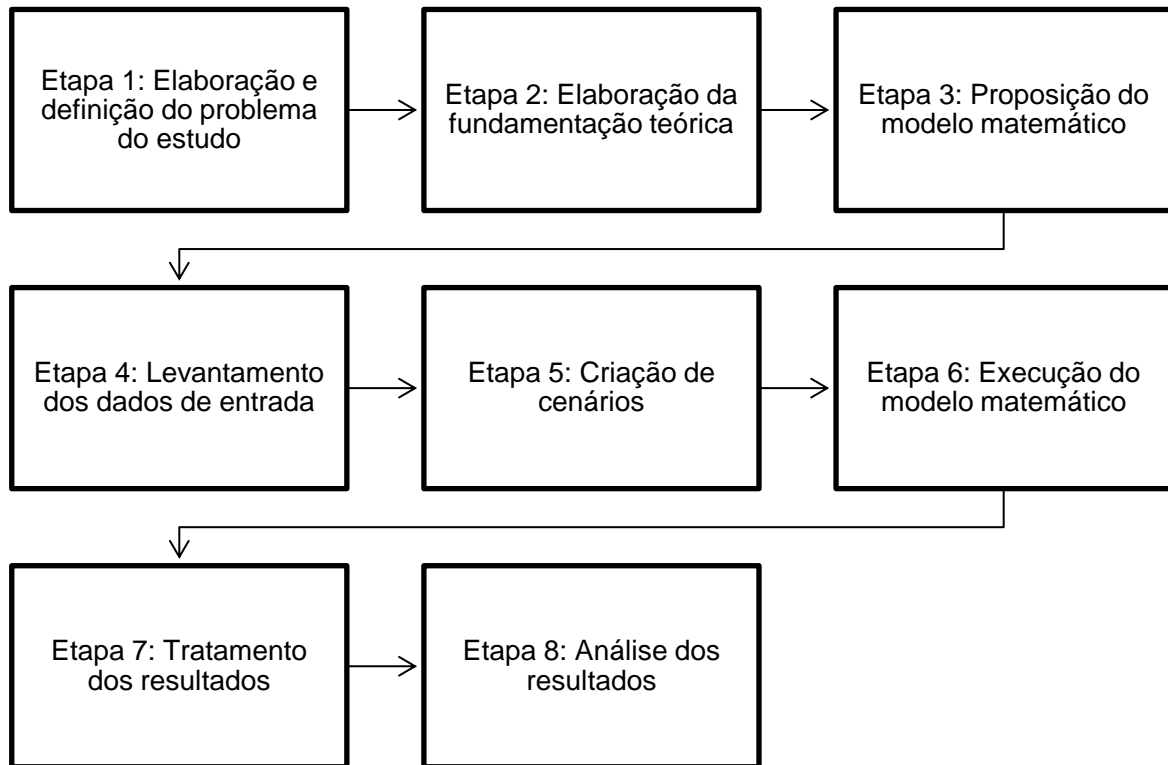
Quanto à demanda, diz-se fracionada, pois um cliente pode ser atendido por duas ou mais facilidades, por exemplo, duas centrais de transbordo podem enviar resíduos para determinada empresa receptora. Quanto à influência do transporte, assume-se que o custo de transporte entre facilidades é calculado como um valor de frete, portanto, não há influência. Em relação às incertezas, trata-se de um problema determinístico, pois os valores são fixos. As incertezas oriundas de atrasos, por exemplo, tempo de viagem, tempo de carregamento não ocorrem. Por fim, classifica-se o modelo como limitado e com objetivos múltiplos. Limitado, pois há restrições quanto ao tamanho e capacidade de determinadas facilidades. (KLOSE e DREXL, 2005; GHIANI *et al.*, 2004).

Segundo o escopo da pesquisa, o principal objetivo é propor um modelo matemático para definir quantas e quais centrais de transbordo que irão compor a rede de logística reversa para resíduos sólidos de terminais marítimos do Rio de Janeiro. Para isso, faz-se necessário desenvolver um modelo matemático de localização de facilidades em uma rede multicamadas para determinar quantas centrais de transbordo e onde elas devem estar localizadas em função dos pontos geradores de resíduos (terminais) e dos pontos de destinação (empresas receptoras). O modelo proposto é formulado segundo a técnica de Programação Linear Inteira Mista – PLIM e executado no *solver* CPLEX 12.6.

3.3 DELINEAMENTO E ETAPAS DA PESQUISA

A fim de atingir o objetivo proposto nesta dissertação, faz-se necessário estabelecer uma estratégia metodológica a ser seguida. A estratégia proposta nesse estudo está dividida em oito etapas (Figura 14) apresentadas na sequência.

Figura 14: Etapas da metodologia da pesquisa



Fonte: Elaborado pela autora.

- **Etapa 1: Elaboração e definição do problema do estudo**

Foram realizadas entrevistas com especialistas do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e da Secretaria Especial de Portos da Presidência da República (SEP/PR) para obtenção de conhecimento sobre a problemática da geração e do gerenciamento de resíduos sólidos em diferentes portos do Brasil. Por meio disso, foi possível elaborar e definir o problema do estudo.

- **Etapa 2: Elaboração da fundamentação teórica**

Foi feito um levantamento bibliográfico sobre o problema de localização de facilidades e logística reversa a fim de entender o tema de pesquisa. Com isso foi possível construir um conhecimento a respeito dos tipos de variáveis e parâmetros que estão envolvidos no problema estudado, dando o embasamento para construção do modelo.

- **Etapa 3: Proposição do modelo matemático**

A partir dos levantamentos da literatura sobre problemas de localização de facilidades, formulou-se o modelo matemático e o mesmo foi implementado no

solver IBM ILOG CPLEX 12.6. O modelo foi validado executando-o com cenários de teste.

- Etapa 4: Levantamento dos dados de entrada

Os dados de entrada ou parâmetros necessários para execução do modelo são:

- Elementos da rede logística: foram definidos os locais candidatos à localização, no caso, as centrais de transbordo candidatas. Além dos terminais e empresas receptoras envolvidas nesta rede logística.
- Matrizes de Distância: por meio do *Google Maps*, duas matrizes de distância foram elaboradas. A primeira contemplou as distâncias euclidianas corrigidas, em quilômetros, dos terminais para as centrais de transbordo, e a segunda, das centrais para as empresas receptoras.
- Custo de transporte: os valores referentes ao valor de transportar os resíduos do terminal para as centrais de transbordo candidatas, e das centrais para as empresas receptoras foram obtidos em R\$/(km.t) e variam de acordo com a periculosidade do resíduo que está sendo transportado, a capacidade do caminhão usado na rede logística e as distâncias entre os nós.
- Custo fixo de instalação para abertura das centrais de transbordo candidatas: esse valor, em reais, foi calculado a partir da soma do custo do terreno onde a central está localizada, mais o custo de construção do galpão mais o custo da compra de máquinas, equipamentos e ferramentas. Para as centrais localizadas dentro dos portos públicos não há contabilização da compra do terreno, mas em determinados cenários adicionou-se um custo de oportunidade, conforme explicado nas Seções 3.4 e 5.6.
- Custo de operação das centrais de transbordo candidatas: Esse valor, em reais, foi obtido somando o custo dos salários e os encargos dos funcionários, a manutenção do local e dos equipamentos, os gastos com luz, água e telefone.
- Receita por tipo de resíduo a tratar: levantaram-se os valores, em reais, pagos pelas empresas receptoras para obterem determinado tipo de resíduo gerado pelos terminais. No caso dos aterros, foi apurado o valor pago a essas empresas para destinação final dos resíduos e, neste caso, a receita foi considerada negativa, pois há a necessidade de pagamento aos aterros sanitários dos volumes de rejeitos enviados para disposição final.

- Dados de tipo e quantidade de resíduos gerados: levantou-se a quantidade de cada tipo de resíduo, em toneladas, gerada por cada terminal. Além da empresa receptora para qual ele foi enviado.

- Etapa 5: Criação de cenários

Um conjunto de cenários baseados em dados reais foi criado. Variações referentes aos diferentes parâmetros foram elaboradas para analisar a sensibilidade e as respostas do modelo.

- Etapa 6: Execução do modelo matemático

Com os dados de entrada já coletados, executou-se o modelo no *solver* CPLEX para os diversos cenários propostos na etapa anterior.

- Etapa 7: Tratamento dos resultados

A solução numérica obtida por meio do CPLEX foi transferida para planilha eletrônica e os valores das variáveis de decisão e da função objetivo foram organizados em forma de tabelas e gráficos para melhor entendimento e análise.

- Etapa 8: Avaliação dos resultados

Depois de gerados os resultados dos diversos cenários, os mesmos foram analisados quantitativa e qualitativamente.

Destaca-se que a Etapa 3 de proposição do modelo matemático e a Etapa 4 de levantamento de dados de entrada, conteúdos de grande relevância para esta dissertação, ambos serão tratados em capítulos específicos, respectivamente, no Capítulo 4 e no Capítulo 5.

3.4 APRESENTAÇÃO DOS CENÁRIOS

A rede logística tratada nesse estudo pode ser representada por três nós: terminais (produção), centrais de transbordo (distribuição) e empresas receptoras (clientes), com os respectivos fluxos de resíduos. E para tornar os resultados e análises mais consistentes, diferentes cenários com variações nos parâmetros foram criados. Salienta-se que a proposição de cenários utiliza não apenas os resultados obtidos na execução de cenários anteriores, mas também análises qualitativas, como o posicionamento das centrais de transbordo e a possibilidade dessas áreas servirem posteriormente para ampliação dos portos, tendo, assim, um enfoque estratégico.

Especificamente para o porto do Rio de Janeiro e para o porto de Itaguaí, objetos de estudo dessa dissertação, foram criados quinze cenários com diferenciações entre si relacionadas à quantidade de centrais de transbordo disponíveis, capacidade dos caminhões utilizados, variação no valor dos custos de instalação e operação das centrais, diminuição da área e, conseqüentemente, da capacidade das centrais de transbordo e projeção da rede logística reversa para o ano de 2023, considerando o aumento da movimentação de cargas nos portos brasileiros. Esses quinze cenários podem ser divididos em quatro grupos que possuem em comum os parâmetros que foram alterados e que, ao final da execução, buscou-se entender melhor o funcionamento, conforme Quadro 2.

Quadro 2: Análises previstas para cada cenário

Grupo	Cenário	Análise a ser realizada
I	1	Analisar a capacidade dos caminhões e o impacto da utilização das centrais de transbordo dentro do porto, sem considerar o custo de oportunidade por ocupação destas áreas que poderiam ser usadas para operar mais cargas.
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
II	7	Analisar o adicional do custo de oportunidade para centrais de transbordo localizadas dentro dos portos.
	8	
	9	
III	10	Analisar o impacto de se utilizar centrais de transbordo de menor área e capacidade na logística reversa.
	11	
	12	
IV	13	Analisar a projeção da quantidade de resíduo gerado, conforme aumento de movimentação de cargas nos portos previsto para 2023.
	14	
	15	

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme Quadro 2, os Cenários 1 a 6, por exemplo, possuem alterações de capacidade dos caminhões, variando entre 16,0, 27,5 e 40,0 toneladas, e de disponibilidade das centrais localizadas dentro do porto do Rio de Janeiro. Nos Cenários 7, 8 e 9, buscou-se analisar o impacto no custo fixo de instalação da inserção de um custo de oportunidade referente às centrais localizadas dentro dos portos, no caso, as Centrais 1, 2, 3 e 4. Já nos Cenários 10, 11 e 12, trabalhou-se com a redução da área e, conseqüentemente, da capacidade das centrais, visto que nos cenários anteriores detectou-se um percentual relativamente baixo de ocupação

das centrais de transbordo alocadas. Por fim, nos três últimos cenários, Cenários 13 ao 15, fez-se uma ampliação na quantidade de resíduos da rede logística reversa em estudo, por meio de uma projeção de aumento de movimentação de cargas nestes dois portos para o ano de 2023. A Tabela 1 resume as peculiaridades de cada um deles e, em seguida, há o detalhamento de cada um dos quinze cenários.

Ressalta-se que a forma de obtenção e a motivação dos valores numéricos inseridos na Tabela 1, como a quantidade de centrais de transbordo disponíveis, capacidade dos caminhões, áreas das centrais de transbordo e custo de oportunidade estão delineadas no Capítulo 5, capítulo este que traz o detalhamento de todos os parâmetros usados no modelo. Salieta-se ainda que a frequência de retirada de resíduos estipulada para todos os cenários desta dissertação foi a semanal, visto que os portos em estudo possuem um grande volume de movimentação (ANTAQ, 2014).

Além disso, a quantidade de resíduos gerada foi de 1.084,90 toneladas por semana para os Cenários de 1 a 12. E para os três últimos cenários, nos quais há um aumento dessa quantia conforme o incremento de movimentação de cargas previsto para 2023, o total de resíduos estimado aumentou para 1.439,97 toneladas por semana. Em ambos os casos, 88% do total resíduos era do tipo não perigoso e 12% de resíduos perigosos, conforme banco de dados fornecido pelo IVIG/UFRJ (IVIG, 2014).

Tabela 1: Sintetização dos cenários propostos

(continua...)

Cenário	Descrição	Capacidade dos caminhões (t)	Quantidade de centrais de transbordo disponíveis (unidade)	Área das centrais de transbordo (m ²)	Custo de oportunidade (R\$/m ²) *
1	Considera a realidade atual dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí. Os caminhões possuem 16t.	16	8 (Centrais 1 a 8)	Central 1 - 1.089 m ² Central 2 - 2.273 m ² Central 3 - 873 m ² Central 4 - 1.500 m ² Central 5 - 1.500 m ² Central 6 - 1.500 m ² Central 7 - 1.500 m ² Central 8 - 1.500 m ²	0,0
2	Parâmetros do Cenário 1, porém há a exclusão das centrais de transbordo instaladas dentro do porto do Rio de Janeiro.	16	4 (Centrais 5 a 8)	Central 5 - 1.500 m ² Central 6 - 1.500 m ² Central 7 - 1.500 m ² Central 8 - 1.500 m ²	Não se aplica
3	Considera a realidade atual dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, conforme Cenário 1, mas os caminhões possuem 27,5t.	27,5	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	0,0
4	Parâmetros do Cenário 3, porém há a exclusão das centrais de transbordo instaladas dentro do porto do Rio de Janeiro.	27,5	4 (Centrais 5 a 8)	Conforme Cenário 2	Não se aplica

Tabela 1: Sintetização dos cenários propostos

(continua...)

Cenário	Descrição	Capacidade dos caminhões (t)	Quantidade de centrais de transbordo disponíveis (unidade)	Área das centrais de transbordo (m ²)	Custo de oportunidade (R\$/m ²) *
5	Considera a realidade atual dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, conforme Cenários 1 e 3, mas os caminhões possuem 40t.	40	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	0,0
6	Parâmetros do Cenário 5, porém há a exclusão das centrais de transbordo instaladas dentro do porto do Rio de Janeiro	40	4 (Centrais 5 a 8)	Conforme Cenário 1	Não se aplica
7	Baseado no Cenário 1, mas há inclusão do custo de oportunidade para as centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro, no valor de 25,0 R\$/m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	25,0
8	Baseado no Cenário 7, mas o custo de oportunidade aumenta para 50,0 R\$/m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	50,0
9	Baseado no Cenário 8, mas o custo de oportunidade aumenta para 85,0 R\$/m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	85,0
10	Baseado no Cenário 8, mas todas as centrais possuem a mesma área de 500m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Todas as centrais possuem capacidade para 500m ² .	50,0
11	Baseado no Cenário 8, mas todas as centrais possuem a mesma área de 300m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Todas as centrais possuem capacidade para 300m ² .	50,0

Tabela 1: Sintetização dos cenários propostos

(conclusão...)

Cenário	Descrição	Capacidade dos caminhões (t)	Quantidade de centrais de transbordo disponíveis (unidade)	Área das centrais de transbordo (m ²)	Custo de oportunidade (R\$/m ²) *
12	Baseado no Cenário 8, mas todas as centrais possuem a mesma área de 150m ² .	16	8 (Centrais 1 a 8)	Todas as centrais possuem área igual a 150m ²	50,0
13	Considera a projeção de movimentação de carga dos portos para 2023 – parâmetros referentes ao Cenário 11	16	8 (Centrais 1 a 8)	Todas as centrais possuem área igual a 300m ²	50,0
14	Considera a projeção de movimentação de carga dos portos para 2023 – parâmetros referentes ao Cenário 10	16	8 (Centrais 1 a 8)	Todas as centrais possuem área igual a 500m ²	50,0
15	Considera a projeção de movimentação de carga dos portos para 2023 – parâmetros referentes ao Cenário 8	16	8 (Centrais 1 a 8)	Conforme Cenário 1	50,0

* Aplicável apenas às centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro (Centrais 1 a 4).

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme informações apresentadas na Tabela 1, pode-se notar que o Cenário 1 trabalhou com a realidade atual dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí. Neste cenário há oito centrais de transbordo disponíveis, quatro delas localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro (Centrais 1, 2, 3 e 4). As Centrais de Transbordo 6, 7 e 8, localizam-se nas proximidades do porto de Itaguaí. Já a Central 5 está localizada entre os dois portos, estando mais próxima do porto do Rio de Janeiro, detentor de maior geração de resíduos. A localização detalhada das centrais se encontra na seção 5.2 desta dissertação.

As oito centrais possuem capacidades variadas (a Seção 5.5 apresenta maiores detalhes sobre a forma de obtenção destas capacidades), sendo a Central 2 a maior delas e a Central 3, a menor. Além disso, no Cenário 1, trabalhou-se apenas com caminhões *Truck*, de 16,0 toneladas. Ressalta-se que esse tipo de veículo foi escolhido em detrimento a caminhões compactadores, pois os compactadores não são indicados quando se pretende, posteriormente, realizar a segregação de materiais para reciclagem. Os veículos compactadores podem promover a contaminação ou umidificação de materiais passíveis de serem reciclados, podendo inviabilizar sua recuperação (FERRI *et al.*, 2015; MASSUKADO, 2004). Além disso, a capacidade específica de 16,0 toneladas foi utilizada buscando atender três segmentos de caminhões: um menor (16,0 toneladas), um com capacidade média (27,5 toneladas) e o terceiro tipo com elevada capacidade (40,0 toneladas). Com isso, buscou-se entender melhor qual o comportamento do modelo e os ganhos obtidos por meio da variação do tamanho da frota.

Por fim, o Cenário 1 não trabalha com a parcela de custo de oportunidade que os portos podem perder por terem as centrais de transbordo localizadas dentro do ambiente portuário. Para esta dissertação, entende-se como custo de oportunidade uma parcela acrescida ao custo fixo de instalação pelo uso de determinada área do porto para instalação das centrais, em detrimento ao manuseio e estocagem de cargas. Segundo Martins (2001), o custo de oportunidade relaciona-se ao quanto à empresa pode perder em termos de remuneração por ter aplicado seus recursos em uma alternativa ao invés de em outra. O que ocorre é que as centrais de transbordo localizadas no interior dos portos públicos não possuem a contabilização pela compra do terreno, visto tratar-se de uma área pública e que será utilizada em prol do próprio porto. Dessa maneira, os custos fixos de instalação dessas centrais

tendem a ser muito menores quando comparados aos das demais centrais (mais detalhes constam na Seção 5.6) e, conseqüentemente, o modelo visa escolher tais centrais, já que objetiva-se a minimização dos custos. Entretanto, sabe-se que a disponibilização da área portuária para instalação de uma central implica em uma possível perda de determinada área estratégica do porto que poderia estar sendo usada para estocagem e manuseio de cargas. Assim, a priori, optou-se por trabalhar com cenários que não faziam esse contrabalanceamento de perda e ganho. Mas, a partir do Cenário 7 esse *trade-off* foi explorado, por meio de custos de oportunidade obtidos conforme entrevistas a operadores portuários.

O Cenário 2 é semelhante ao Cenário 1, mantendo a mesma quantidade de resíduos gerados, a capacidade de 16,0 toneladas para os caminhões e a frequência semanal de retirada de resíduos. Entretanto, neste cenário há disponibilidade apenas das centrais localizadas fora do ambiente portuário, ou seja, estão disponíveis as Centrais 5, 6, 7 e 8, mantendo as mesmas áreas que possuíam no Cenário 1, ou seja, 1.500,0 m². A retirada das Centrais 1, 2, 3 e 4 dentre as centrais candidatas teve como objetivo analisar o comportamento do modelo quando tais instalações, que possuem custo fixo de instalação menor, conforme relatado anteriormente, eram excluídas. Buscou-se analisar o quão impactante no resultado financeiro final da execução seria a busca por centrais externas, ainda que possuíssem um valor de instalação maior, visto que há o pagamento do valor do terreno, fato este explicado em detalhes na seção 5.6. Vale ressaltar, entretanto, que a instalação de centrais de transbordo fora da área portuária necessita de uma análise qualitativa mais apurada. Isso porque pode trazer implicações quanto a movimentação de cargas através de área alfandegada, resultando em mais tramites legais e, em determinados casos, podendo gerar maior tempo de processo.

O Cenário 3 mantém o padrão do Cenário 1, variando apenas a capacidade dos caminhões. Utilizou-se uma frota de caminhões com capacidade média, no caso, 27,5 toneladas. Já o Cenário 4 seguiu o padrão do Cenário 2, mas usando caminhões de 27,5 toneladas. O Grupo I de cenários de análise finaliza com os Cenários 5 e 6, ambos utilizando caminhões maiores de 40 toneladas. Entretanto, o Cenário 5 mantém disponíveis as oito centrais de transbordo candidatas. Já o Cenário 6, apenas disponibiliza as centrais externas ao porto do Rio de Janeiro, ou seja, Centrais 5, 6, 7 e 8.

O Grupo II de cenários (Quadro 2), composto pelos Cenários 7, 8 e 9, possui como alteração a adição do custo de oportunidade, anteriormente já explicado. Ressalta-se que esse valor é incluído apenas às centrais localizadas dentro do porto do Rio de Janeiro (Centrais 1, 2, 3 e 4). Ele variou de 25,0 R\$/m² a 80,0 R\$/m², conforme grau de valor agregado da carga que poderia estar sendo manuseada e estocada na área prevista para ocupação da central de transbordo. Conforme entrevistas com operadores portuários, chegou-se ao custo de oportunidade de 25,0 R\$/m² para cargas de baixo valor agregado, utilizado no Cenário 7. O valor de 50,0 R\$/m² para cargas com valor agregado médio, usado no Cenário 8, e 85,0 R\$/m² para cargas com elevado valor agregado, aplicado ao Cenário 9. Assim, é acrescido ao custo fixo de instalação dessas centrais, que antes não incluía a compra dos terrenos, outra parcela referente ao custo de oportunidade, visto que a alocação dessas áreas impossibilita o manuseio e estocagem de cargas. Essa abordagem fez com que o custo fixo de instalação dessas centrais ficasse mais proporcional em relação aos custos das demais centrais. Por fim, para os cenários do Grupo II a capacidade utilizada para os caminhões foi de 16,0 toneladas, pois os resultados alcançados nos cenários anteriores demonstraram que esse tipo de caminhão era o que fornecia melhores resultados financeiros.

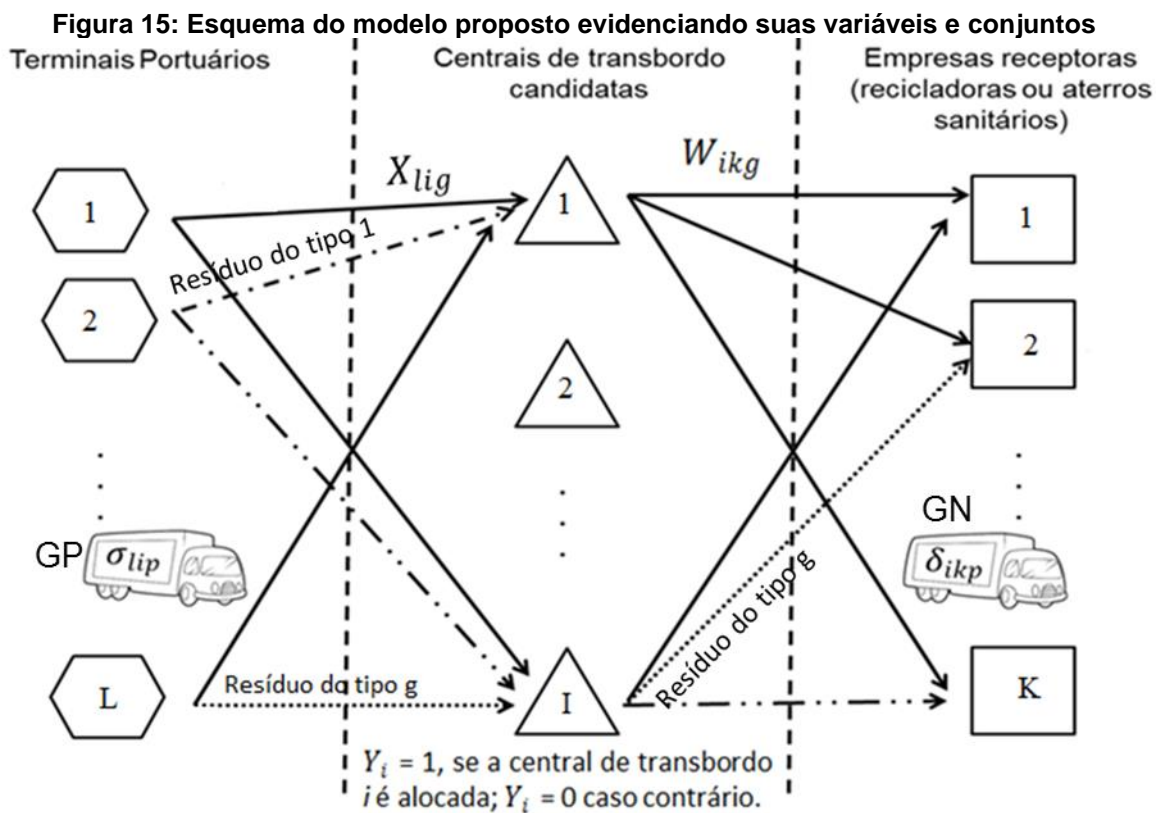
Os Cenários 10, 11 e 12, pertencentes ao Grupo III (Quadro 2) possuem como diferencial em relação aos demais a redução da área e, conseqüentemente, da capacidade das centrais de transbordo. Nestes cenários as centrais tiveram suas capacidades reduzidas, visto que a análise dos grupos anteriores mostrou uma capacidade ociosa entre as instalações alocadas. Assim, no Cenário 10 as oito centrais tiveram suas áreas reduzidas para 500,0 m², valor esse obtido por meio da literatura (FERRI *et al.*, 2015). No Cenário 12, as centrais possuíam 150,0 m². Esse valor foi obtido de tal maneira que todas as centrais precisariam ser alocadas para que todo o resíduo fosse armazenado. Por fim, o Cenário 11 possuía uma área intermediária entre os outros dois cenários, assim, as oito centrais passaram a ter 300,0 m². No Grupo III a capacidade de 16 toneladas para os caminhões foi mantida, e o custo de oportunidade usado foi o de 50,0 R\$/m², específico de cargas de valor agregado médio, visto que a movimentação dos dois portos contempla, em geral, cargas como contêiner, siderúrgico, carro, apoio a petróleo, enfim, itens que envolvem valor agregado médio a alto.

Finalmente, no Grupo IV (Quadro 2) trabalhou-se com uma maior quantidade de resíduos conforme projeção de aumento de movimentação de cargas previsto para 2023, de acordo com o relatório final de subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas da ANTAQ (ANTAQ, 2009). Assim, para o porto do Rio de Janeiro o aumento foi de 33,7% em relação ao total de resíduos utilizado para os cenários dos Grupos I, II e III. E para o porto de Itaguaí o aumento foi de 31,6% (mais detalhes na seção 5.9). Os demais parâmetros foram estabelecidos conforme os cenários com melhores resultados financeiros até então executados e analisados. O maior resultado financeiro obtido foi o do Cenário 11, no qual as oito centrais possuíam área de 300,0 m², então o Cenário 13 utilizou este como base, mas com maior volume de resíduos. O segundo melhor resultado foi o do Cenário 10, onde as centrais tinham 500,0 m² cada. Portanto, o Cenário 14, baseou-se no Cenário 10. Os Cenários 1, 12, 7 e 3 foram, nessa ordem, os detentores dos próximos melhores resultados, entretanto, todos foram descartados. As justificativas para isso são: os Cenários 1 e 3 não utilizaram o custo de oportunidade; no Cenário 12 a capacidade total das centrais era insuficiente para armazenar todo o resíduo gerado após a projeção. Por fim, no Cenário 7, o custo de oportunidade era no valor de 25,0 R\$/m² e, optou-se por trabalhar com o valor médio de 50,0 R\$/m², conforme explicado anteriormente. De tal modo, o Cenário 15 foi baseado no Cenário 8.

3. MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o modelo matemático proposto para resolução do problema com seus conjuntos, variáveis de decisão, parâmetros, restrições e função objetivo.

O método em estudo almeja a consolidação dos resíduos em centrais de transbordo, de forma que os resíduos sejam segregados e agrupados em volumes maiores, o que leva a um potencial aumento da quantidade a ser transportada, tornando as vendas às empresas receptoras mais atrativas. Assim, a rede logística reversa proposta conta com três elos, os terminais portuários, localizados no interior dos portos, geradores de diferentes tipos de resíduos sólidos; as centrais de transbordo candidatas, que poderão ou não ser alocadas; e as empresas receptoras, que podem ser recicladoras ou aterros sanitários. Um esquema visual desta rede multicamadas aplicado à definição de quantas e quais centrais de transbordo devem ser abertas nos portos para atender a demanda pode ser visualizado na Figura 15.



Fonte: Elaborado pela autora.

O modelo a ser implementado no *solver* CPLEX 12.6 tem como objetivo minimizar os custos fixos de implantação das centrais, os custos de operação dessas facilidades e os custos de transporte entre as instalações da rede, além de maximizar a receita auferida pela venda do material reciclável às receptoras.

Assim, conforme se nota na Figura 15, seja L o conjunto dos terminais portuários geradores de resíduos, I o conjunto das centrais de transbordo candidatas, K o conjunto das empresas receptoras aptas a atenderem essa rede logística reversa, P o conjunto das diferentes classificações de periculosidade da carga, sendo 0 resíduo não perigoso e 1 resíduo perigoso, G o conjunto dos diferentes tipos de resíduos, sendo G a união de dois subconjuntos, GN , composto pelos resíduos não perigosos, e GP , composto pelos resíduos perigosos. Dessa forma, para atender as necessidades dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, todo resíduo $g \in G$ gerado no terminal marítimo $l \in L$, definido como q_{lg} , deve ser destinado a uma central de transbordo aberta em $i \in I$. Essa quantidade de resíduos $g \in G$ que irá fluir do terminal marítimo $l \in L$ para a central de transbordo $i \in I$, é representada por X_{lig} e, para transportá-la por completo, faz-se necessário σ_{lip} unidades de caminhões de resíduos de periculosidade $p \in P$ com capacidade de cc toneladas. Cada central de transbordo pode enviar uma quantidade W_{ikg} de resíduos nela armazenados para uma empresa receptora (recicladora ou aterro sanitário) $k \in K$, fazendo-se necessário δ_{ikp} unidades de caminhões de resíduos de periculosidade $p \in P$ com capacidade de cc toneladas. Ambas as quantidades, X_{lig} e W_{ikg} , são definidas pelo modelo matemático, ou seja, são variáveis. Cabe ainda ao modelo definir quais as centrais de transbordo deverão ser instaladas ou não em função dos custos e dos fluxos de produtos. Para tanto, é definida uma variável Y_i que assume valor 1 se a central $i \in I$ for instalada e 0 se não for instalada.

O modelo matemático proposto baseou-se nos estudos de Pishvae et al. (2010) diferindo deles por ter uma função objetivo mais abrangente em relação à análise de custos e receitas, visto que contempla a minimização não apenas dos custos fixos de instalação das centrais de transbordo e dos custos de transporte entre facilidades, mas também a minimização dos custos de operação das centrais abertas, além da maximização da receita auferida pela venda do material reciclável.

Além disso, o modelo segrega em diferentes caminhões os resíduos de acordo com sua periculosidade, assim, resíduos perigosos não são misturados aos resíduos não perigosos, pois isso poderia inviabilizar a possibilidade de reciclagem. O modelo proposto nesta dissertação possui ainda um índice adicional referente ao tipo específico de resíduo que irá ser alocado para as centrais de transbordo e empresas receptoras. Esse índice possibilita, por exemplo, a definição de qual tipo de resíduo específico cada uma das empresas receptoras é capaz de receber e tratar. Por fim, o modelo permite a escolha da capacidade do caminhão que será usado na rede logística reversa, além de informar não apenas a quantidade do fluxo de resíduos, em toneladas, que flui pelos arcos, mas também a quantidade de caminhões necessária. O modelo é apresentado a seguir em cinco partes, os conjuntos, os parâmetros, as variáveis, a função objetivo e as restrições.

- Conjuntos

L : Conjunto de terminais portuários;

I : Conjunto das centrais de transbordo candidatas;

K : Conjunto de empresas receptoras;

G : Conjunto dos diferentes tipos de resíduos (cargas), sendo $G = \{GN \cup GP\}$;

GN : Conjunto dos diferentes tipos de resíduos (cargas) do tipo não perigoso, sendo $GN \subset G$;

GP : Conjunto dos diferentes tipos de resíduos (cargas) do tipo perigoso, sendo $GP \subset G$;

P : Conjunto das diferentes classificações de periculosidade.

- Parâmetros

df_{li} : Distância entre o terminal $l \in L$ e a central de transbordo $i \in I$;

ds_{ik} : Distância entre a central de transbordo $i \in I$ e empresa receptora $k \in K$;

caf_i : Capacidade de recebimento de resíduos da central de transbordo $i \in I$;

cas_{kg} : Capacidade de recebimento de resíduos $g \in G$ na empresa receptora $k \in K$;

f_i : Custo fixo de instalação da central de transbordo $i \in I$;

o_i : Custo de operação da central de transbordo $i \in I$;

cf_p : Custo de transporte do resíduo com periculosidade $p \in P$;

q_{lg} : Quantidade de resíduo $g \in G$ gerado no terminal $l \in L$;

R_{kg} : Receita auferida pela empresa receptora $k \in K$ para o resíduo específico $g \in G$;

rp_g : Informa a periculosidade do resíduo $g \in G$, tem valor 0 para resíduo não perigoso e valor 1 para resíduo perigoso;

cc : Informa a capacidade em toneladas do caminhão.

- Variáveis

Y_i : assume valor 1, se a central de transbordo i é alocada, e 0 caso contrário;

X_{lig} : Quantidade enviada de resíduo $g \in G$ do terminal $l \in L$ para a central de transbordo $i \in I$;

W_{ikg} : Quantidade enviada de resíduo $g \in G$ da central de transbordo $i \in I$ para a empresa receptora $k \in K$;

σ_{lip} : Quantidade de caminhões necessários para realizar o transporte do terminal $l \in L$ para a central de transbordo $i \in I$ de resíduos de periculosidade $p \in P$;

δ_{ikp} : Quantidade de caminhões necessários para realizar o transporte da central de transbordo $i \in I$ para a empresa receptora $k \in K$ de resíduos de periculosidade $p \in P$.

- Função objetivo

$$\text{Min} \sum_{i \in I} f_i Y_i + \sum_{i \in I} o_i Y_i + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} \sum_{p \in P} df_{li} cf_p \sigma_{lip} + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{p \in P} ds_{ik} cf_p \delta_{ikp} - \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} \sum_{g \in G} R_{kg} W_{ikg} \quad (10)$$

- Restrições

$$\sum_{i \in I} X_{lig} = q_{lg} \quad \forall l \in L, g \in G \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K} W_{ikg} = \sum_{l \in L} X_{lig} \quad \forall i \in I, g \in G \quad (12)$$

$$\sum_{l \in L} \sum_{g \in G} X_{lig} \leq Y_i caf_i \quad \forall i \in I \quad (13)$$

$$\sum_{i \in I} W_{ikg} \leq cas_{kg} \quad \forall k \in K, g \in G \quad (14)$$

$$\sigma_{lip} \geq \sum_{g \in GN} X_{lig} / cc \quad \forall l \in L, i \in I, p \in \{0\} \quad (15)$$

$$\sigma_{lip} \geq \sum_{g \in GP} X_{lig} / cc \quad \forall l \in L, i \in I, p \in \{1\} \quad (16)$$

$$\delta_{ikp} \geq \sum_{g \in GN} W_{ikg} / cc \quad \forall i \in I, k \in K, p \in \{0\} \quad (17)$$

$$\delta_{ikp} \geq \sum_{g \in GP} W_{ikg} / cc \quad \forall i \in I, k \in K, p \in \{1\} \quad (18)$$

$$Y_i \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I \quad (19)$$

$$Z_{ik} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, k \in K \quad (20)$$

$$X_{lig} \in R^+ \quad \forall l \in L, i \in I, g \in G \quad (21)$$

$$W_{ikg} \in R^+ \quad \forall i \in I, k \in K, g \in G \quad (22)$$

$$\sigma_{lip} \in Z^+ \quad \forall l \in L, i \in I, p \in P \quad (23)$$

$$\delta_{ikp} \in Z^+ \quad \forall i \in I, k \in K, p \in P \quad (24)$$

A Função Objetivo (10) visa minimizar os custos totais referentes a implantação da rede logística reversa ao mesmo tempo em que amplia as receitas auferidas pela venda do material reciclável. Para tanto, a primeira parcela da função objetivo soma o custo fixo de implantação de uma ou mais centrais de transbordo, a segunda parcela contabiliza o custo de operação relacionado à abertura de uma ou mais centrais, a terceira parcela agrega a soma do custo de transporte dos resíduos dos terminais para todas as centrais de transbordo (1ª camada da rede). Já a quarta parcela representa o custo de transportar os resíduos das centrais de transbordo até as empresas receptoras (2ª camada da rede). Ressalta-se que para os custos de transporte, o modelo realiza a diferenciação de preços para produtos perigosos e não perigosos, visto que ocorre a segregação desses resíduos em caminhões diferentes. A quinta parcela representa o ganho em receita obtida por meio da venda do material reciclável caso ocorra transporte para empresas receptoras recicladoras. Em contrapartida, se o material for levado a um aterro esse valor torna-se um custo, ao invés de uma receita, pois o aterro cobra para receber os resíduos.

As Restrições (11) garantem que o total transportado do terminal para a central de transbordo não seja maior que o total de resíduos gerado pelo terminal. As Restrições (12) asseguram que o total de resíduos que é transportado de todos os terminais para as centrais de transbordo seja igual ao total que é transportado das centrais de transbordo para as empresas receptoras, trata-se de uma restrição de balanceamento de fluxo. As Restrições (13) garantem que o total de resíduos que é transportado de todos os terminais para uma central de transbordo não exceda a capacidade de receber resíduo desta central de transbordo. As Restrições (14) asseguram que todo o resíduo que é transportado de todas as centrais de transbordo para uma empresa receptora não exceda a capacidade de receber resíduo desta empresa.

As Restrições (15) definem que o número de caminhões necessários para realizar o transporte dos resíduos não perigosos dos terminais para as centrais de transbordo seja maior ou igual ao valor obtido quando se faz a somatória do volume de resíduos não perigosos a serem transportados dividido pela capacidade do veículo utilizado. Já as Restrições (16) têm a mesma função das Restrições (15), mas referem-se aos resíduos perigosos. Essa segregação se faz necessária, pois caso sejam misturados produtos perigosos e não perigosos em um mesmo caminhão de compartimento único, os resíduos perigosos podem contaminar os não perigosos, inviabilizando, assim, o reaproveitamento destes. As Restrições (17) e (18) são semelhantes às Restrições (15) e (16), mas relacionam-se ao segundo nível da rede logística reversa. Assim, envolvem o transporte de resíduos das centrais de transbordo para as empresas receptoras.

Por fim, as Restrições (19) e (20) indicam que as variáveis Y_i e Z_{ik} são binárias, ou seja, assumem apenas valor 0 ou 1. As Restrições (21) e (22) garantem que as variáveis X_{li} e W_{ik} são reais e positivas. E as Restrições (23) e (24) indicam que σ_{ip} e δ_{kp} são variáveis inteiras positivas.

4. OBTENÇÃO E APRESENTAÇÃO DOS PARÂMETROS PARA O MODELO MATEMÁTICO

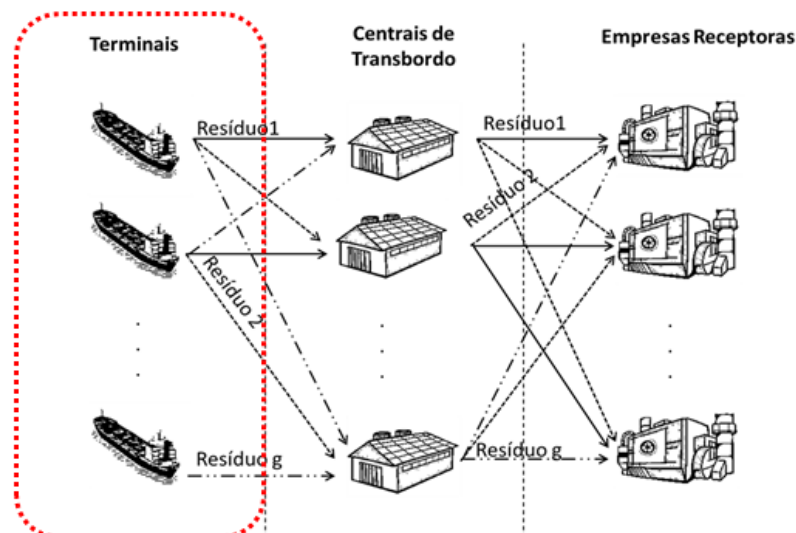
Nesse capítulo são apresentados os valores dos parâmetros utilizados no modelo matemático para os terminais marítimos localizados dentro dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, além da forma de obtenção de cada um deles.

Atualmente há um banco de dados, com dados primários (IVIG, 2014), elaborado pelo IVIG por meio de um levantamento em campo, além de dados declarados obtidos por meio de documentações do porto (GOBBI, 2015; STARLING, 2014). Esse banco de dados contempla toda a movimentação de resíduos no porto do Rio de Janeiro e do porto de Itaguaí dos anos de 2009 a 2013 e foi utilizado para captação de diversas informações necessárias para esta dissertação. Nas próximas seções há o detalhamento dos diferentes parâmetros pertencentes aos diferentes cenários deste estudo.

5.1 LOCAIS GERADORES DE RESÍDUOS

Conforme já mencionado anteriormente, a rede logística reversa estudada conta com três elos, os terminais, as centrais de transbordo e as empresas receptoras. Os locais geradores de resíduos são representados pelos terminais, em destaque na Figura 16.

Figura 16: Rede logística reversa - Terminais



Fonte: Elaborada pela autora.

Considerou-se para esse estudo dois portos geradores de resíduos localizados no estado do Rio de Janeiro, o porto do Rio de Janeiro e o porto de Itaguaí. O porto do Rio de Janeiro é um porto marítimo localizado na costa oeste da Baía da Guanabara, na cidade do Rio de Janeiro, é administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ). Possui uma área aproximada de 1,0 km² e conta com 6.740,0 metros de cais contínuo, divididos em três trechos: Cais da Gamboa, Cais de São Cristóvão e Cais do Caju, conforme Figura 17. Contêineres constituíram a principal carga movimentada em 2012, dentro de um total de quase 8,4 milhões de toneladas de cargas (GOBBI, 2015; SEP/PR e UFSC, 2014b).

Figura 17: Localização do porto do Rio de Janeiro

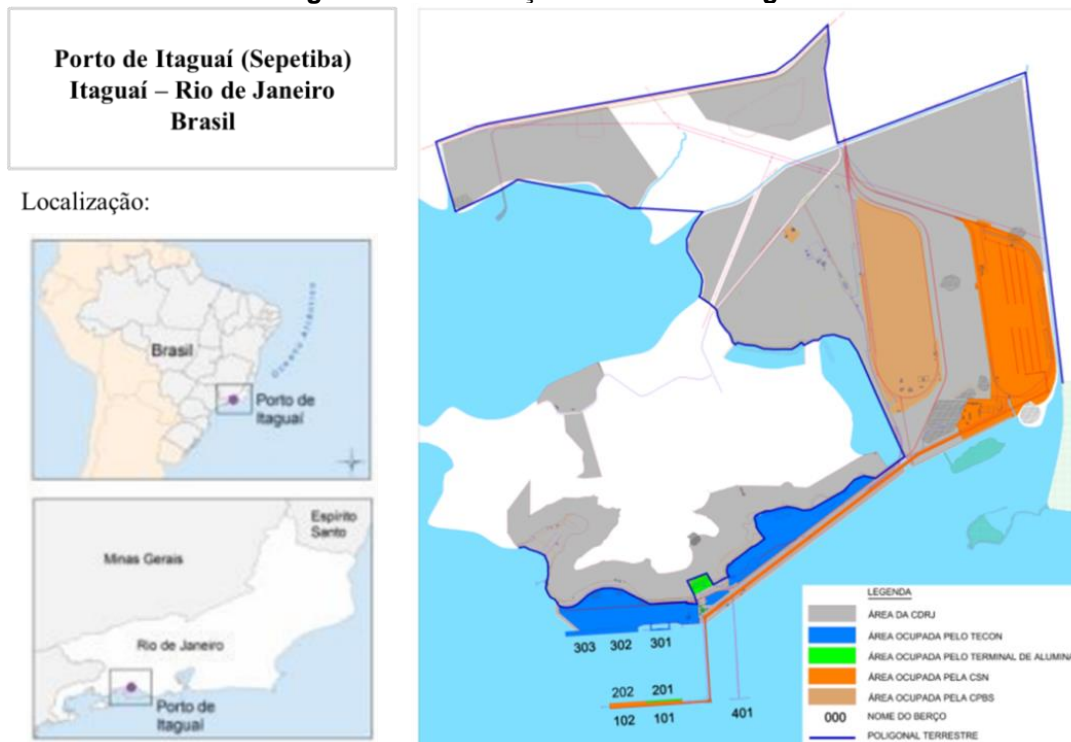


Fonte: Adaptado de SEP/PR e UFSC (2014b)

O Porto de Itaguaí está localizado na costa norte da Baía de Sepetiba, a sudeste da Ilha da Madeira, no município de Itaguaí no Estado do Rio de Janeiro, conforme Figura 18. É um porto marítimo administrado pela Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ) construído com o objetivo principal de atender ao complexo

industrial de Santa Cruz. Possui 7,2 mil km² de infraestrutura destinada à movimentação de contêineres, minérios, outros granéis sólidos, produtos siderúrgicos e carga geral. Em 2013, foram movimentados 58,3 milhões de toneladas de cargas neste porto, um acréscimo de 2,2% em relação a 2012, sendo responsável por 6,3% de toda movimentação observada nas instalações portuárias brasileiras em 2013 (GOBBI, 2015; SEP/PR e UFSC, 2014a; ANTAQ, 2014).

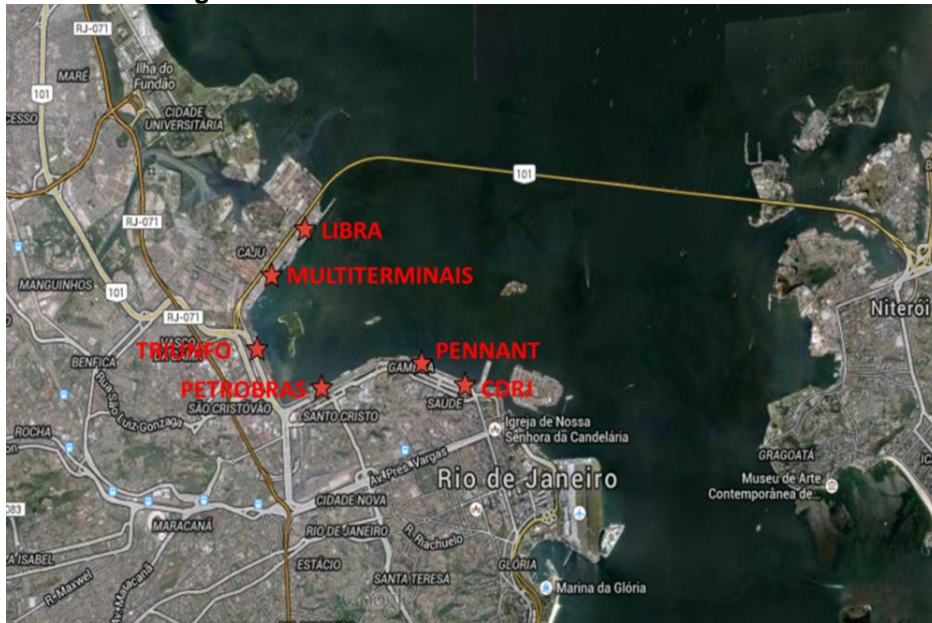
Figura 18: Localização do Porto de Itaguaí



Fonte: Adaptado de SEP/PR e UFSC (2014a)

Cada um desses portos possui terminais geradores de resíduos que devem enviar esses materiais às centrais de transbordo e que, posteriormente, enviarão os resíduos às receptoras. O porto do Rio de Janeiro, considerando a última versão do banco de dados fornecido pelo IVIG, é composto por seis terminais geradores de resíduos, conforme Figura 19, são eles: CDRJ, LIBRA (Terminal de Contêineres), MULTITERMINAIS (Multirio e Multicar), PENNANT, PETROBRÁS e TRIUNFO (Terminal de Produtos Siderúrgicos da Gamboa – TSG).

Figura 19: Terminais do Porto do Rio de Janeiro



Fonte: Adaptado de Google Maps

O Porto de Itaguaí possui três principais terminais geradores de resíduos, conforme Figura 20, são eles: TECAR (Terminal de Granéis Sólidos), TECON (Terminal de Contêiner) e VALE (Minério de ferro).

Figura 20: Terminais do Porto de Itaguaí



Fonte: Adaptado de Google Maps

Dessa maneira, totalizam-se nove terminais portuários geradores de resíduos, conforme a Quadro 3.

Quadro 3: Resumo dos portos e terminais

Porto	Terminal
Rio de Janeiro	CDRJ
	LIBRA
	MULTITERMINAIS
	PENNANT
	PETROBRÁS
	TRIUNFO
Itaguaí	TECAR SEPETIBA
	TECON SEPETIBA
	VALE

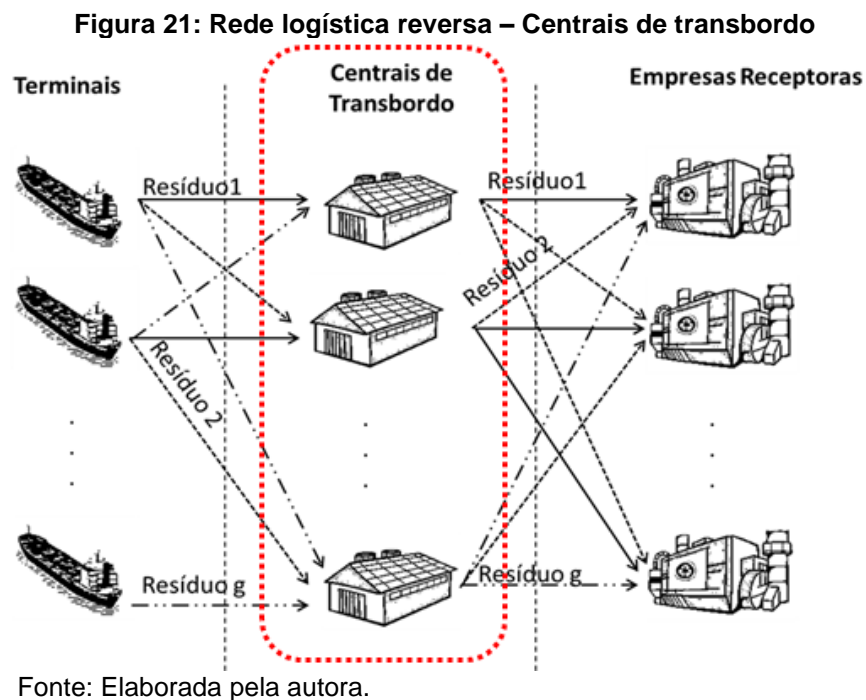
Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, sabe-se que tanto os resíduos gerados em terra no porto, quanto os gerados nos navios devem ser manuseados de maneira ambientalmente adequada. Do contrário, ações tomadas para reduzir a poluição e aumentar a sustentabilidade dos portos podem apenas transferir o problema do mar para a terra ou vice versa. Dessa maneira, é notável que os resíduos que são gerados em embarcações também necessitam de tratamento adequado, conforme o Manual Detalhado de Instalações Portuárias para Recepção de Resíduos. Ainda de acordo com o Manual, alguns resíduos como lixo ou resíduos de carga regulados ou sob quarentena, podem não ser facilmente transportáveis até os sistemas terrestres normais de disposição ou não podem ser reciclados. Mesmo assim, precisam de uma destinação final adequada (ANTAQ, 1999).

Tendo em vista tais informações, optou-se por incluir na base de dados deste estudo os resíduos de embarcação. Apenas o porto do Rio de Janeiro possuía contabilização desse tipo de carga, não constando resíduos desse tipo para o porto de Itaguaí. Em função das informações disponíveis, optou-se por considerar como terminal gerador o CDRJ quando constavam resíduos de embarcação no porto do Rio de Janeiro.

5.2 CENTRAIS DE TRANSBORDO CANDIDATAS

Conforme citado anteriormente, a rede logística reversa estudada conta com três elos, os terminais, as centrais de transbordo e as empresas receptoras. Os locais que serão localizados por meio dos resultados obtidos pelo modelo matemático são representados pelos nós da camada intermediária desta rede logística, as centrais de transbordo, em destaque na Figura 21.



As centrais de transbordo devem atender aos terminais portuários estipulados na Seção 5.1 e também aos resíduos gerados nas embarcações. Assim, foram estipuladas oito centrais de transbordo candidatas que estão localizadas nas proximidades dos dois portos. Ressalta-se que quatro dessas centrais localizam-se dentro do ambiente portuário do Rio de Janeiro. Conforme disponibilidade de espaço relatada por representantes da Companhia Docas do Rio de Janeiro (CDRJ), as Centrais 1, 2, 3 e 4 estão localizadas dentro do porto do Rio de Janeiro. A Figura 22 apresenta a localização dessas quatro centrais, além disso, apresenta a portaria central que é denominada Gate_24 por onde todos os veículos que trafegam para todos os terminais do porto do Rio de Janeiro obrigatoriamente precisam passar para adentrar e/ou sair do porto.

Figura 22: Visão das quatro centrais de transbordo candidatas e do Gate_24

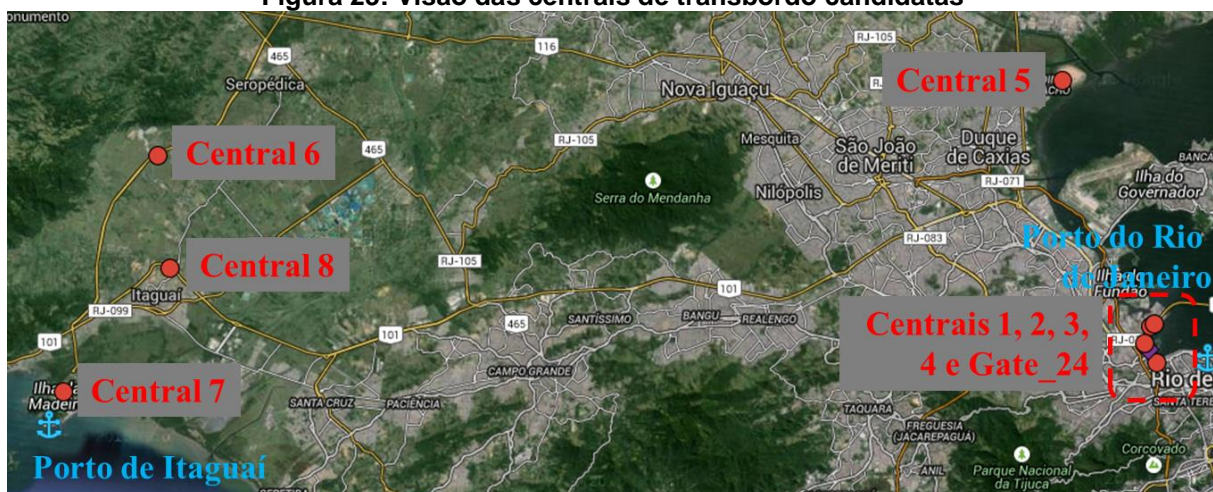


Fonte: Adaptado de *Google Maps*

Em relação à localização e possível instalação das demais centrais, tomou-se como base a premissa que os locais estejam localizados em regiões que possuam espaço físico disponível e que as áreas circunvizinhas sejam pouco populosas (MATAVEL, 2015). É desejável também que estejam nas proximidades dos portos a serem atendidos e também das receptoras, visto que a modelagem busca a minimização dos custos de transporte. Todos esses itens foram levados em consideração ao escolher a localização das centrais de transbordo candidatas.

Dessa forma, juntamente às quatro centrais instaladas dentro da área do porto do Rio de Janeiro listadas anteriormente, há outras quatro, todas localizadas externamente ao ambiente portuário, totalizando assim oito possíveis localizações para as centrais de transbordo, conforme pode ser visto na Figura 23.

Figura 23: Visão das centrais de transbordo candidatas



Fonte: Adaptado de Google Maps

Conforme a Figura 23, nota-se que três centrais candidatas localizam-se nas proximidades do porto de Itaguaí (Central 6, 7 e 8) e as demais estão mais próximas ao porto do Rio de Janeiro (Central 1, 2, 3, 4 e 5). A escolha por um número maior de centrais nas proximidades do porto do Rio de Janeiro relaciona-se a maior geração de resíduos de seus terminais, conforme listado na Seção 5.9. O Quadro 4 resume a localização de todas as centrais.

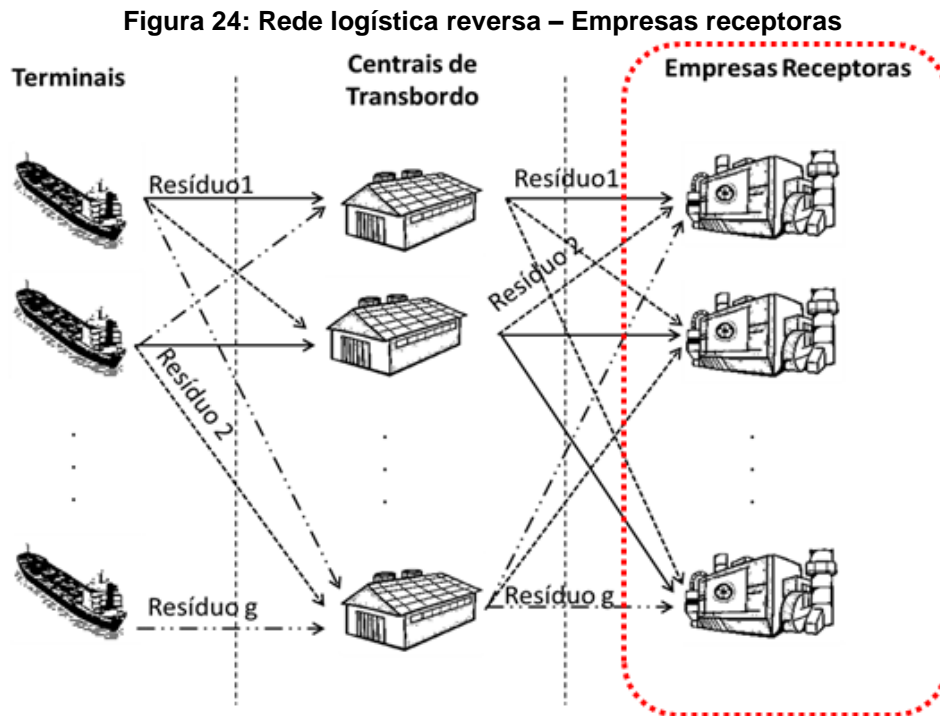
Quadro 4: Listagem de centrais de transbordo candidatas

Central	Localização
1	Zona portuária do Caju em Rio de Janeiro-RJ
2	Zona portuária de São Cristóvão em Rio de Janeiro-RJ
3	Proximidades da Zona portuária de São Cristóvão e de Gamboa em Rio de Janeiro-RJ
4	Zona portuária do Caju em Rio de Janeiro-RJ
5	Proximidades do bairro Jardim Gramacho em Duque de Caxias-RJ
6	Proximidades de Seropédica-RJ
7	Proximidades da Ilha da Madeira em Itaguaí-RJ
8	Proximidades do bairro Amendoeira em Itaguaí-RJ

Fonte: Elaborado pela autora.

5.3 EMPRESAS RECEPTORAS

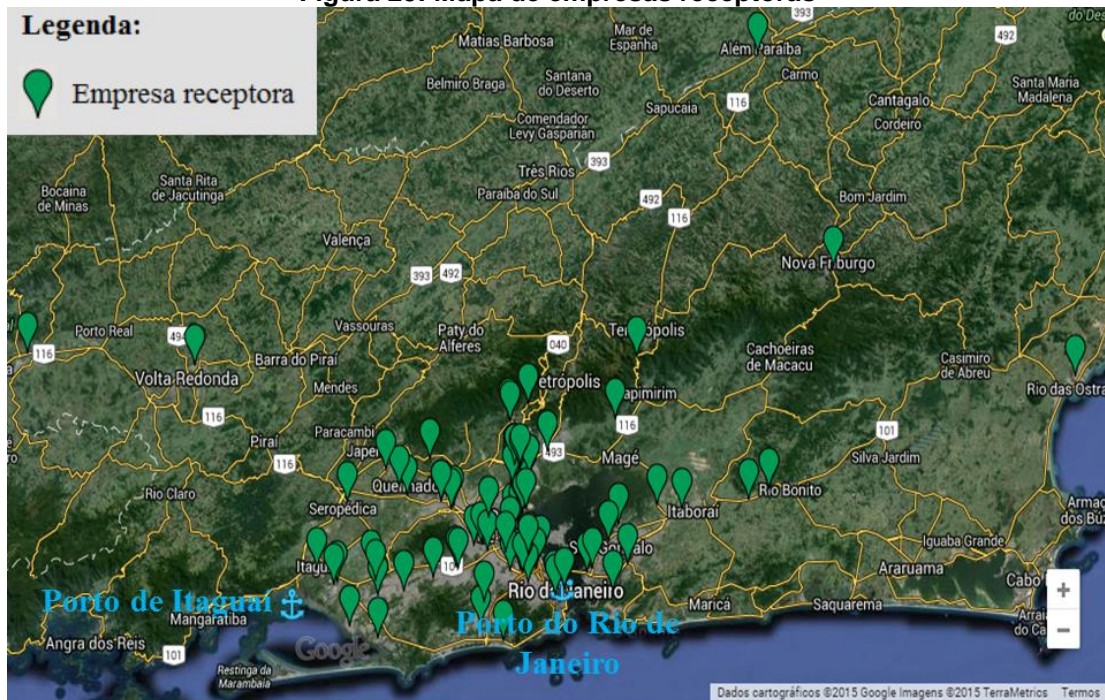
Depois de enviados às centrais de transbordo, os resíduos seguem para diferentes empresas receptoras, em destaque na Figura 16, que atendem tipos específicos de resíduos.



Fonte: Elaborada pela autora.

Pelo banco de dados do IVIG existem atualmente 74 empresas receptoras responsáveis por atender os nove terminais citados anteriormente na Seção 5.1. Essas empresas estão localizadas em diferentes partes do estado do Rio de Janeiro, conforme Figura 25. O Apêndice A apresenta uma tabela com o nome de todas as receptoras expostas na Figura 25, os códigos que serão usados para cada uma delas nesta dissertação, além do tipo de resíduo que cada uma pode receber. Os códigos usados serão apenas números estabelecidos conforme ordem alfabética dos nomes das empresas receptoras. Busca-se assim maior facilidade no repasse das informações nos gráficos e tabelas que serão apresentados na Seção 6.1 e também, preserva-se a confidencialidade de cada uma das empresas.

Figura 25: Mapa de empresas receptoras



Fonte: Adaptado de *Google Maps*

5.4 MATRIZES DE DISTÂNCIA

O modelo matemático desenvolvido necessitou da elaboração de duas matrizes de distância. A primeira define valores para as diferentes combinações de distâncias dos terminais portuários para as centrais de transbordo candidatas. E a segunda matriz fornece as distâncias das centrais de transbordo até as diferentes empresas receptoras.

Para elaboração dessas matrizes foi feito um mapa no *Google Maps* com quatro camadas: Portos, Terminais, Centrais de Transbordo e Receptoras. Nele foram salvos os endereços de todos os nós da rede logística a ser projetada, ou seja, os endereços de todos os terminais, centrais de transbordo candidatas e também das empresas receptoras. Dada a localização espacial dessas facilidades, as distâncias euclidianas foram obtidas entre todo par (l,i) , $l \in L$ e $i \in I$, e (i,k) , $i \in I$, $k \in K$, em seguida, corrigidas em 10%, conforme sugere o trabalho de Pimentel (2004). Foi considerado que o resíduo gerado já se encontra centralizado exatamente na coordenada do terminal. Assim, a forma de acondicionamento não está sendo considerada neste estudo.

Vale ressaltar que os caminhões que saem de dentro do porto do Rio de Janeiro e os que entram no porto do Rio de Janeiro precisam passar pelo Gate_24, sendo assim, a matriz de distância deve incluir as distâncias das centrais até a o Gate_24. As duas matrizes encontram-se no Apêndice B.

5.5 CAPACIDADE DAS FACILIDADES

Para definição da capacidade de recebimento de resíduos das centrais de transbordo, tomou-se como base a informação da área das centrais. Para as Centrais 1, 2 e 3 as áreas foram, respectivamente, 1.089,0 m²; 2.273,0 m²; 873,0 m². Tais dados foram obtidos por meio do projeto das plantas elaborados pelo IVIG/UFRJ para a SEP/PR. Com isso, estimaram-se as áreas das demais centrais em 1.500,0 m², que é, aproximadamente, a média das Centrais 1, 2 e 3.

Tendo em vista a impossibilidade de se estabelecer um padrão de conversão de metros quadrados para toneladas em face da heterogeneidade das cargas, adotou-se o padrão de conversão que uma tonelada de carga ocupa um metro quadrado de área. Esse valor foi especificado pela UFRJ/IVIG após estudos gravimétricos dos resíduos coletados. Dessa maneira, por meio das áreas de cada uma das centrais, foi possível obter a capacidade em toneladas de cada uma das centrais conforme a Tabela 2.

A capacidade das empresas receptoras foi definida de acordo com cada tipo específico de resíduo que a empresa poderia receber, conforme consulta ao banco de dados fornecido pelo IVIG/UFRJ e listadas no Apêndice A. Assim, sabendo que a recepção daquele resíduo por determinada receptora é possível, um valor de capacidade foi estimado. Em contrapartida, caso a empresa não esteja apta a receber determinado resíduo, o valor de capacidade foi estabelecido como zero (Tabela 2).

Tabela 2: Capacidade das facilidades

Facilidade	Capacidade [t]
Central de transbordo 1	1.089
Central de transbordo 2	2.273
Central de transbordo 3	873
Central de transbordo 4	1.500
Central de transbordo 5	1.500
Central de transbordo 6	1.500
Central de transbordo 7	1.500
Central de transbordo 8	1.500
Empresas receptoras	0 se a recicladora não pode receber o material ou a capacidade em toneladas que a recicladora pode receber

Fonte: Elaborado pela autora.

5.6 CUSTO FIXO DE INSTALAÇÃO E DE OPERAÇÃO DAS CENTRAIS DE TRANSBORDO

A seguir, nas Seções 5.6.1 e 5.6.2, a forma de obtenção e cálculo dos custos fixos de instalação e dos custos de operação das centrais de transbordo candidatas são detalhados.

5.6.1 Custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas

O custo fixo de instalação está relacionado aos custos de aquisição de terreno, de construção das instalações físicas, de aquisição de máquinas e equipamentos (SCHWARTZ FILHO, 2006). Dessa forma, esse custo aumenta se a capacidade da central de transbordo aumentar, afinal, uma maior capacidade sugere um aumento da área utilizada e um aumento do número de maquinário (FERRI *et al.*, 2015). Por isso, nos cenários onde há a redução da capacidade e área das centrais candidatas, os custos de instalação acabam sendo menores, conforme nota-se na Tabela 4.

Assim, para o valor final do custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas utilizou-se o custo da compra do terreno somado ao custo da construção do galpão, da compra de máquinas e de compra de equipamentos. Para as Centrais 5, 6, 7 e 8, obtiveram-se os custos do terreno (R\$/m²) por meio de consulta às imobiliárias da região. Ressalta-se que para as Centrais 1, 2, 3 e 4 não foi considerado o valor de compra do terreno, tendo em vista que as quatro centrais de transbordo estão localizadas dentro do próprio porto. Segundo levantamento junto à

SEP/PR, áreas que estão sob arrendamento deverão ser cedidas para implantação das centrais de transbordo sem haver cobrança pelo custo da área ocupada no terreno. Entretanto, a partir do Cenário 7, conforme explicado na Seção 3.4, optou-se por acrescentar ao custo fixo de instalação das Centrais 1, 2, 3 e 4 uma parcela nomeada custo de oportunidade (R\$/m²), visto que apesar de não haver a compra efetiva do terreno para essas centrais instaladas dentro do porto, há um valor previsto de custo por perda de oportunidade de negócio, ou seja, aquela área cedida para instalação da central poderia ser utilizada para estocagem e manuseio de cargas do porto. Esse custo foi apurado junto aos terminais de forma empírica e, conforme entrevista a operadores portuários, chegou-se aos valores de 25,0 R\$/m² para cargas de baixo valor agregado, 50,0 R\$/m² para cargas de médio valor agregado e 85,0 R\$/m² para valor agregado alto.

De acordo com Ferri *et al.* (2015), para um centro de armazenagem e triagem, faz-se necessário além da compra do terreno, citado anteriormente, a construção de um galpão, a aquisição de prensa(s), elevador(es), balança(s) e algumas ferramentas. O custo avaliado para construção do galpão na região do Rio de Janeiro foi de R\$ 689,75/m² de acordo com os custos unitários da construção do Sinduscon-Rio (SINDUSCON RIO, 2015). Já a aquisição de prensa(s), elevador(es), balança(s) e algumas ferramentas variou de acordo com a capacidade das centrais. Ou seja, centrais maiores demandam maior quantidade de equipamentos que centrais menores, sendo assim, a Central 2 obteve o maior custo de compra de máquinas, equipamentos e ferramentas (Tabela 3 e Tabela 4). Segundo Ferri *et al.*, (2015), uma central de 500m² demanda R\$35.000,00 gastos com esses materiais. As diversas parcelas para obtenção do custo fixo de instalação de cada uma das centrais de transbordo candidatas, referente aos Cenários 1, 3 e 5, encontram-se na Tabela 3. Já a Tabela 4 apresenta os valores deste custo para os diferentes cenários testados nesta dissertação.

Por fim, o custo fixo de instalação foi então dividido pelo tempo de vida útil das centrais de transbordo devido à depreciação de investimento. De acordo com Ferri *et al.* (2015), o tempo de vida útil para esse tipo de facilidade é de 10 anos. Como a frequência de retirada dos resíduos é semanal, para o lançamento no CPLEX, o valor anual foi dividido por doze meses e posteriormente por quatro semanas.

Tabela 3: Cálculo do custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas – Cenários 1, 3, 5

Central	Área (m ²)	Custo do terreno (R\$/m ²)	Custo de aquisição do terreno (R\$)	Custo da construção do galpão (R\$)	Custo da compra de máquinas, equipamentos e ferramentas (R\$)	Custo Fixo de Instalação (R\$)	Custo Fixo de Instalação (R\$/sem)
1	1.089	-	-	751.138	76.230	827.368	1.724
2	2.273	-	-	1.567.802	159.110	1.726.912	3.598
3	873	-	-	602.152	61.110	663.262	1.382
4	1.500	-	-	1.034.625	105.000	1.139.625	2.374
5	1.500	300	450.000	1.034.625	105.000	1.589.625	3.312
6	1.500	60	89.310	1.034.625	105.000	1.228.935	2.560
7	1.500	194	291.660	1.034.625	105.000	1.431.285	2.982
8	1.500	550	825.000	1.034.625	105.000	1.964.625	4.093

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 4: Custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas para os diferentes cenários

Cenários	Custo fixo instalação Central 1 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 2 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 3 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 4 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 5 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 6 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 7 (R\$/semana)	Custo fixo instalação Central 8 (R\$/semana)
1, 3, 5	1.724	3.598	1.382	2.374	3.312	2.560	2.982	4.093
2, 4, 6	Não disponível	Não disponível	Não disponível	Não disponível	3.312	2.560	2.982	4.093
7	8.530	17.804	6.838	11.749	3.312	2.560	2.982	4.093
8, 15	15.336	32.010	12.294	21.124	3.312	2.560	2.982	4.093
9	24.865	51.899	19.933	34.249	3.312	2.560	2.982	4.093
10, 14	7.041	7.041	7.041	7.041	1.104	853	994	1.364
11, 13	4.225	4.225	4.225	4.225	662	512	596	819
12	2.112	2.112	2.112	2.112	331	256	298	409

Fonte: Elaborado pela autora.

5.6.2 Custo de operação das centrais de transbordo candidatas

No que tange o custo de operação, pode-se dizer que este se refere ao custo dos salários e encargos dos funcionários, manutenção do local e dos equipamentos, gastos de luz, água e telefone (SCHWARTZ FILHO, 2006). De acordo com Ferri *et al.* (2015), um centro de armazenagem e triagem com 500,0 m² necessita de cinco funcionários, que recebem um salário mínimo cada, um gasto de R\$ 3.000,00 com manutenção e pintura ao longo do ano e R\$ 600,00 mensais destinados a energia, água, gás e telefone. Tais valores foram convertidos para o tempo atual, totalizando R\$ 131.307,65/ano com custo fixo de operação, conforme detalhamento da Tabela 5. Ressalta-se que para o salário por funcionário houve acréscimo de 155% sobre o valor do salário mínimo, referentes aos encargos de custo do trabalho, conforme estudos de Souza *et al.* (2012).

O valor anual do custo de operação listado na Tabela 5, refere-se a uma central de 500,0 m² conforme estudo de Ferri *et al.* (2015). Esse valor foi, por meio de proporção, ajustado para as diferentes áreas das centrais de transbordo candidatas contempladas nos diferentes cenários, assim o valor final para os custos de operação de cada um deles pode ser visto na Tabela 6. O custo de operação, tal como o custo instalação, também tende a reduzir com a diminuição da capacidade das centrais, como nos Cenários 10, 11 e 12, visto que há uma redução na área do terreno comprado e, conseqüentemente, necessita-se de menos mão-de-obra.

Tabela 5: Cálculo do custo de operação para central de transbordo de 500m²

Custo de operação	
Número de funcionários (un)	5
Salário de um funcionário (R\$/mês)	2.009
Custo com funcionários (R\$/mês)	10.047
Custo com funcionários (R\$/ano) (1)	120.564
Custo com manutenção e pintura (R\$/ano) (2)	3.160
Custo energia, água, gás e telefone (R\$/mês)	632
Custo com energia, água, gás e telefone (R\$/ano) (3)	7.584
Custo de operação anual (R\$/ano) (4) = (1) + (2) + (3)	131.308
Custo de operação mensal (R\$/mês)	10.942
Custo de operação semanal (R\$/mês)	2.736

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela 6: Custo de operação das centrais de transbordo candidatas para os diferentes cenários

Cenários	Custo de operação Central 1 (R\$/semana)	Custo de operação Central 2 (R\$/semana)	Custo de operação Central 3 (R\$/semana)	Custo de operação Central 4 (R\$/semana)	Custo de operação Central 5 (R\$/semana)	Custo de operação Central 6 (R\$/semana)	Custo de operação Central 7 (R\$/semana)	Custo de operação Central 8 (R\$/semana)
1, 3, 5, 7, 8, 9, 15	5958,08	12435,93	4776,32	8206,73	8206,73	8206,73	8206,73	8206,73
2, 4, 6	Não disponível	Não disponível	Não disponível	Não disponível	8206,73	8206,73	8206,73	8206,73
10. 14	2735,6	2735,6	2735,6	2735,6	2735,6	2735,6	2735,6	2735,6
11. 13	1593,95	1593,95	1593,95	1593,95	1593,95	1593,95	1593,95	1593,95
12	796,97	796,97	796,97	796,97	796,97	796,97	796,97	796,97

Fonte: Elaborado pela autora.

5.7 CUSTO DE TRANSPORTE

Os custos de transporte entre os terminais até as centrais candidatas e das centrais às receptoras foram estipulados de acordo com a periculosidade do resíduo, a capacidade do caminhão e as distâncias percorridas. Conforme pesquisa de mercado no estado do Rio de Janeiro e pesquisa junto ao porto do Forno que já contrata este tipo de serviço, notou-se que caminhões maiores possuem um custo de transporte, em R\$/(km . t) menor que caminhões menores. Assim, o custo de transporte para três capacidades de caminhões foram obtidas, de forma a manter uma determinada variabilidade de opções para testar a sensibilidade do modelo. A Tabela 7 ilustra os custos obtidos de acordo com a periculosidade do resíduo a ser transportado, das capacidades dos caminhões e também os respectivos cenários nos quais foram usados cada um dos custos. Ressalta-se que para resíduos perigosos o valor foi 50% superior ao estabelecido para resíduos não perigosos.

Tabela 7: Custos de transporte

Capacidade do caminhão (t)	Periculosidade do resíduo a transportar	Custo de transporte (R\$/(km . t))	Cenários
16	Perigoso	1,875	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
16	Não perigoso	1,250	1, 2, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15
27,5	Perigoso	1,650	3, 4
27,5	Não perigoso	1,100	3, 4
40	Perigoso	1,500	5, 6
40	Não perigoso	1,000	5, 6

Fonte: Elaborado pela autora

Então, para o cálculo do custo total de transporte na rede logística reversa foi considerada previamente a capacidade dos caminhões, de acordo com parâmetro cc , informação esta que variou de acordo com os cenários; a quantidade de caminhões demandados para determinado trecho, conforme o valor encontrado para as variáveis σ_{lip} e δ_{ikp} apresentadas no Capítulo 4; o valor cobrado em R\$/(km.t), de acordo com a Tabela 7; a especificação do resíduo em perigoso ou não perigoso, por meio da segregação por periculosidade que o modelo define e, por fim, a

distância a ser percorrida entre dois nós df_{li} e ds_{ik} , de acordo com as matrizes de distância apresentadas no Apêndice B. O cálculo do custo de transporte entre dois nós foi então realizado com base na equação (25).

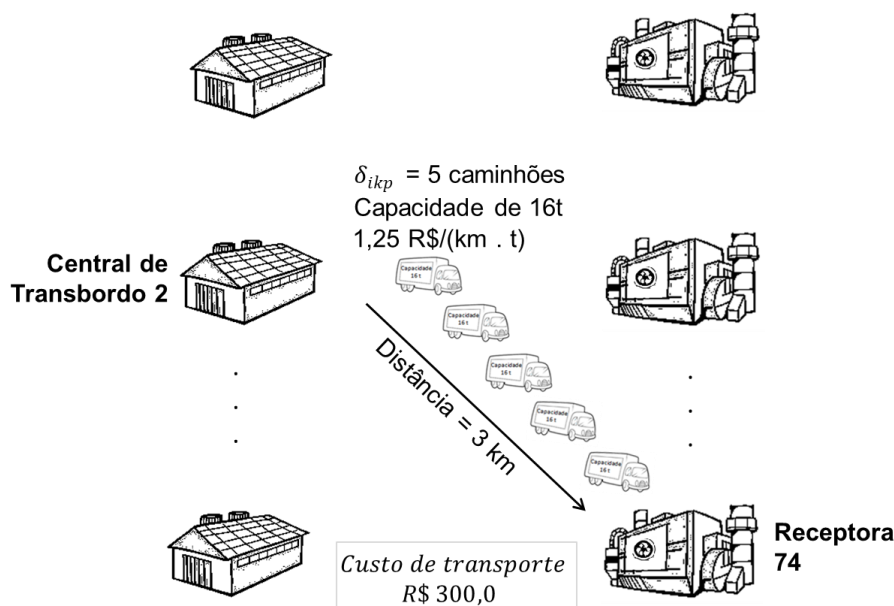
Custo de transporte =

$$(Quantidade\ de\ caminhões\ \delta_{ikp}).(Capacidade\ dos\ caminhões\ cc). \quad (25)$$

$$(Distância\ df_{li}).(Valor\ cobrado\ por\ \frac{R\$}{km.t})$$

Um exemplo deste cálculo pode ser visto na Figura 26, nele há demanda de 5 caminhões para realizarem transportes da Central de Transbordo 2 para a Receptora 74. Os caminhões tem capacidade de 16,0 toneladas, o resíduo é do tipo não perigoso e a distância a percorrer, suponha ser de 3,0 quilômetros. O custo de transporte será, então, de R\$300,00, calculado com base na equação (25).

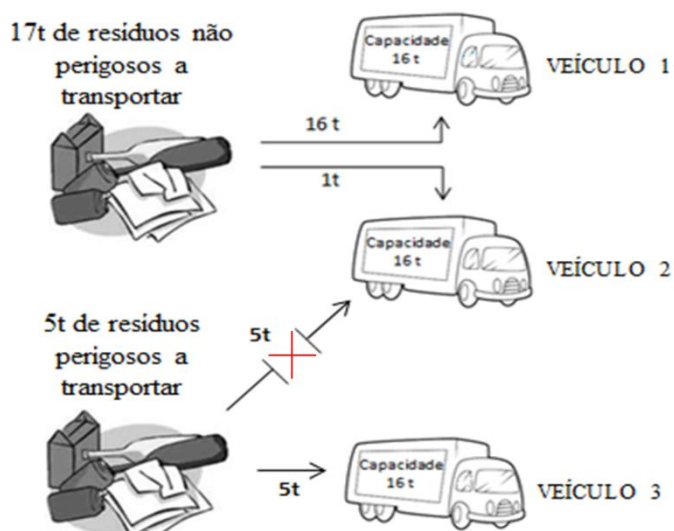
Figura 26: Cálculo do custo de transporte



Fonte: Elaborado pela autora

Ressalta-se que o valor cobrado incide sobre um caminhão, e não sobre a quantidade de toneladas que são transportadas, a Figura 27 ilustra esse conceito. Se há, por exemplo, 17 toneladas de resíduos não perigosos a serem transportados e a frota de caminhões possui capacidade para 16 toneladas, será necessário o pagamento de dois caminhões, mesmo que um deles transporte apenas uma tonelada de resíduos.

Figura 27: Segregação de resíduos e custo de transporte



Fonte: Elaborado pela autora

Além disso, conforme Figura 27, o modelo também efetua a segregação das cargas perigosas e não perigosas em caminhões diferentes, visto que o transporte dessas cargas dentro do mesmo caminhão poderia contaminar os resíduos não perigosos e dificultar sua recuperação. Sendo assim, se há, por exemplo, 5 toneladas de resíduos perigosos a serem transportados, tal quantia não poderá ser inserida no veículo 2 mesmo que ele possua capacidade excedente. Deve-se utilizar outro caminhão, no caso o veículo 3, específico para resíduos perigosos. Tais restrições tornam o modelo mais realístico.

5.8 RECEITA POR RECEPTORA

Durante o desenvolvimento da pesquisa, notou-se que diversas empresas receptoras listadas no banco de dados do IVIG já não operavam mais, possuíam cadastros desatualizados ou, por questões de confidencialidade do negócio, não permitiam o repasse de informações referentes aos valores pagos por cada tipo de resíduo.

Tendo em vista tal impossibilidade de se levantar os valores pagos pelas empresas receptoras para os resíduos recicláveis, adotou-se a seguinte metodologia para cálculo das receitas. Primeiramente, levantou-se a média das receitas pagas para cada tipo de resíduo com base em: Cempre (2015), Quimlab (2015), Teixeira e

Damacena (2013), Sanetal (2012), Via Pública (2012), Franco e Lange (2011), Simião (2011), SINIR (2011), Fagundes (2009), Oliveira e Mendes (2008), FIESP (2007), Lima e Ferreira (2007), Santos (2005), além de entrevistas informais aos representantes de empresas de reciclagem. Em seguida, aplicou-se um percentual para faixa de movimentação anual de resíduos de cada receptora, conforme Tabela 8, a ser acrescido nos valores médios obtidos na literatura e nas entrevistas informais.

Tabela 8: Faixas para variação das receitas

Faixa	Quantidade de resíduos/ano (t)	Percentual a acrescentar (%)
1	0 963	+ 2,5
2	963 1.925	+ 5,0
3	1.925 2.888	+7,5
4	2.888 3.851	+10,0
5	3.851 4.814	+12,5
6	4.814 5.776	+15,0
7	5.776 6.739	+17,5
8	6.739 7.702	+20,0

Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, obteve-se para cada tipo de resíduo e para cada empresa receptora um valor específico de receita. Ao todo foram criadas oito faixas de modo a não existir concentração da grande maioria das empresas receptoras em apenas uma faixa, pois dessa forma os valores de receitas permaneceriam os mesmos. Além disso, há a existência de valores negativos e positivos. Os valores negativos estão relacionados ao envio de resíduos não recicláveis aos aterros sanitários, pois são entendidos como custo para o terminal. Em contrapartida, os valores positivos são receitas pagas aos terminais pelo envio de resíduos recicláveis às recicladoras.

5.9 ESTIMATIVAS DE RESÍDUOS GERADOS

Dentre os dados necessários para a consecução desta pesquisa, destacam-se:

- Volume de resíduos por tipo e periculosidade;
- Terminal de origem;

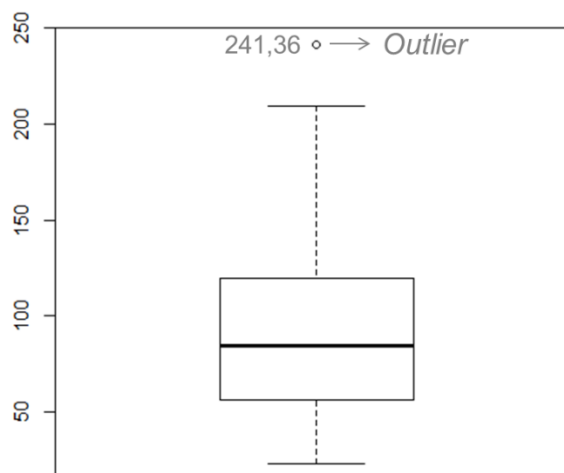
- Empresa receptora para qual o resíduo foi destinado;
- Fonte geradora que pode ser terra (área não arrendada e área arrendada) ou embarcação.

Para área não arrendada foi considerada o somatório das áreas do porto que não são arrendadas por alguma empresa privada, como salas administrativas, restaurante e enfermaria. Já para área arrendada, considerou-se o somatório das áreas do porto que são controladas por empresas privadas que desempenham suas atividades no porto, também chamadas terminais arrendados. Por fim, a fonte de geração referente às embarcações é o somatório de todas as embarcações que atracaram no porto e fizeram retiradas de resíduos sólidos (GOBBI, 2015).

A obtenção de tais dados foi possível devido a um trabalho anterior a este, realizado pelo IVIG em parceria com diferentes universidades federais do país, no qual se realizou o levantamento dessas informações juntamente aos portos a partir de dados declarados em sistemas declaratórios e também por meio de contato direto com a Administração Portuária (IVIG, 2014; GOBBI, 2015; STARLING, 2014).

Para que os resultados apresentados fossem os mais fidedignos possíveis, optou-se por realizar um tratamento estatístico desses dados, pois existiam numerosos valores discrepantes nas amostras, os chamados *outliers*, principalmente para resíduos de construção civil/entulho e sucata de metais ferrosos. Tais valores poderiam mascarar os resultados obtidos pelo modelo matemático, visto que não representavam a média habitual de movimentação de resíduos no terminal e sim acontecimentos atípicos como uma obra ou uma manutenção em um período ou situação muito específica. Assim, foram feitos gráficos *boxplot* por meio do *software R* com os valores mensais gerados para cada tipo de resíduo em cada terminal, um exemplo pode ser verificado na Figura 28. Posteriormente, excluíram-se os *outliers* e dos valores restantes escolheu-se o maior deles e dividiu-se por quatro, visto que a frequência estipulada foi a semanal. Esse valor obtido foi considerado como sendo a quantidade gerada daquele resíduo naquele terminal.

Figura 28: *Boxplot* geração mensal de sucata de metais ferrosos [t] para o Terminal TECAR (Porto de Itaguaí)



Fonte: Elaborado pela autora.

Além disso, algumas premissas foram necessárias para a consecução deste trabalho no que diz respeito à geração de resíduos de cada terminal. Dentre elas, tem-se que o período selecionado para obtenção dos dados para realização deste trabalho correspondeu aos anos de 2009 a 2013 dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí. Ademais, a frequência de geração estipulada para cada tipo de resíduos foi a semanal. Quanto aos tipos de resíduos analisados, ressalta-se que os resíduos de embarcação foram considerados neste levantamento. Entretanto, foram retirados do banco de dados determinados tipos específicos de resíduos, a seguir o tipo e a justificativa para retirada de cada um deles.

Primeiramente, os resíduos orgânicos foram retirados, visto que esse tipo de resíduo não deve ficar muito tempo armazenado por ser uma fonte de vetores transmissores de doenças e pelo mau cheiro que ocasiona (IVIG, 2014). Além disso, retiraram-se também resíduos não informados, resíduos não identificáveis e outros, já que não houve possibilidade de classificação, não podendo, assim, estabelecer o custo de transporte visto que ele depende da classificação de periculosidade. Por fim, água contaminada com produtos químicos, efluentes não identificados, efluentes sanitários, resíduos pastosos de ETE contendo substâncias não-tóxicas, fluido e óleo usado, óleo lubrificante, óleo vegetal, resíduo de caixa de gordura, resíduo oleoso líquido, pois não há premissas que cogitem o armazenamento desse tipo de resíduo em centrais de transbordo, visto que resíduos oleosos e líquidos não estão contemplados neste estudo.

Ainda no que concernem as premissas envolvidas na estimativa de geração de resíduos dos terminais marítimos em estudo, adotou-se como unidade padrão a tonelada, visto que, em logística, o usual é o tratamento de resíduos sólidos por meio dessa unidade. Entretanto, o banco de dados obtido por meio do IVIG/UFRJ possui três tipos diferentes de unidades: metros cúbicos, quilogramas e unidades. Com isso, foi necessário realizar a conversão de cada uma dessas unidades para tonelada. A seguir o detalhamento do método de cálculo para conversão de quilograma, metros cúbicos e unidade para tonelada.

Para a conversão de metros cúbicos para toneladas, fez-se uso de uma tabela de densidades por tipo de resíduos obtido por meio de especialistas do IVIG (ANEXO 1). Para conversão usou-se a fórmula de densidade: $\rho = m/V$, sendo ρ a densidade (kg/m^3), m a massa (kg) e V o volume (m^3). ρ e V eram conhecidos, assim, encontrou-se o valor de m em quilogramas que, posteriormente, foi transformado em toneladas. Finalmente, na conversão de unidades para toneladas, buscou-se na literatura ou em catálogos de produtos o valor médio, em quilogramas, de uma unidade do material (Tabela 9). Esse valor foi multiplicado pela quantidade de resíduo gerado e, obteve-se, então, o valor de resíduo gerado em quilogramas, transformado em seguida para toneladas.

Tabela 9: Peso médio em kg de uma unidade de determinados resíduos

Resíduo	Peso médio (kg)	Referência
Lâmpada fluorescente	0,0924	ECOCASA (2014)
Pneu	40*	IBAMA (2002)
Cartucho/ tonner de impressão	0,8**	HP (2015)
Tambor/ bombona	12,5	SM BOMBONAS (2015)

*Referente a pneu inservível de carga.

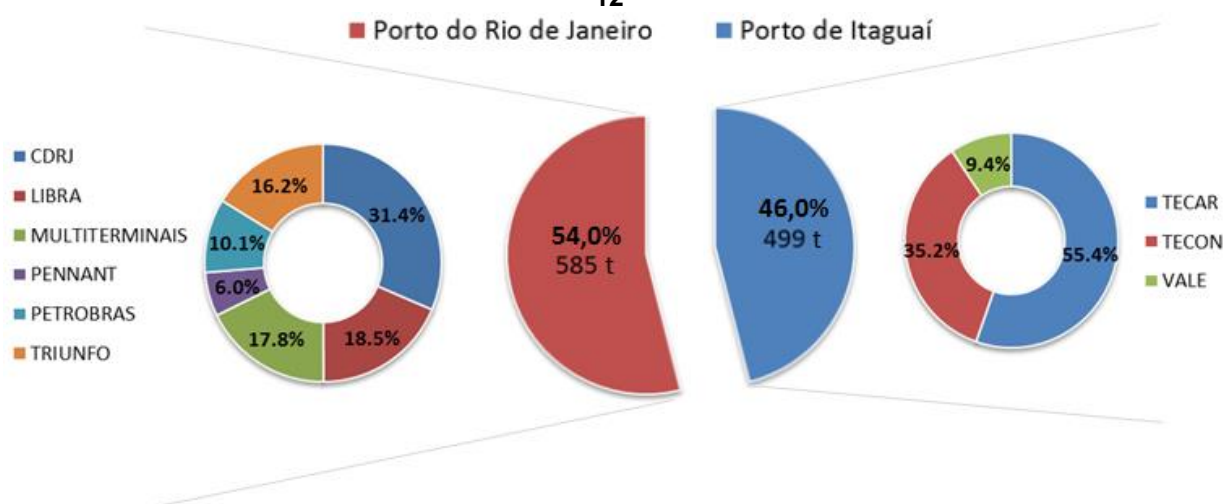
**Valor já descontado o peso da embalagem.

Fonte: Elaborado pela autora.

Com isso, totalizaram-se 61 diferentes tipos de resíduos que juntamente com suas classificações podem ser vistos no Apêndice C. Desse total, há 27 tipos de resíduos não perigosos e 34 deles são perigosos. Entretanto, quando se analisa a quantidade gerada, em toneladas, pelos dois portos em análise, 88,0% corresponde a resíduos não perigosos e 12,0% aos resíduos perigosos. Semanalmente, os terminais marítimos pertencentes aos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, geram 1.084,9

toneladas. Além disso, a maior parcela de geração de resíduos é atribuída aos terminais do porto do Rio de Janeiro (54,0%), enquanto os terminais do porto de Itaguaí geraram 499,468 toneladas do total (Figura 29). Esse fato pode ser justificado pela quantidade maior de terminais que o porto do Rio de Janeiro possui, 6 do total de 9, além da maior variedade de resíduos que compõe seu banco de dados, 57 tipos de resíduos, enquanto o porto de Itaguaí possui 27 tipos diferentes. O valor gerado citado anteriormente e apresentado na Figura 29, refere-se aos Cenários 1 ao 12 que, conforme relatado na Seção 3.4, retratam a realidade dos terminais de 2009 a 2013. A Figura 29 apresenta a quantidade gerada por cada porto e ainda o percentual de participação de cada terminal no total de resíduos produzido pelos portos.

Figura 29: Geração semanal de resíduos nos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí – Cenários 1 ao 12

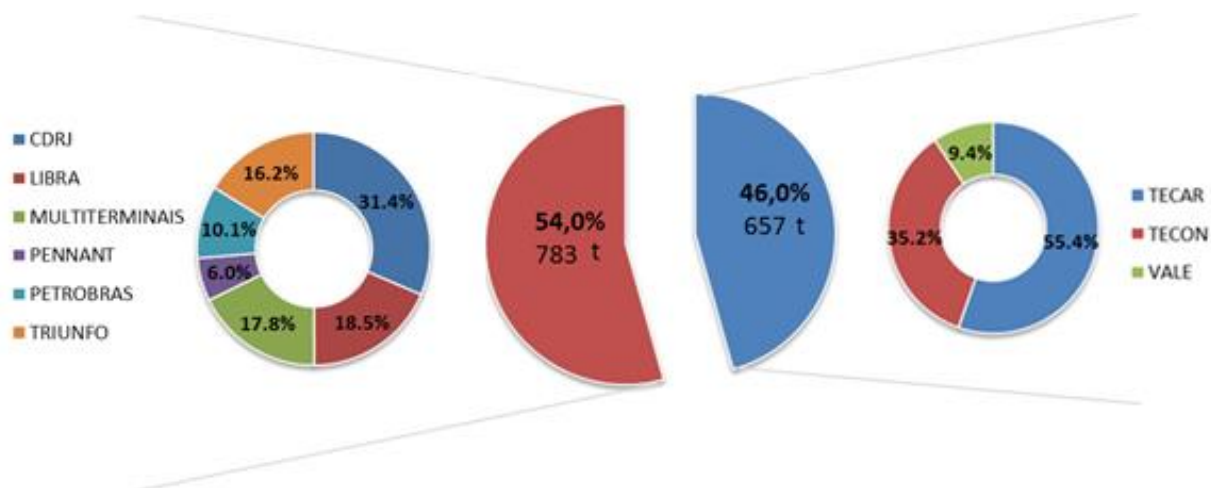


Fonte: Elaborado pela autora.

Para os Cenários 13, 14 e 15 realizou-se uma ampliação na quantidade de resíduos gerados, conforme projeção de aumento de movimentação de cargas nos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, divulgadas no relatório final de subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas da ANTAQ. A projeção para 2023, conforme informado na Seção 3.4, prevê aumento de 33,7% para o porto do Rio de Janeiro e de 31,6% para o porto de Itaguaí (ANTAQ, 2009), totalizando assim, respectivamente, 2.500 milhões de toneladas e 5.950 milhões de toneladas movimentadas de carga geral no ano de 2023. Tais percentuais foram aplicados às quantidades de resíduos utilizada nos cenários iniciais (Cenário 1 ao

12), mantendo-se o percentual atribuído para resíduos perigosos e não perigosos em, respectivamente, 12,0% e 88,0%. Dessa forma, a quantidade gerada de resíduos elevou para 1.439,97 toneladas por semana, sendo 782,77 toneladas referentes ao porto do Rio de Janeiro e 657,19 toneladas atribuídas ao porto de Itaguaí (Figura 30).

Figura 30: Geração semanal de resíduos nos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí – Projeção 2023



Fonte: Elaborado pela autora.

5. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos pela execução de cada um dos cenários no *solver* CPLEX, além de análises e considerações sobre os cenários.

O modelo matemático proposto foi implementado e testado com o *solver* CPLEX 12.6 em um computador equipado com um processador Intel i5 com 8GB memória RAM. Para cada cenário analisado, determinados parâmetros foram modificados, conforme ilustrado no tópico 3.4, a fim de possibilitar a análise de sensibilidade dos resultados em função das alterações.

A Tabela 10 apresenta os resultados relativos à execução dos diferentes cenários. Nela é possível visualizar o cenário em análise, o tempo de processamento para cada um dos quinze cenários, o GAP obtido, a capacidade dos caminhões utilizados durante a execução, o número de centrais de transbordo disponíveis e também quantas e quais centrais de transbordo foram alocadas ao final da execução do cenário. Da sétima coluna em diante há informações referentes aos resultados financeiros obtidos. A sétima coluna contempla o valor da receita auferida pela venda dos resíduos subtraída dos custos totais. A oitava coluna mostra a receita obtida pela venda dos resíduos e as cinco últimas colunas retratam os custos associados a abertura das centrais e o transporte dos resíduos na rede logística reversa. A listar em sequencia da nona até a décima terceira coluna: custo fixo de instalação das centrais de transbordo candidatas, custo de operação das centrais, custo de transporte dos terminais para as centrais (1ª camada), custo de transporte das centrais até as empresas receptoras (2ª camada) e, por fim, o custo total obtido pela somatória dos custos citados anteriormente.

Tabela 10: Resultados para os diferentes cenários

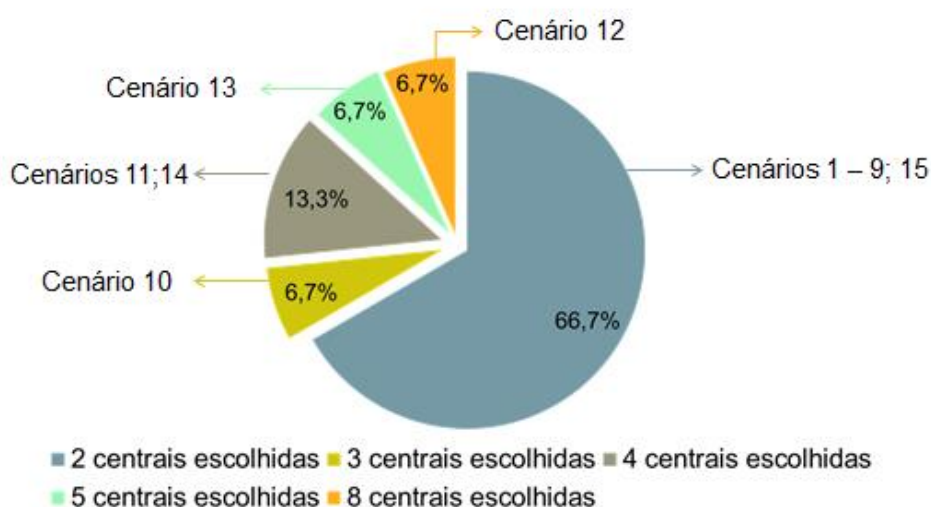
Cenário	Tempo de processamento	GAP	Capacidade dos caminhões	Nº de centrais de transbordo disponíveis	Centrais de transbordo (CT) abertas	Resultado Financeiro (Receita - Custo)	Receita	Custos				
								Custo fixo de instalação	Custo de operação	Custo de transporte (1ª camada)	Custo de transporte (2ª camada)	Custo TOTAL
	(min)	(%)	(t)	(unidade)	(unidade)	(R\$/semana)	(R\$/semana)	(R\$/semana)	(R\$/semana)	(R\$/semana)	(R\$/semana)	(R\$/semana)
1	5.75	0.00	16	8	2 (CT 3 e 7)	196.141	260.701	4.364	12.983	7.121	40.092	64.560
2	0.23	0.00	16	4	2 (CT 5 e 7)	178.033	260.513	6.294	16.413	25.667	34.106	82.480
3	3.08	0.00	27.5	8	2 (CT 3 e 7)	188.476	260.682	4.364	12.983	8.690	46.169	72.206
4	0.62	0.00	27.5	4	2 (CT 5 e 7)	170.495	260.823	6.294	16.413	29.540	38.081	90.328
5	2.67	0.00	40	8	2 (CT 3 e 7)	178.677	261.924	4.364	12.983	13.458	52.443	83.247
6	0.18	0.00	40	4	2 (CT 5 e 7)	161.031	261.698	6.294	16.413	33.816	44.145	100.668
7	1.50	0.00	16	8	2 (CT 3 e 7)	190.684	260.701	9.820	12.983	7.121	40.092	70.016
8	1.37	0.00	16	8	2 (CT 3 e 7)	185.228	260.701	15.276	12.983	7.121	40.092	75.473
9	1.30	0.00	16	8	2 (CT 5 e 7)	177.981	260.461	6.294	16.413	25.667	34.106	82.480
10	10.70	0.00	16	8	3 (CT 2, 5 e 7)	197.013	260.416	9.139	8.207	9.872	36.185	63.403
11	157.10	0.00	16	8	4 (CT 2, 5, 7 e 8)	197.993	260.623	6.302	6.376	18.159	31.793	62.630
12	143.27	0.00	16	8	8 (todas as CT)	194.207	260.898	9.744	6.376	19.568	31.004	66.691
13	58.30	0.00	16	8	5 (CT 2, 3, 5, 7 e 8)	271.651	348.532	10.527	7.970	21.067	37.317	76.881
14	145.51	0.00	16	8	4 (CT 2, 5, 6 e 7)	268.569	348.438	9.993	10.942	19.708	39.226	79.869
15	2.10	0.00	16	8	2 (CT 3 e 7)	263.185	348.156	15.276	12.983	8.325	48.388	84.972

Fonte: Elaborado pela autora.

Nota-se pelos dados da Tabela 10 que para 100,0% dos cenários foi possível obter GAP de 0,0%. Trata-se de um resultado bastante satisfatório, principalmente, ao perceber que, em média, os resultados foram obtidos com 35,6 minutos. Sendo o tempo de processamento mais longo o do Cenário 11 com 157,10 minutos. Já o cenário com resolução mais ágil, Cenário 6, teve tempo de resolução de somente 0,18 minutos. Ou seja, o modelo fornece soluções ótimas em um curto intervalo de tempo.

Além disso, na maior parte dos cenários, 66,7% deles, apenas duas centrais de transbordo foram abertas (Figura 31). Em apenas um cenário, Cenário 10, houve a abertura de três centrais. Em dois cenários, 11 e 14, esse número subiu para quatro. Já a alocação de cinco centrais foi observada em apenas um cenário, o de número 13. Por fim, a abertura de todas as centrais de transbordo ocorreu no Cenário 12, visto que tais instalações tiveram suas capacidades reduzidas de tal forma que para todo o resíduo gerado ser armazenado, obrigatoriamente, todas as oito centrais seriam necessárias. Notou-se ainda que a Central de Transbordo 7, localizada nas proximidades do porto de Itaguaí, foi alocada em todos os cenários, pois além de possuir um posicionamento estratégico em relação a este porto, mais próxima dentre todas as oito centrais disponíveis, ainda possuía o segundo menor custo de instalação dentre as centrais que estavam nas proximidades de Itaguaí.

Figura 31: Quantificação de centrais de transbordo escolhidas

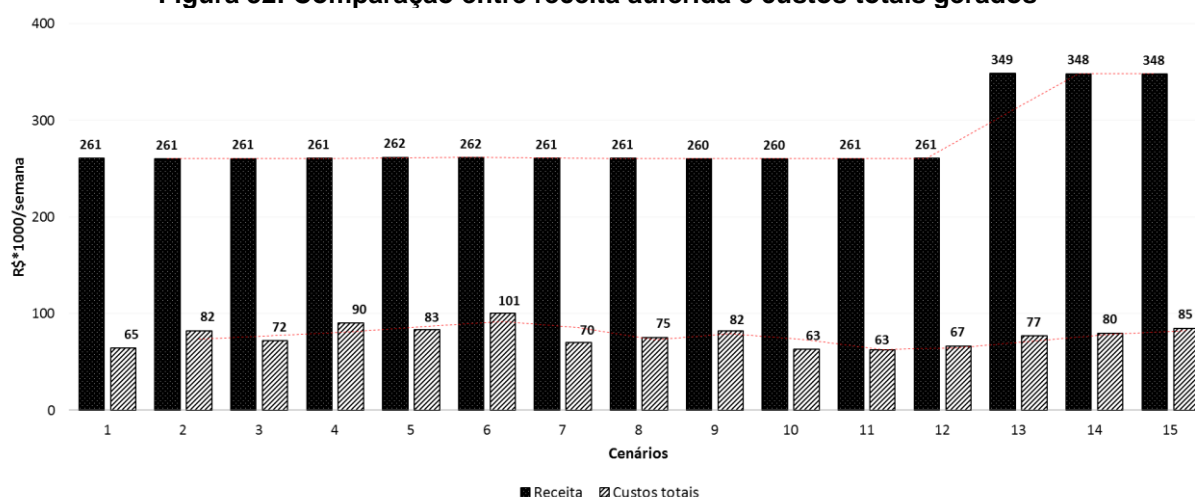


Fonte: Elaborado pela autora.

Por fim, a quantidade de centrais abertas e quais especificamente foram alocadas também variou conforme a existência ou não das centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro, de acordo com o seu distanciamento em relação aos terminais e às empresas receptoras, conforme a inclusão ou não do custo de oportunidade e, também, de acordo com a capacidade estipulada para cada uma das centrais. O detalhamento de cada um desses fatores será realizado nas Seções 6.1.1 a 6.1.15.

Para todos os cenários analisados o resultado financeiro obteve um valor de receita maior que o valor de custos, demonstrando que a receita auferida pela venda dos resíduos recicláveis superou os custos de instalação e operação das centrais, em conjunto com os custos de transporte, conforme se nota no gráfico da Figura 32. Tal análise é extremamente relevante, pois comprova que a venda de resíduos para reciclagem é sim uma alternativa viável do ponto de vista econômico e não apenas do ponto de vista legal, ambiental e social. A Figura 32 demonstra ainda que o valor da receita manteve-se praticamente estável em todos os cenários, enquanto os custos oscilaram consideravelmente, sendo a diferença máxima de 61%. Ressalta-se que os últimos três cenários possuem valores maiores de receitas e custos, pois neles foi realizada uma projeção de aumento de geração de resíduos, de acordo com a Seção 3.4.

Figura 32: Comparação entre receita auferida e custos totais gerados

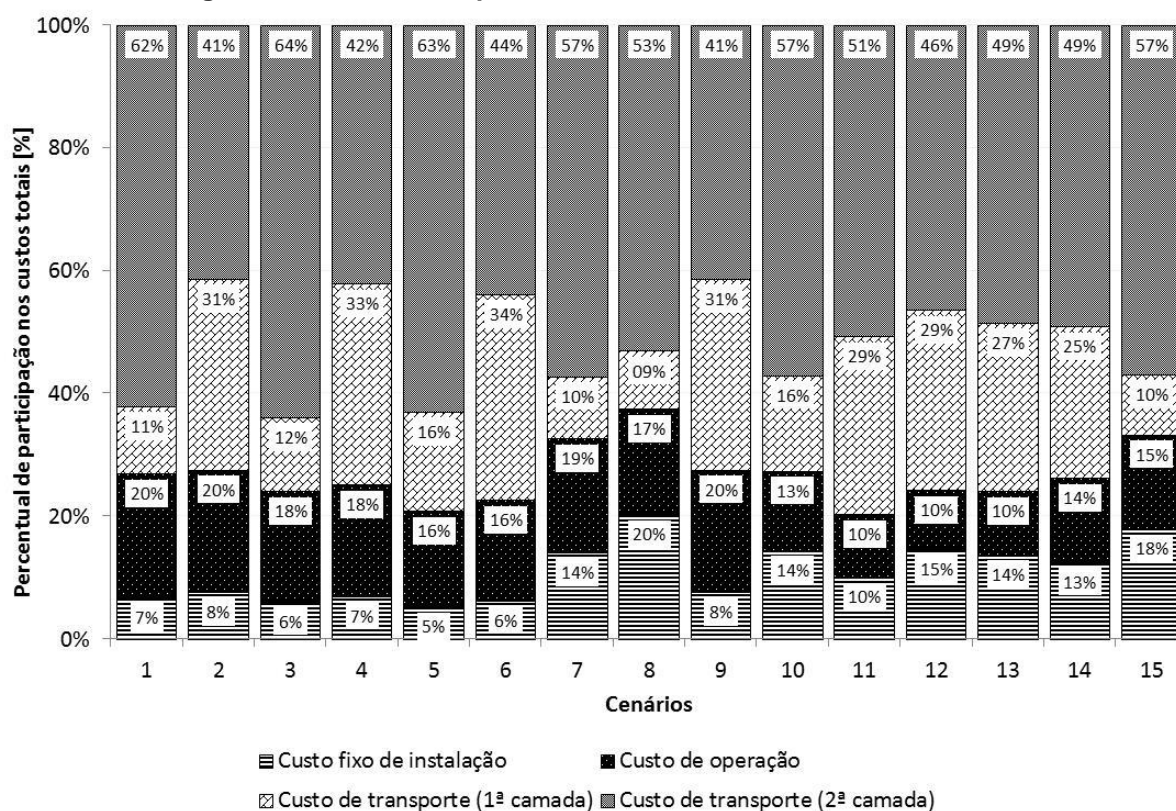


Fonte: Elaborado pela autora.

Dentre os custos contabilizados neste modelo e que estão totalizados na Figura 32, os mais impactantes foram os de transporte, conforme pode ser visto no gráfico da

Figura 33, oscilando entre 63,0% a 80,0% do total, parcela esta bastante expressiva. Nota-se que ao retirar as centrais internas do porto do Rio de Janeiro (Cenários 2, 4 e 6), os custos de transporte da primeira camada (terminais para centrais de transbordo), tendem a aumentar, visto que a distância até as centrais se torna maior. No Cenário 1, por exemplo, os custos de transporte da primeira camada representavam 11% do total, já no Cenário 2, com a retirada das Centrais 1, 2, 3 e 4, esse valor subiu para 31%. Entretanto, os custos de transporte da segunda camada tendem a diminuir quando se alocam centrais externas. Ainda para os Cenários 1 e 2, por exemplo, a representatividade dos custos de transporte da segunda camada passou de 62% para 41%. Ou seja, há um balanceamento natural do modelo, que pode ser justificado pelo fato de que as centrais passam a já estar localizadas fora do porto e mais próximas às receptoras. Entende-se, portanto, que não necessariamente a instalação das centrais de transbordo no interior dos portos seja a única alternativa viável para essa rede logística reversa. O gestor deve mensurar com cautela as diferentes opções, incluindo os demais custos e também análises qualitativas, a fim de realizar a escolha mais adequada.

Figura 33: Gráfico de representatividade de cada um dos custos



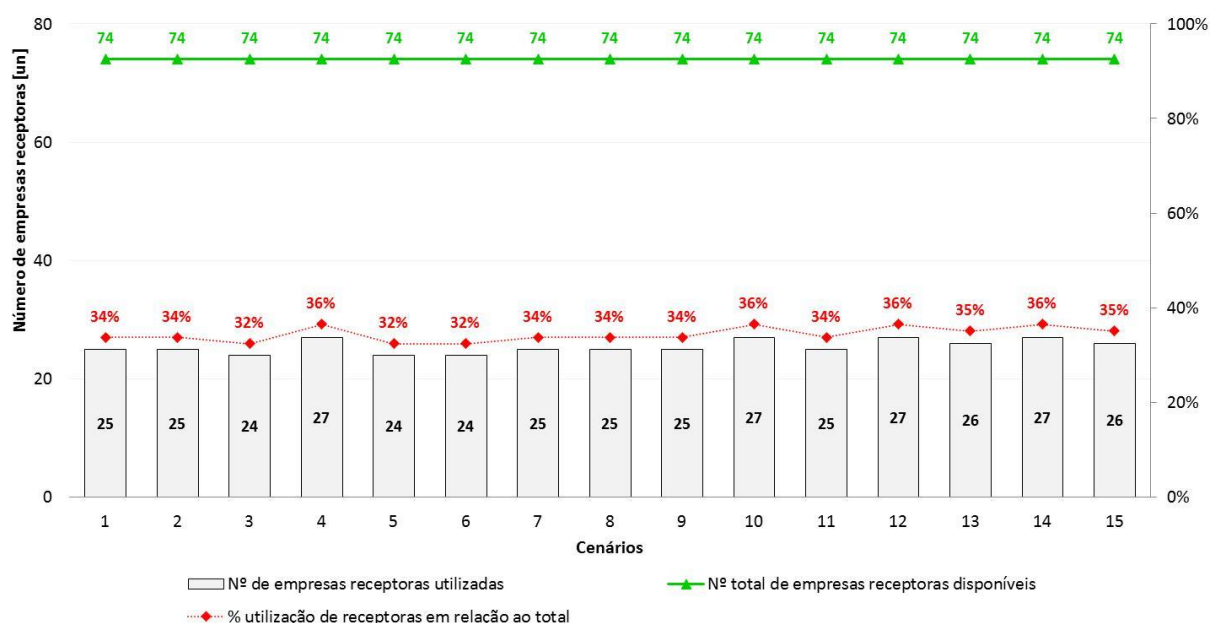
Fonte: Elaborado pela autora.

Ademais, no que tange os custos de transporte, nota-se pelos resultados dos Cenários 3, 4, 5 e 6, expostos na Tabela 10, que quantitativamente, a contratação de caminhões com maior capacidade não torna o custo de transporte mais barato, mesmo sabendo que o valor R\$/(km.t) para caminhões maiores é menor que para caminhões menores, conforme especificado na Seção 5.7. Esse fato é explicado pelo ajuste que o modelo realiza forçando o pagamento de um caminhão cheio mesmo que ele esteja trafegando com capacidade incompleta. Percebe-se ainda um maior índice de caminhões com percentual de ocupação baixo quando se faz uso de veículos com 40,0 toneladas devido à vasta capacidade disponível e que nem sempre é necessária.

Ainda sobre o gráfico da Figura 33, a parcela percentual de representatividade do custo fixo de instalação, para os Cenários de 1 a 6, se mostrou inferior ao de operação. Em contrapartida, nos cenários posteriores a estes, nota-se que os dois custos passam a ter maior equilíbrio, tendo uma menor variação entre eles. Esse comportamento é explicado pela inserção do custo de oportunidade nas centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro, o que culminou em um custo fixo de instalação maior e, conseqüentemente, reduziu a disparidade entre os custos fixos destas centrais para as demais localizadas fora do porto. No que concerne os custos de operação, eles mantiveram uma média de 15,7% de participação em relação aos custos totais.

Outra análise geral que pôde ser realizada se refere ao número de empresas receptoras as quais o modelo decidiu por enviar resíduos. O valor oscilou entre 24 a 27 empresas de um total de 74 disponíveis, conforme Figura 34. Isso representa, em média, 34,4% do total, ou seja, um valor baixo, mostrando, assim, que grande parte do negócio fica concentrada em um número restrito de empresas. Essas receptoras possuem preços mais competitivos, localização privilegiada em relação às centrais de transbordo e, principalmente, capacidade de recepção de uma gama maior de tipos de resíduos, inclusive resíduos extremamente específicos, viabilizando assim a parceria e a ida do caminhão até essas facilidades.

Figura 34: Utilização das empresas receptoras para cada um dos cenários

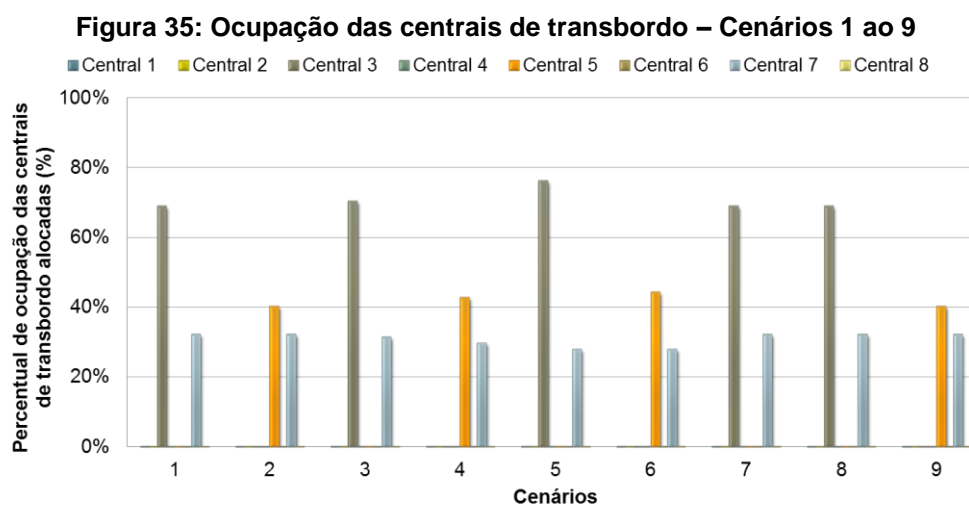


Fonte: Elaborado pela autora.

Ainda no que se refere à utilização das empresas receptoras, nos tópicos seguintes esse aspecto será elucidado e confirmado por meio de gráficos de Pareto contabilizando o total de resíduo recebido por cada uma das receptoras e o percentual acumulado desse total em relação às receptoras.

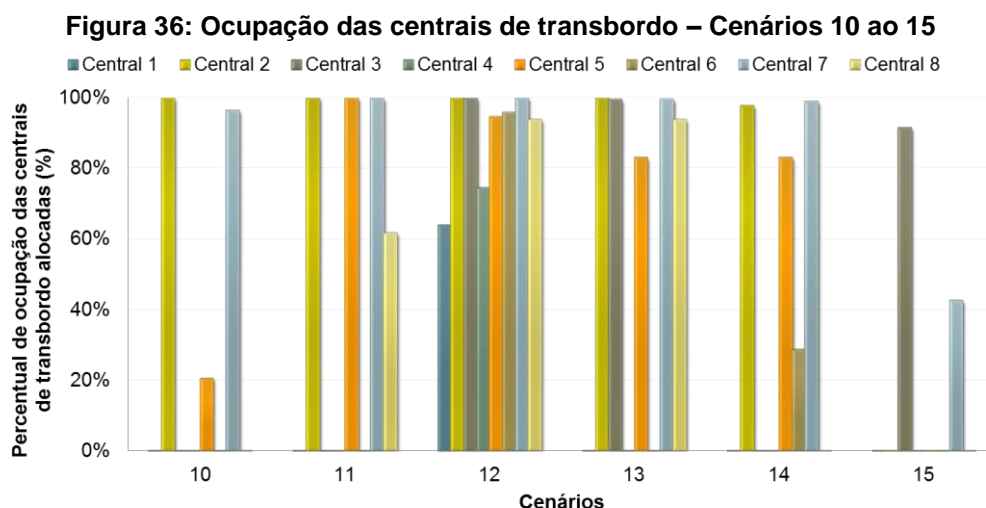
Por fim, no que diz respeito à ocupação das centrais de transbordo alocadas, ou seja, o quanto do total da capacidade disponível que foi efetivamente utilizada, pode-se dizer que a média de ocupação foi de 69,0%, considerando apenas as centrais alocadas em cada um dos cenários. Especificamente, nos Cenários de 1 a 9 (Figura 35), onde a capacidade das centrais era variada e maior, conforme Seção 5.5, a ocupação obteve um valor médio de 44,0%. A priori, tende-se a considerar um valor baixo, pois as facilidades que foram abertas ficaram, em maior parte, ociosas. Tal fato, em termos de estratégia de gestão, representa um aspecto negativo, visto que há um custo para manter essa ociosidade das instalações. Entretanto, conforme estudo de Matavel (2015), é interessante que, no dimensionamento das centrais de transbordo, exista uma determinada folga de maneira a garantir a sua conveniência para um longo período de tempo, levando em consideração, as projeções de crescimento de movimentação de carga e, conseqüentemente, de aumento de geração de resíduos, além das projeções de crescimento da população e do desenvolvimento da economia e mercados. Por conta disso, o dimensionamento das

centrais é sempre projetado para uma margem de utilização maior do que a realidade atual.



Fonte: Elaborado pela autora.

Em contrapartida, observa-se que dos Cenários 10 ao 14, conforme Figura 36, a ocupação manteve um percentual claramente maior, isso porque nestes cenários a capacidade das centrais foi intencionalmente reduzida, visto que detectou-se, conforme relatado anteriormente, que havia uma certa ociosidade nos cenários anteriores. Assim, para esses cenários, nos quais a capacidade das centrais oscilava entre 500,0, 300,0 e 150,0 toneladas, a ocupação média das centrais subiu para 87,0%. Por fim, no Cenário 15, a média de ocupação foi de 67,0%, isso porque as centrais possuíam capacidades maiores como às dos cenários iniciais, entretanto, a quantidade de resíduos gerados era maior.



Fonte: Elaborado pela autora.

Nas seções que se seguem, discutem-se os resultados de forma específica para cada um dos cenários criados.

6.1 RESULTADOS DOS CENÁRIOS

As seções a seguir descrevem os resultados obtidos em cada um dos quinze cenários.

6.1.1 Cenário 1

O Cenário 1 retrata o cenário atual dos portos do Rio de Janeiro e Itaguaí, além de manter as oito centrais de transbordo disponíveis e caminhões com 16 toneladas de capacidade. Ressalta-se ainda que as capacidades estabelecidas para cada uma das centrais é baseada nos estudos do IVIG/ UFRJ, conforme descrito no tópico 3.4 e 5.5. Após a execução do cenário, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 37) e mantiveram-se, respectivamente, com 69% e 32% de ocupação. A primeira instalada dentro do porto do Rio de Janeiro e a Central 7 localizada próxima ao porto de Itaguaí. Tal fato demonstra a tendência do modelo em instalar centrais localizadas próximas às áreas a serem atendidas, pois isso representa um menor custo de transporte durante a movimentação de resíduos dos terminais para as centrais. Além disso, a Central 3 possuía o menor custo fixo de instalação dentre as oito centrais candidatas. Já a Central 7 possuía o segundo menor custo fixo de instalação dentre as centrais próximas ao porto de Itaguaí, mas em relação às demais era a mais próxima, o que culminava em um custo de transporte menor, mesmo havendo um custo de instalação 16% maior em relação a Central 6. Quanto aos custos de operação, o modelo optou por escolher os dois menores valores.

Figura 37: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 1



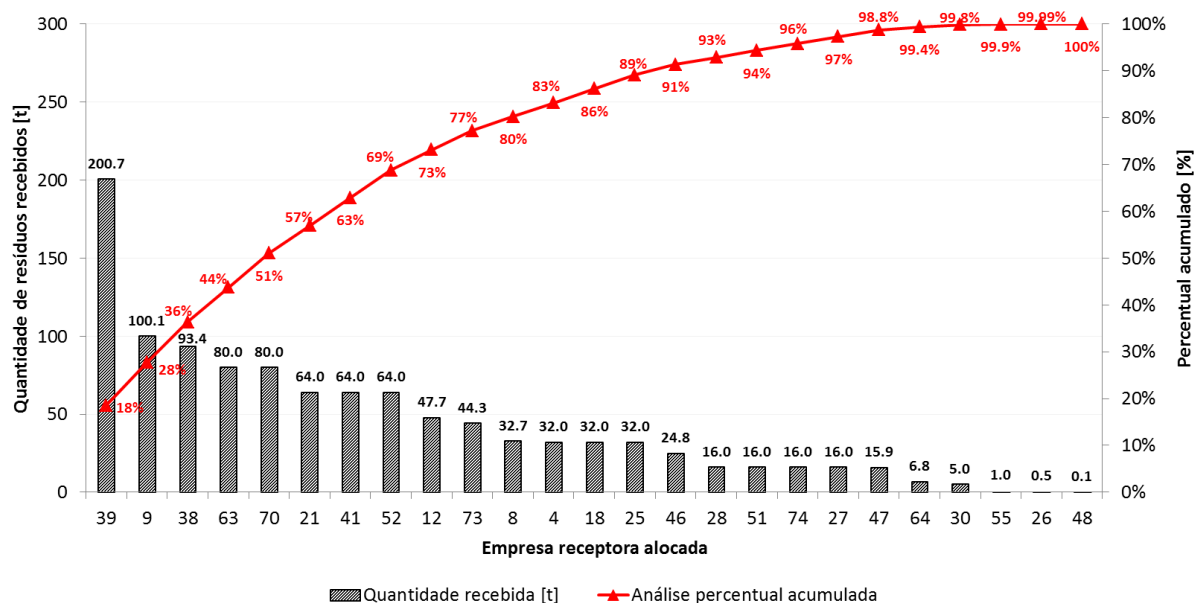
Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

Ainda sobre as centrais de transbordo alocadas, a média de ocupação foi de 51%. A priori, tende-se a considerar um valor baixo, pois as facilidades ficaram ociosas, o que em termos de estratégia de gestão, representa um aspecto negativo, visto que há um custo para se manter a capacidade ociosa dessas centrais. Entretanto, considerando que estas instalações tem tempo de vida útil de, aproximadamente, 10 anos, e que há possibilidade da quantidade de resíduos aumentar ao longo dos anos, então, torna-se admissível manter esse percentual não tão elevado.

Conforme Figura 38, o Cenário 1 utilizou 25 das 74 empresas receptoras disponíveis. Ou seja, apenas 33,8% do total disponível. Ainda é possível notar que 77,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras, o que sinaliza que o modelo tende a centralizar o processo de destinação dos resíduos em uma quantidade restrita de empresas. A escolha constante desse pequeno número de receptoras em todos os cenários apresentados está diretamente relacionada aos preços mais competitivos de algumas delas, a localização estratégica em relação às centrais de transbordo, pois menores distâncias resultam em um menor custo de transporte e, principalmente, a capacidade de recepção de uma gama maior de tipos de resíduos, viabilizando assim o frete do caminhão. A empresa 39, por exemplo, possui capacidade para receber 22 tipos diferentes de resíduos (Apêndice A), uma quantidade razoavelmente elevada, quando comparada as demais.

Ainda sobre a empresa receptora 39, esta recebeu a maior quantidade de resíduos dentre as demais, no total, 200,7 toneladas (Figura 38). Essa mesma empresa se manteve como a principal receptora em todos os demais cenários desta dissertação. Um aspecto primordial para este fato, além dos citados anteriormente, relaciona-se a aptidão que ela possui para atendimento de um resíduo extremamente específico que só é recebido por quatro empresas receptoras, conforme banco de dados do IVIG. Trata-se do resíduo de correia transportadora que é gerado em grande quantidade pelos terminais do porto de Itaguaí. Ao contrário das outras três receptoras, a 39 está instalada nas proximidades deste porto, facilitando e justificando a centralização de recepção nela.

Figura 38: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 1



Fonte: Elaborado pela autora.

Salienta-se, dessa maneira, que as empresas receptoras que detêm uma menor quantidade de resíduos para tratamento, ainda assim, são extremamente relevantes. Pois conforme explicado na Seção 5.8 cada uma das receptoras trata de um determinado conjunto de tipos de resíduos diferentes. Ou seja, não necessariamente todas as empresas receptoras podem receber resíduos de lâmpadas fluorescentes, por exemplo. Sendo assim, resíduos mais específicos, possuem uma gama menor de empresas receptoras que podem oferecer o atendimento. Por conta disso, a restrição de um número muito pequeno de receptoras, tal como em casos de

licitação, torna-se uma atividade complexa. Cenários foram testados, nos quais um número mínimo de receptoras manteve-se disponível, entre 10 a 15 delas, conforme os gráficos de Pareto demonstraram. Entretanto, não houve sucesso em nenhum dos testes, visto que não existiam receptoras aptas para recebimento de todos os 61 tipos específicos de resíduos. Assim, pode-se concluir que para casos nos quais se faz necessária implantação de licitações com menor número de receptoras, é preciso não apenas a análise dos preços, distâncias, capacidade, mas também da especialização da receptora para certo tipo de resíduo a ser recebido, ou seja, a busca por empresas receptoras multiprodutos torna-se indispensável.

6.1.2 Cenário 2

O Cenário 2 é semelhante ao Cenário 1, nele os caminhões também possuem 16 toneladas, a quantidade de resíduos gerados é a mesma, assim como a capacidade das centrais de transbordo. Entretanto, nesse cenário, tal como nos Cenário 4 e 6, as centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro, Centrais 1, 2, 3 e 4, foram retiradas. A proposição da retirada destas centrais, conforme explicado na Seção 3.4, deu-se por conta do menor custo de instalação das mesmas, fato este que gerava uma sucessiva escolha destas centrais em todos os cenários testes. O valor reduzido do custo de instalação destas centrais se deu por conta da não inclusão do custo de compra do terreno, visto que tais centrais se encontram em áreas portuárias. Essa problemática será trabalhada e melhor explicada nos Cenários 7, 8 e 9.

Após a execução do Cenário 2, as Centrais 5 e 7 foram escolhidas e mantiveram-se, respectivamente, com 40% e 32% de ocupação. A primeira instalada nas proximidades do porto do Rio de Janeiro e a Central 7 localizada próxima ao porto de Itaguaí (Figura 39). Tal fato demonstra novamente a tendência do modelo em instalar centrais localizadas em meio às áreas a serem atendidas, pois isso que representa um menor custo de transporte durante a movimentação de resíduos dos terminais para as centrais.

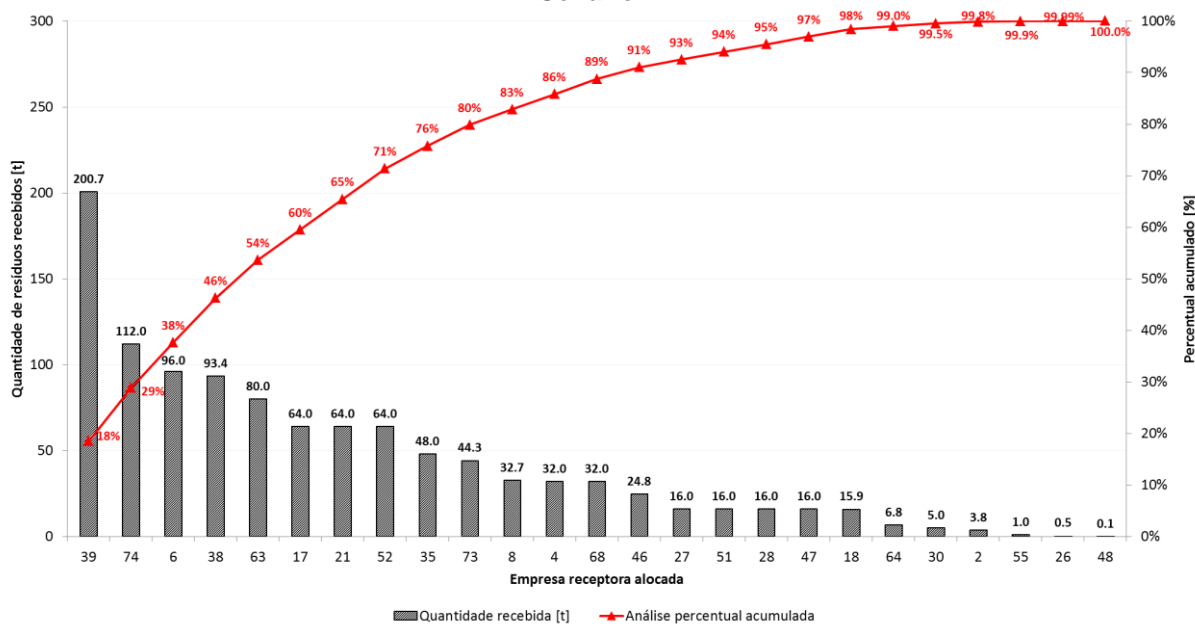
Figura 39: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 2



Fonte: Adaptado de Google Maps.

Conforme Figura 40, o Cenário 2, assim como o Cenário 1, utilizou 25 das 74 empresas receptoras disponíveis. Ou seja, apenas 33,8% do total de empresas disponíveis. Ainda é possível notar que 80% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 empresas, um percentual ainda maior que o do Cenário 1. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, assim como no cenário anterior, ao todo foram 200,7 toneladas.

Figura 40: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 2



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.3 Cenário 3

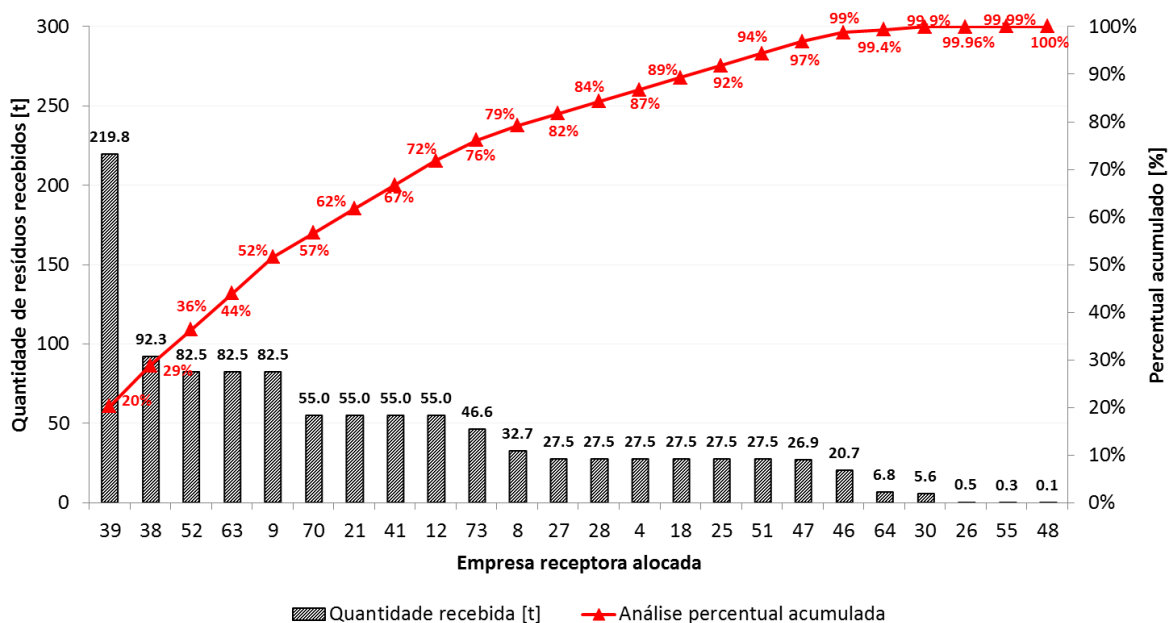
Após a execução do Cenário 3, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 41) e mantiveram-se, respectivamente, com 70% e 31% de ocupação. A diferença entre os níveis de ocupação pode ser explicada pelo fato de que a Central 3 recebeu resíduos vindos de oito terminais, em contrapartida, a Central 7 atendeu apenas os três terminais do porto de Itaguaí. As centrais alocadas foram as mesmas do Cenário 1, no qual também estavam disponíveis as oito centrais de transbordo, havendo como diferença apenas a capacidade dos caminhões. Mais uma vez, o modelo optou por uma central localizada dentro do porto.



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

Conforme Figura 42, o Cenário 3, utilizou uma empresa receptora a menos que os dois cenários anteriores. No total, 24 empresas receptoras, das 74 empresas disponíveis, ou seja, 32,4%, receberam diferentes tipos de resíduos das centrais de transbordo. Ainda é possível notar que 76,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 empresas. A empresa que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, mas o valor recebido foi maior que o dos dois cenários anteriores, ao todo 219,8 toneladas de resíduos foram a ela encaminhados.

Figura 42: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 3



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.4 Cenário 4

Após a execução do Cenário 4, as Centrais 5 e 7 (Figura 43) foram alocadas, assim como no Cenário 2 onde também havia a exclusão das centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro. A Central 5 obteve 43% de ocupação, já a Central 7, 30%, valores bem próximos aos do Cenário 2.

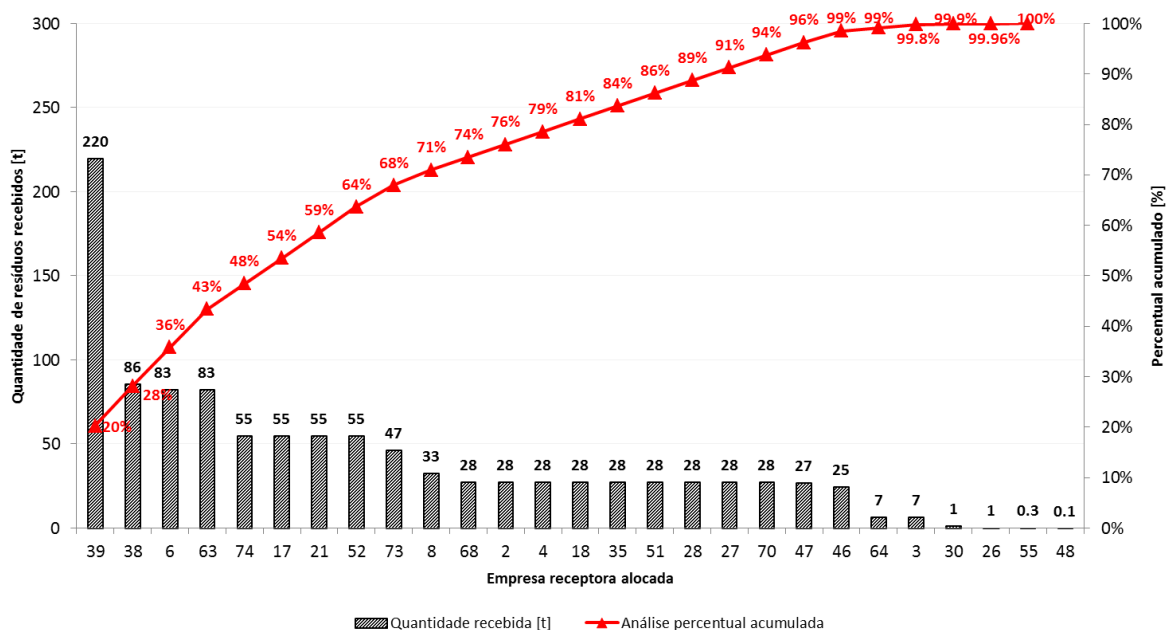
Figura 43: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 4



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

No Cenário 4, 27 empresas receptoras das 74 disponíveis (Figura 44) receberam resíduos das Centrais 5 e 7, ou seja, 36,5% do total. Maior percentual observado até o momento. Ainda é possível notar que 71,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39.

Figura 44: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 4



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.5 Cenário 5

Após a execução do Cenário 5, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 45). Essa escolha foi a mesma do Cenário 1 e também do Cenário 3, nos quais estavam disponíveis as oito centrais de transbordo, havendo como diferença apenas a capacidade dos caminhões. A Central 3 obteve 76% de ocupação, já a Central 4, 28%, valores bem próximos aos do Cenário 3.

Figura 45: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 5

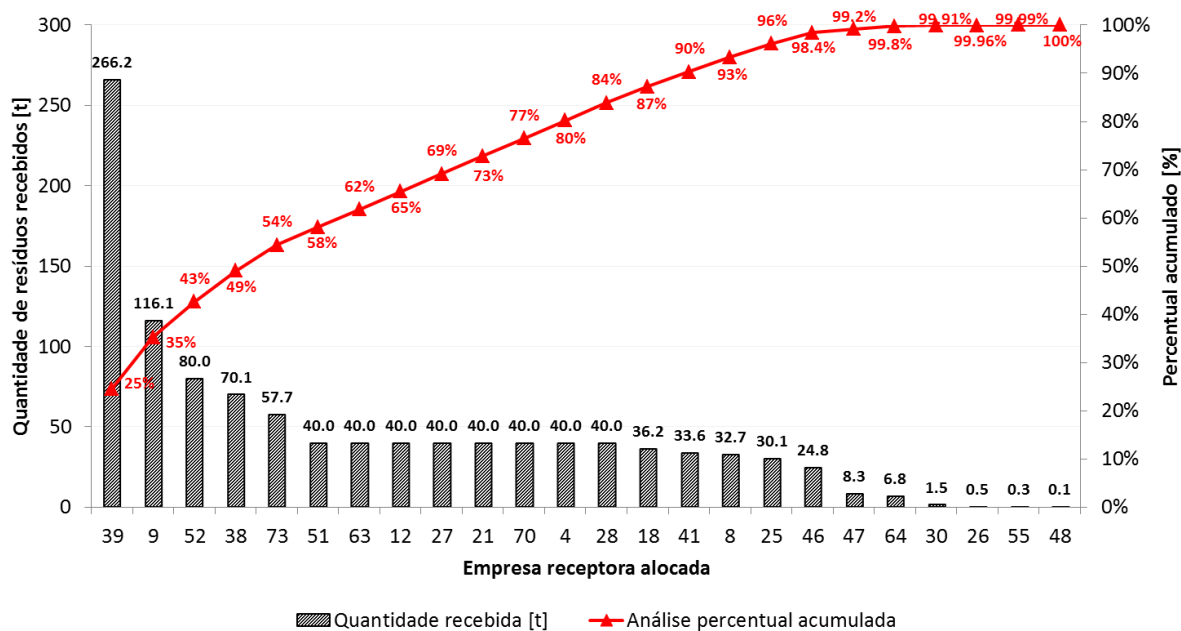


Fonte: Adaptado de Google Maps.

Essa diferenciação das taxas de ocupação, mencionada anteriormente, pode ser explicada pelo fato de que a Central 3 recebeu resíduos de todos os nove terminais, em contrapartida, a Central 7 recebeu resíduos apenas dos três terminais marítimos localizados no porto de Itaguai.

No que concerne às empresas receptoras, conforme Figura 46, o Cenário 5 utilizou 24 das 74 disponíveis, ou seja, 32,4 % do total. Ainda é possível notar que 73,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 empresas. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, sendo este valor o maior até o presente momento, ao todo 266,2 toneladas de resíduos foram encaminhados à Receptora 39.

Figura 46: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 5



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.6 Cenário 6

Após a execução do Cenário 6, as Centrais 5 e 7 foram alocadas (Figura 47), assim como no Cenário 2 e 4 onde também havia a exclusão das centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro. Nos três casos o percentual de ocupação das centrais permaneceu bem semelhante, sendo o Cenário 6 o que obteve maior ocupação para Central 5, 44%. Já a Central 7, teve 28% de ocupação. Enquanto a Central 5 recebeu resíduos de todos os nove terminais marítimos, a Central 7 recepcionou resíduos apenas dos três terminais do porto de Itaguaí, localizados próximos a ela.

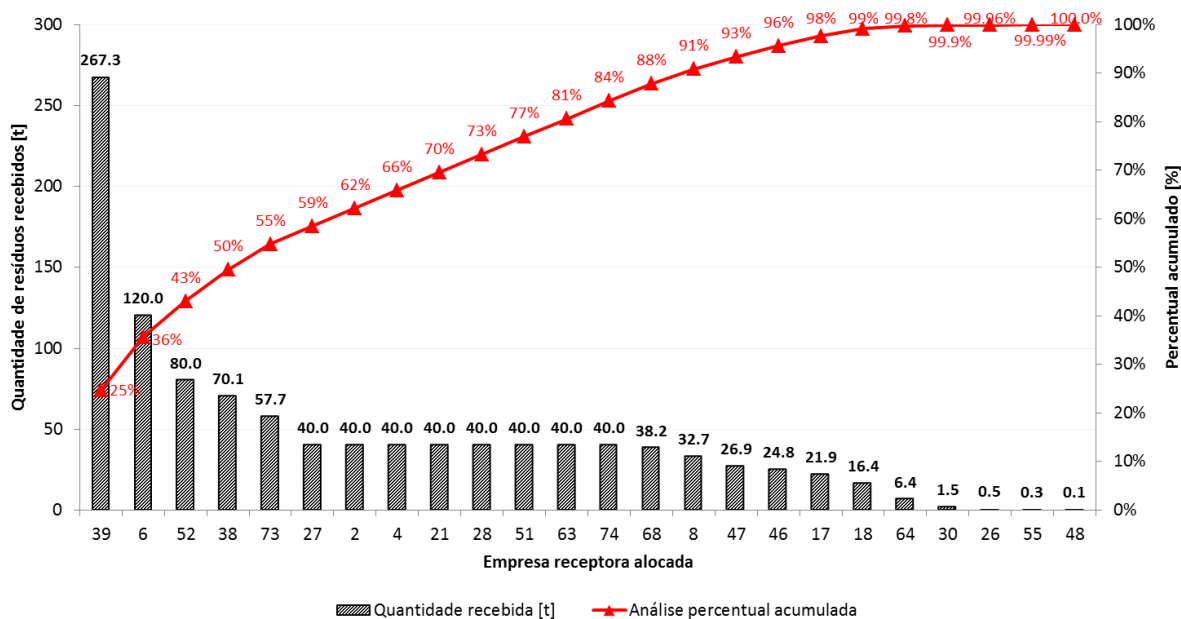
Figura 47: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 6



Fonte: Adaptado de Google Maps.

Conforme Figura 48, no Cenário 6, 24 empresas receptoras, das 74 disponíveis, ou seja, 32,4%, receberam diferentes tipos de resíduos das Centrais de Transbordo 5 e 7. Ainda é possível notar que 73,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 empresas. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, sendo este valor foi ainda maior que o do cenário anterior, ao todo 267,3 toneladas de resíduos foram encaminhados à Receptora 39.

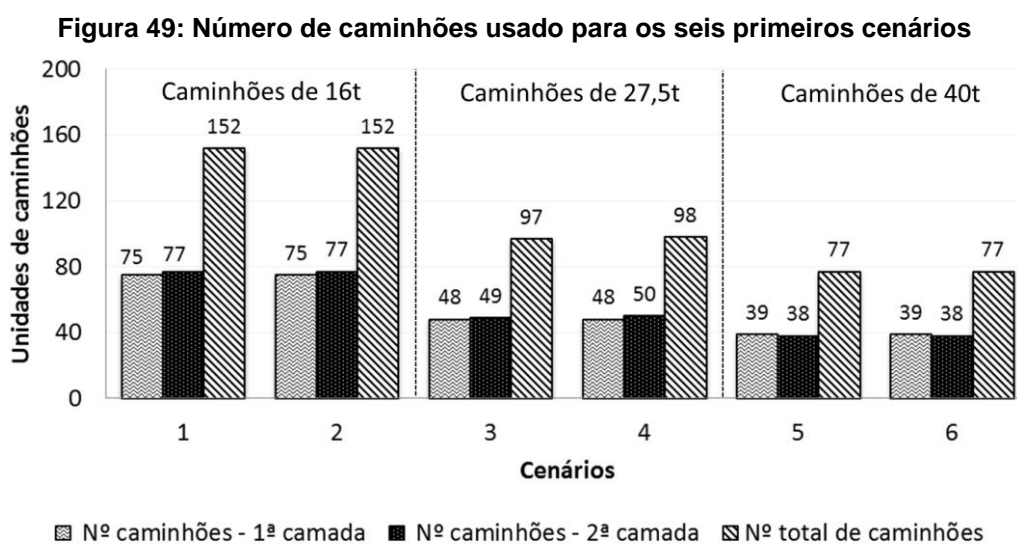
Figura 48: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 6



Fonte: Elaborado pela autora.

O Cenário 6 foi o detentor do maior custo de transporte dentre todos os demais cenários, ao todo R\$77.960,50/semana (Tabela 10). Tal fato pode ser explicado pelo uso de caminhões maiores, 40 toneladas, além da alocação da Central 5 que permanece em uma localização não tão estratégica quanto a Central 3, escolhida no cenário anterior e não disponível neste. Ademais, este cenário obteve ainda o maior custo total, R\$100.668/semana, devido ao alto custo de transporte relatado anteriormente.

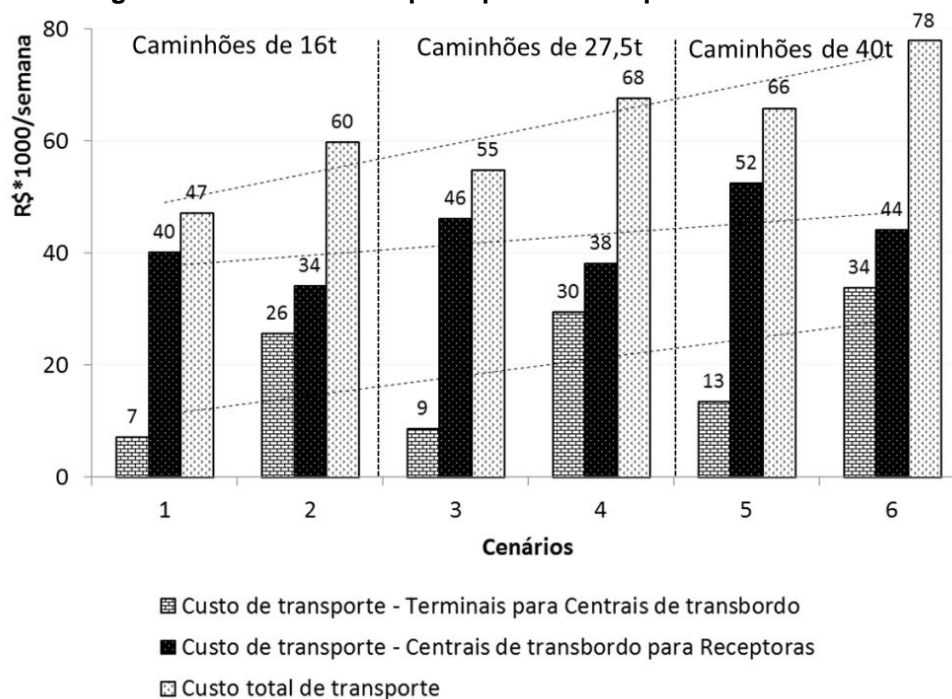
Ao final da análise dos seis primeiros cenários (Grupo I, conforme Seção 3.4) algumas considerações importantes foram obtidas e elas serão úteis para o entendimento dos cenários propostos adiante. A primeira delas faz referência ao tamanho dos caminhões envolvidos. Notou-se que para esse tipo de atividade, ou seja, o transporte de diferentes tipos de resíduos, caminhões menores, no caso, os de 16,0 toneladas, resultam em menor custo de transporte do que os maiores, de 27,5 ou 40,0 toneladas de capacidade, mesmo havendo uso de um número maior de caminhões (Figura 49 e Figura 49). Nos cenários 1 e 2 foram utilizados caminhões com 16,0 toneladas. Nos cenários 3 e 4, 27,5 toneladas, já nos cenários 5 e 6, caminhões de 40,0 toneladas.



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 50 ilustra a tendência crescente dos custos à medida que o tamanho dos caminhões aumenta, mesmo mantendo a quantidade total de resíduos constante nos seis cenários.

Figura 50: Custo de transporte para os seis primeiros cenários



Fonte: Elaborado pela autora.

Tal fato é justificado por conta da premissa, explicada na Seção 5.7, de que independente do caminhão estar ou não integralmente carregado, haverá a necessidade de pagamento do valor integral. Assim, mesmo o valor de frete R\$/(km.t) do caminhão maior ser menor que o de 16,0 toneladas quando engloba-se tal premissa o custo tende a ficar maior, pois o valor do frete será multiplicado pela capacidade total do veículo, mesmo havendo ocupação inferior a 100,0%. Aliado a isso, notou-se a ocorrência de baixos índices de ocupação dos caminhões de 27,5 e 40,0 toneladas, já que a capacidade é muito elevada. Ademais, ao analisar qualitativamente, o uso de caminhões pequenos facilita o transporte dentro de áreas municipais que muitas vezes possuem restrições quanto ao tamanho e peso dos veículos em determinadas vias e horários. Sendo assim, optou-se por, deste ponto adiante, modelar todos os cenários utilizando sempre caminhões de 16,0 toneladas.

Outro ponto a destacar, refere-se à escolha em todos os cenários anteriores de pelo menos uma central localizada no interior do porto do Rio de Janeiro, quando estas estavam disponíveis. Ou seja, para os Cenários 1, 3 e 5, a Central 3 sempre foi escolhida. Conforme explicado anteriormente, na Seção 5.6, tais centrais possuem menor custo de instalação, visto que não há o pagamento do custo do terreno em

áreas portuárias. Assim, o custo final de instalação para essas centrais ficou relativamente baixo em relação ao custo das demais centrais localizadas fora do ambiente portuário, principalmente a Central 3. Essa central além de estar no interior do porto do Rio de Janeiro, ainda possui a menor área dentre as oito candidatas, fato que reduz ainda mais seu custo. Com isso, acaba sendo prioritária a alocação das Centrais 1, 2, 3 e 4 em detrimento às demais. Ao final das execuções, notou-se que a retirada das Centrais 1, 2, 3 e 4 ocasiona um aumento de, em média, 44% nos custos fixos de instalação, mas não impacta tão fortemente nos valores dos resultados financeiros, havendo uma queda de cerca de 9,55%. Sendo assim, cabe ao gestor contabilizar suas perdas de negócio, juntamente a outros custos e análises legais, ambientais e financeiras, e mensurar as compensações entre disponibilizar uma área do porto, que costumam ser escassas e estratégicas, para instalar tais facilidades ou alocar uma área externa ao porto. Ressalta-se, entretanto, que para todos os cenários a receita manteve-se maior que os custos, demonstrando se tratar de uma alternativa viável, independente do posicionamento das centrais.

Para compreender melhor até que ponto a participação da compra do terreno interfere na escolha das centrais, optou-se por acrescer ao custo fixo de instalação das Centrais 1, 2, 3 e 4 uma parcela adicional referente ao custo de oportunidade, já que as áreas antes utilizadas para armazenagem de cargas a serem manuseadas pelo porto ou até mesmo áreas de estocagem agora irão dar espaço às centrais de transbordo. Esse custo foi apurado junto a operadores portuários, conforme comentado nas Seções 3.4 e 5.6, e a partir disso foram criados outros três cenários, Cenário 7, 8 e 9, variando esse valor em 25,0 R\$/m², 50,0 R\$/m² e 85,0 R\$/m², respectivamente. Os resultados dos três cenários são ilustrados a seguir.

6.1.7 Cenário 7

Após a execução do Cenário 7, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 51). Essa escolha foi a mesma dos Cenários 1, 3 e 5, nos quais também estavam disponíveis as oito centrais de transbordo, mas neles não havia o adicional do custo de oportunidade. Mais uma vez, o modelo optou por uma central localizada dentro do porto. As duas centrais alocadas, 3 e 7, obtiveram ocupação de, respectivamente,

69% e 32%. A Central 3 só não recebeu resíduos do terminal TECON SEPETIBA, localizado no porto de Itaguaí. Já a Central 7, que se manteve mais ociosa, recebeu resíduos apenas dos três terminais marítimos pertencentes ao porto de Itaguaí.

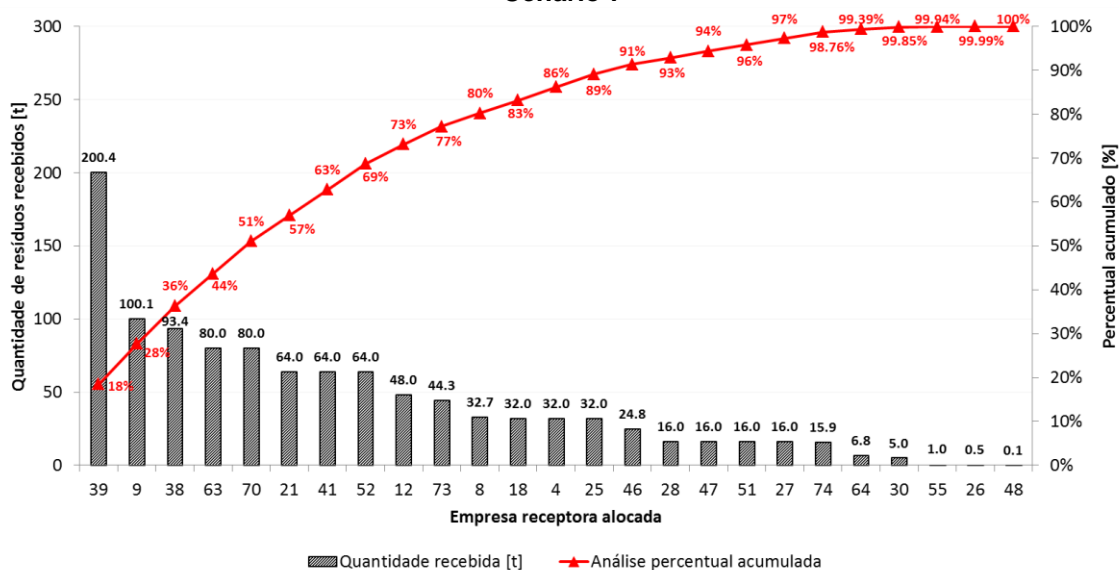
Figura 51: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 7



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

Conforme Figura 52, no Cenário 7, 25 empresas receptoras das 74 disponíveis receberam resíduos das centrais alocadas, ou seja, 33,8 % do total. Ainda é possível notar que 77,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, um total de 200,4 toneladas.

Figura 52: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 7



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.8 Cenário 8

Após a execução do Cenário 8, novamente, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 53). Essa escolha foi a mesma dos Cenários 1, 3, 5 e 7, nos quais também estavam disponíveis as oito centrais de transbordo, entretanto, nos três primeiros não havia o adicional do custo de oportunidade. Já no Cenário 7, havia o custo de oportunidade, mas de apenas 25,0 R\$/m², enquanto no Cenário 8 o valor usado foi de 50,0 R\$/m². Mais uma vez, o modelo optou por uma central localizada dentro do porto. As duas centrais alocadas, 3 e 7, obtiveram ocupação de, respectivamente, 69% e 32%, mesmo valor do cenário anterior.

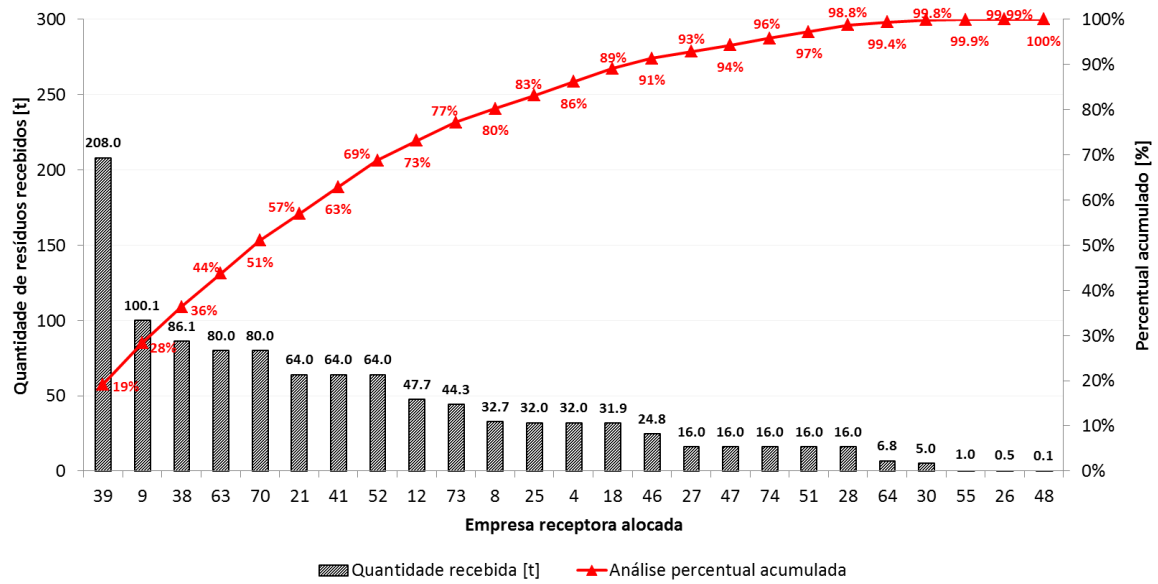
Figura 53: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 8



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

Conforme Figura 54, no Cenário 8, as duas centrais de transbordo alocadas enviaram resíduos à 25 empresas receptoras diferentes, mesmo valor do cenário anterior. Isso representa 33,8% do total de receptoras disponíveis. Ainda é possível notar que 77,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras, sendo a que recebeu a maior quantidade de resíduos novamente a empresa receptora 39. Ao todo, 208 toneladas de resíduos.

Figura 54: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 8



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.9 Cenário 9

Após a execução do Cenário 9, as Centrais 5 e 7 foram escolhidas (Figura 55), assim como no Cenário 2, 4, 6 onde havia a exclusão das centrais localizadas no interior do porto do Rio de Janeiro. O índice de ocupação destas centrais foi de, respectivamente, 40% e 32%.

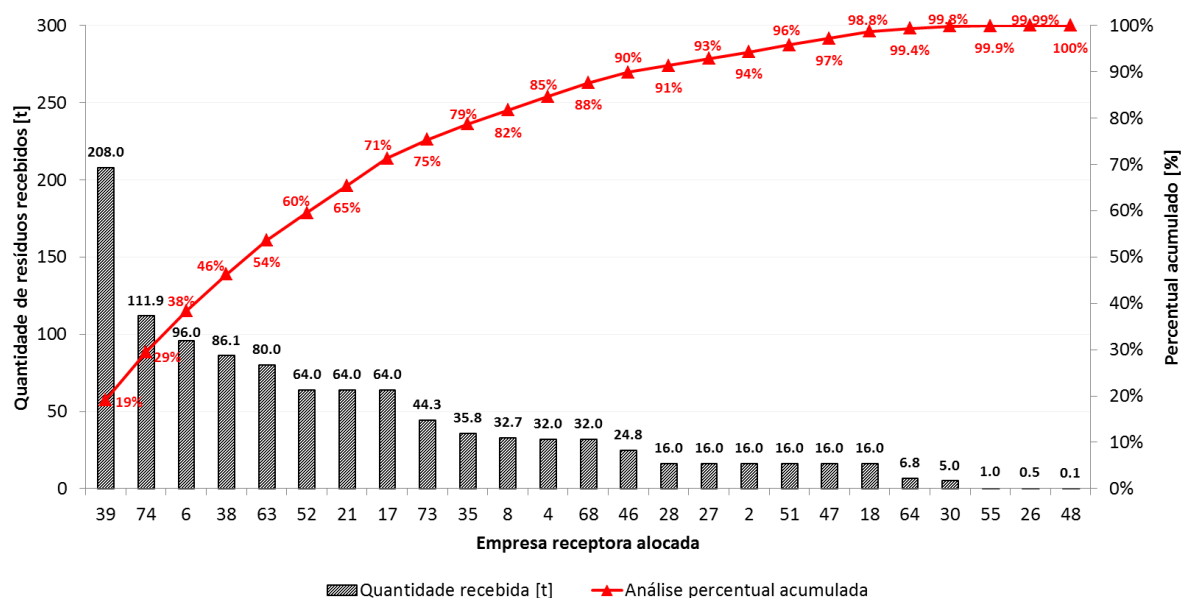
Figura 55: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 9



Fonte: Adaptado de Google Maps.

Conforme Figura 56, o Cenário 9 fez uso da mesma quantidade de receptoras que os dois cenários anteriores, foram 25 empresas das 74 disponíveis, ou seja, 33,8 % do total. Ainda é possível notar que 79,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras, maior percentual até o momento. A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, ao todo 208 toneladas de resíduos foram encaminhados para essa receptora.

Figura 56: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 9



Fonte: Elaborado pela autora.

Foi possível notar por meio das análises dos Cenários 7, 8 e 9 (Grupo II, conforme Seção 3.4) que o impacto e alteração na escolha das centrais internas ao porto do Rio de Janeiro só é relevante quando a parcela de custo de oportunidade acrescida ao custo fixo de instalação é igual ou superior a 85,0 R\$/m². Caso contrário, o modelo ainda opta por escolher as centrais adentradas ao porto, conforme Cenários 7 e 8. Ou seja, cabe ao gestor portuário realizar essa análise e avaliar qual das duas opções é menos onerosa para seu empreendimento.

Conforme visto nos cenários anteriores, as centrais de transbordo, quando alocadas, não possuem um nível de ocupação tão elevado, em média 44,0%, apenas. Tal fato gera um custo de instalação e operação maior, visto que as centrais possuem maior capacidade, sendo que esse custo adicional não é bem aproveitado. Assim, os três próximos cenários, Cenários 10, 11 e 12 (Grupo III, conforme Seção 3.4) consideram

uma redução da área e, conseqüentemente, da capacidade das centrais de transbordo de forma a obter um aumento na ocupação das centrais escolhidas pelo modelo. Para o Cenário 10, optou-se por utilizar a área de centrais obtida na literatura, de 500,0 m² (FERRI *et al.*, 2015). Para o Cenário 12, fez-se uso de um valor intermediário, entre o Cenário 11 e o 13, de 300,0 m². Por fim, para o Cenário 13, buscou-se a criação de centrais ainda menores, de tal forma que para suprir o total de resíduos gerados todas as oito precisariam ser alocadas, 150,0 m². Ressalta-se ainda que para esses cenários, utilizou-se o valor intermediário de custo de oportunidade, R\$50/m², específico de cargas de valor agregado médio, visto que a movimentação dos dois portos contempla, em geral, cargas como contêiner, siderúrgico, carro, apoio a petróleo, enfim, itens que envolvem valor agregado médio a alto.

6.1.10 Cenário 10

Após a execução do Cenário 10, as Centrais 2, 5 e 7 foram escolhidas (Figura 57), tendo uma ocupação de, respectivamente, 100%, 21% e 96%. Pode-se notar que por conta da diminuição das centrais para 500,0 m², a ocupação tornou-se maior e a ociosidade, conseqüentemente, menor.

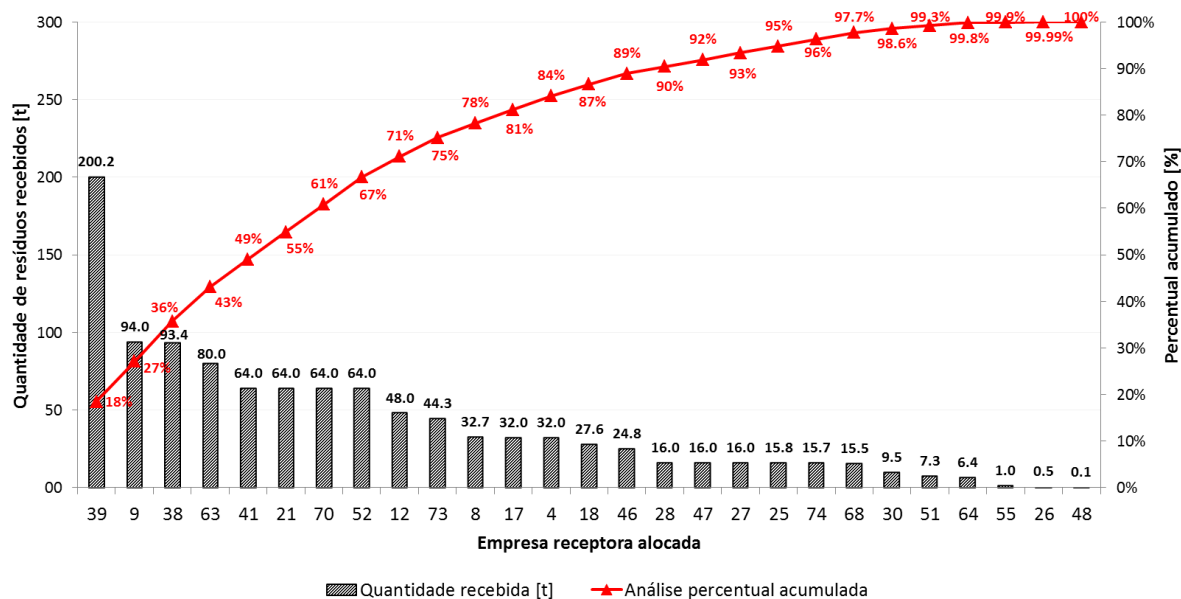
Figura 57: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 10



Fonte: Adaptado de Google Maps.

No Cenário 10 houve um aumento na quantidade de receptoras que recebem resíduos, passando de 25 do cenário anterior para 27, ou seja, 36,5 % do total de 74 receptoras. Ainda é possível notar que 75,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras (Figura 58). Dentre elas, a que recebeu a maior quantidade de resíduos foi, novamente, a 39, ao todo 200,2 toneladas de resíduos.

Figura 58: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 10



Fonte: Elaborado pela autora.

Este cenário obteve o menor custo de transporte dentre os demais cenários, 46.057,50 R\$/semana, conforme Tabela 10. Justifica-se o bom resultado pelo uso de caminhões de 16,0 toneladas, em detrimento aos com maior capacidade que culminaram em um custo de transporte maior, conforme já explicado anteriormente nos resultados do Grupo I de cenários. E, também, pelo bom posicionamento das centrais de transbordo alocadas em relação aos terminais atendidos e às receptoras que receberam resíduos, fatos estes que reduzem os custos de transporte.

6.1.11 Cenário 11

Após a execução do Cenário 11, as Centrais 2, 5, 7 e 8 foram alocadas (Figura 59), tendo a ocupação de, respectivamente, 100%, 100%, 100% e 62%. Pode-se notar que por conta da diminuição das centrais para 300,0 m², a ocupação tornou-se ainda maior que no cenário anterior que possui centrais de 500,0 m².

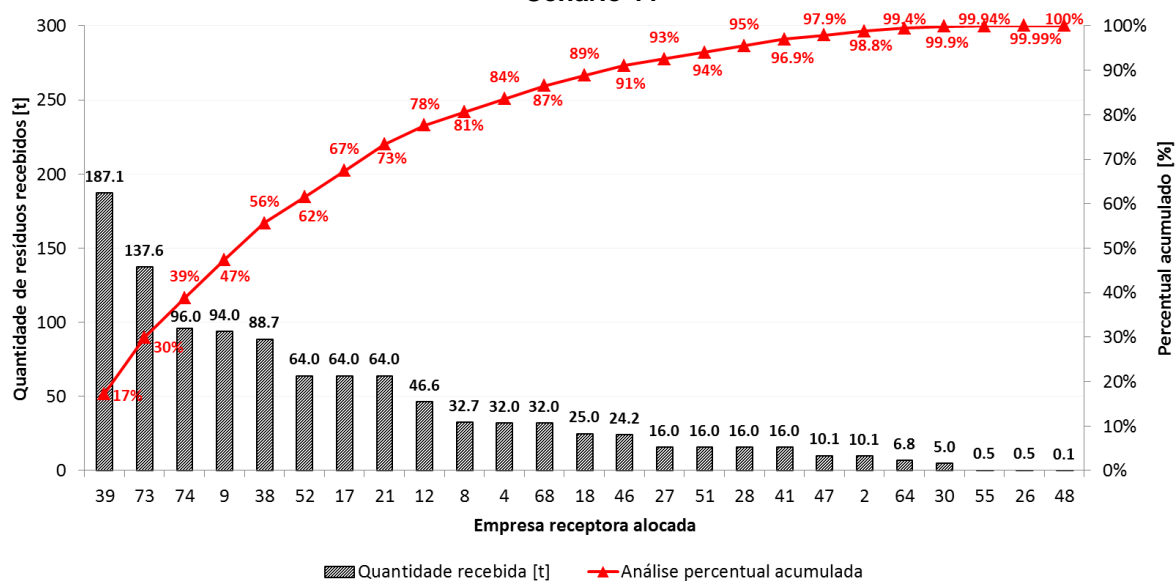
Figura 59: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 11



Fonte: Adaptado de Google Maps.

No Cenário 11, 25 empresas receptoras receberam resíduos das quatro centrais alocadas, ou seja, 33,8% do total das empresas disponíveis. Ainda é possível notar que 81,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras (Figura 58), maior percentual dentre todos os cenários. A empresa receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, ao todo 187,1 toneladas de resíduos.

Figura 60: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 11



Fonte: Elaborado pela autora.

Este cenário obteve o melhor resultado financeiro e o menor valor para os custos totais, ou seja, somatória dos custos de instalação, de operação e também custos de transporte. Por conta dos bons resultados, ele foi utilizado como base para o Cenário 13, conforme especificado na Seção 3.4, primeiro cenário com aumento na quantidade de resíduo gerado.

6.1.12 Cenário 12

Após a execução do Cenário 12, todas as centrais disponíveis foram alocadas (Figura 61), tendo uma ocupação média de 90%. Pode-se notar que por conta da diminuição demasiada das centrais para 150,0 m², a ocupação destas instalações se tornou ainda maior que no cenário anterior. Além disso, todas as oito centrais precisaram ser abertas, caso contrário, não haveria possibilidade de armazenamento de todo o resíduo gerado.

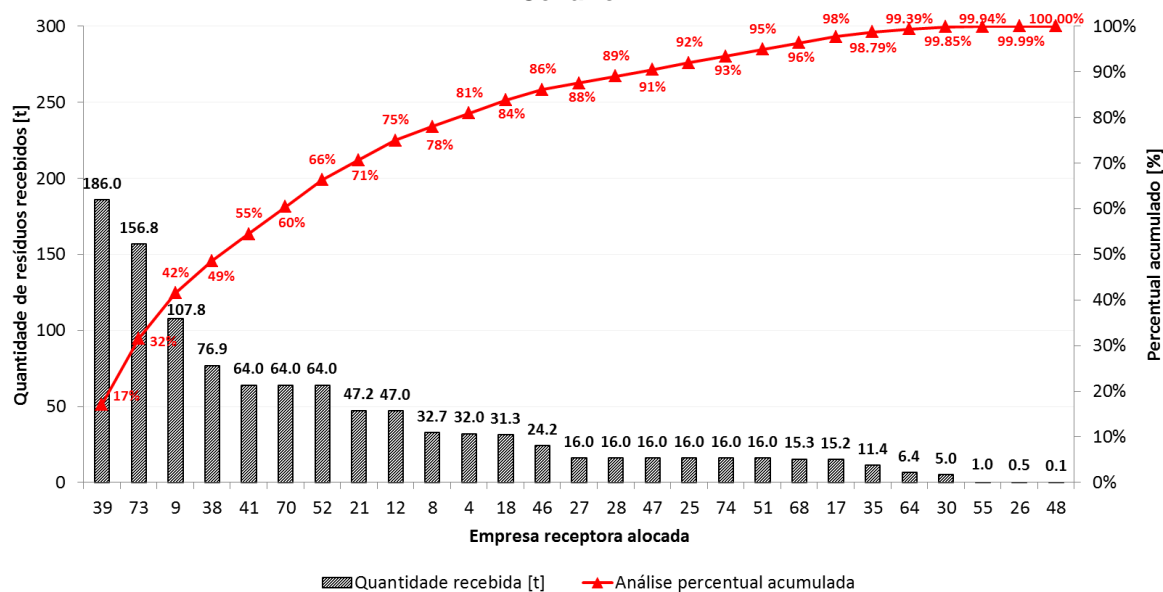
Figura 61: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 12



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

Ainda sobre os resultados alcançados no Cenário 12, houve um pequeno aumento na quantidade de empresas alocadas em relação ao Cenário 11, passando de 25 para 27 empresas, ou seja, 36,5% do total de 74 receptoras. Ainda é possível notar que 78,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras (Figura 58). A empresa receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, ao todo 186,4 toneladas de resíduos.

Figura 62: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 12



Fonte: Elaborado pela autora.

Após a execução dos Cenários 10, 11 e 12 (Grupo III, conforme Seção 3.4), notou-se ser válida a criação de centrais de transbordo menores. As centrais menores proporcionam maior ocupação e, conseqüentemente, menor ociosidade, menor custo fixo de instalação e de operação. Além disso, centrais menores culminam em uma quantidade maior de instalações alocadas, resultando em uma rede com facilidades mais dispersas e, por conseguinte, há maior propensão para estruturação e formalização de processos de venda de materiais recicláveis às associações de catadores localizadas em diferentes áreas, ocasionando assim benefícios sociais pela integração dos catadores ao processo, desenvolvimento das comunidades e geração de emprego e renda. Destaca-se, contudo, que não é aconselhável trabalhar com projetos de centrais com ocupação máxima ou muito próxima a isso, visto que pode haver algum tipo de sazonalidade na recepção dos diferentes resíduos ou aumento no valor gerado ao longo dos anos.

Os próximos cenários, 13, 14 e 15 (Grupo IV, conforme Seção 3.4), trabalham com o aumento na quantidade de resíduos a transportar. Esta ampliação foi feita com base na projeção de movimentação de cargas para 2023 nos portos públicos do Rio de Janeiro e Itaguaí, de acordo com o relatório final de subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas da ANTAQ (ANTAQ, 2009). Para estabelecer os parâmetros de capacidade das centrais de

transbordo, custo fixo de instalação e custo de operação dos próximos cenários, optou-se por escolher os cenários com os melhores resultados financeiros (Tabela 10). Definiu-se, então, o Cenário 11 como padrão de parâmetros para execução do Cenário 13 e o Cenário 10 como padrão para o Cenário 14. Já para o Cenário 15, manteve-se como base o Cenário 8, conforme explicado na Seção 3.4.

6.1.13 Cenário 13

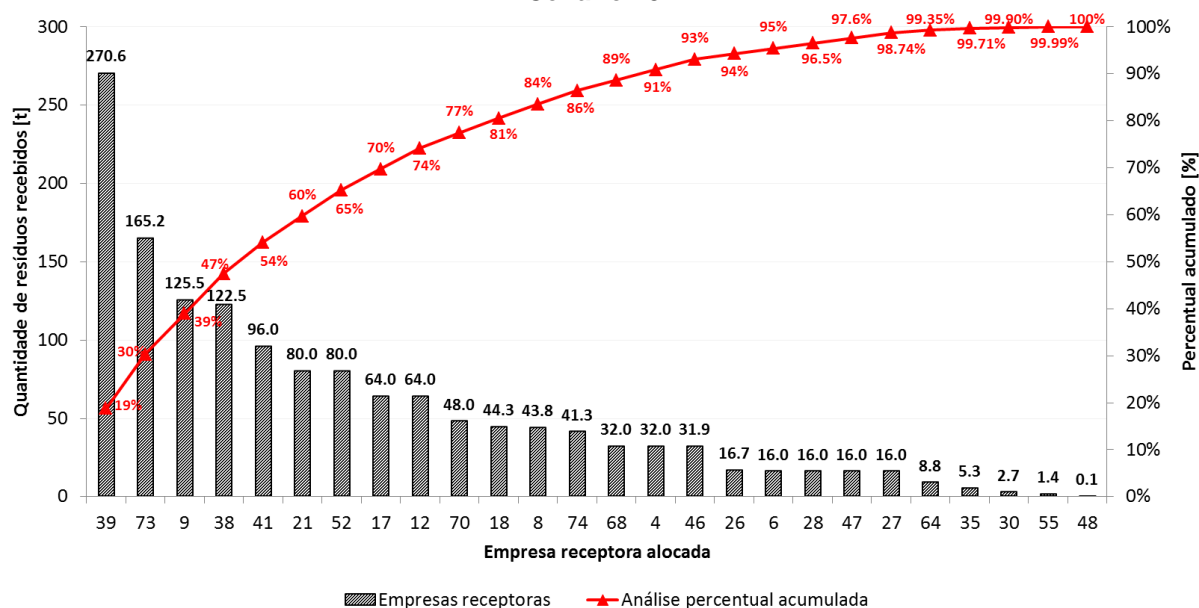
Após a execução do Cenário 13, as Centrais 2, 3, 5, 7 e 8 foram escolhidas (Figura 63). O índice de ocupação destas centrais foi de, respectivamente, 100%, 100%, 83%, 100% e 94%. Nota-se que por conta da ampliação da quantidade de resíduos gerados, o índice de ociosidade obtido pelas centrais tornou-se menor.



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

No Cenário 13, foram utilizadas 26 empresas receptoras, ou seja, 35,1 % do total de 74 receptoras. Ainda é possível notar que 77,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras (Figura 64). A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos também foi a 39, ao todo 270,6 toneladas de resíduos. Essa ampliação da quantidade de resíduos recebidos em relação aos demais cenários teve como justificativa o aumento de resíduos gerados, devido à projeção realizada neste e nos próximos dois cenários.

Figura 64: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 13



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.14 Cenário 14

Após a execução do Cenário 14, as Centrais 2, 5, 6 e 7 foram escolhidas (Figura 65). O índice de ocupação destas centrais, todas com 500,0 m², foi de, respectivamente, 98%, 83%, 29% e 99%, portanto, a Central 6 obteve a maior ociosidade. Ao analisar o mapa da Figura 65, pode-se notar que as Centrais 6 e 7 estão próximas ao porto de Itaguaí e, de acordo com os resultados obtidos pela execução deste cenário no CPLEX, ambas receberam resíduos apenas dos terminais instalados nesse porto. O modelo priorizou a ida dos resíduos para Central 7, visto que está mais próxima do porto de Itaguaí que a Central 6, por isso o maior índice de ocupação daquela.

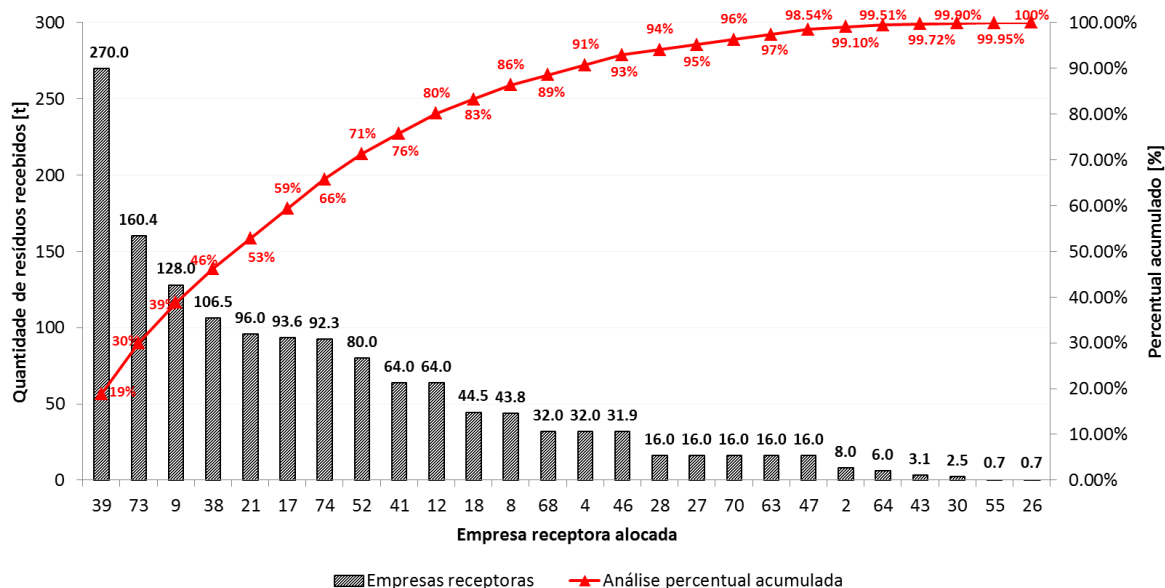
Figura 65: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 14



Fonte: Adaptado de Google Maps.

No Cenário 14, houve um pequeno aumento, em relação ao cenário anterior, na quantidade de receptoras que receberam resíduos, passando de 26 para 27 empresas, ou seja, 36,5% do total de 74 receptoras. Ainda é possível notar que 80,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 empresas receptoras (Figura 66). A empresa que recebeu a maior quantidade de resíduos novamente foi a 39, ao todo 270,0 toneladas de resíduos.

Figura 66: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 14



Fonte: Elaborado pela autora.

6.1.15 Cenário 15

Após a execução do Cenário 15, as Centrais 3 e 7 foram escolhidas (Figura 67). O índice de ocupação delas foi de, respectivamente, 92% e 43%. A Central 3 atendeu oito dos nove terminais, assim, apenas não recebeu resíduos originados do terminal TECON SEPETIBA, localizado no porto de Itaguaí. Já a Central 7, atendeu somente os três terminais do porto de Itaguaí, visto sua localização bem próxima a este porto, conforme Figura 67. Tal fato justifica a diferença de ocupação das duas centrais.

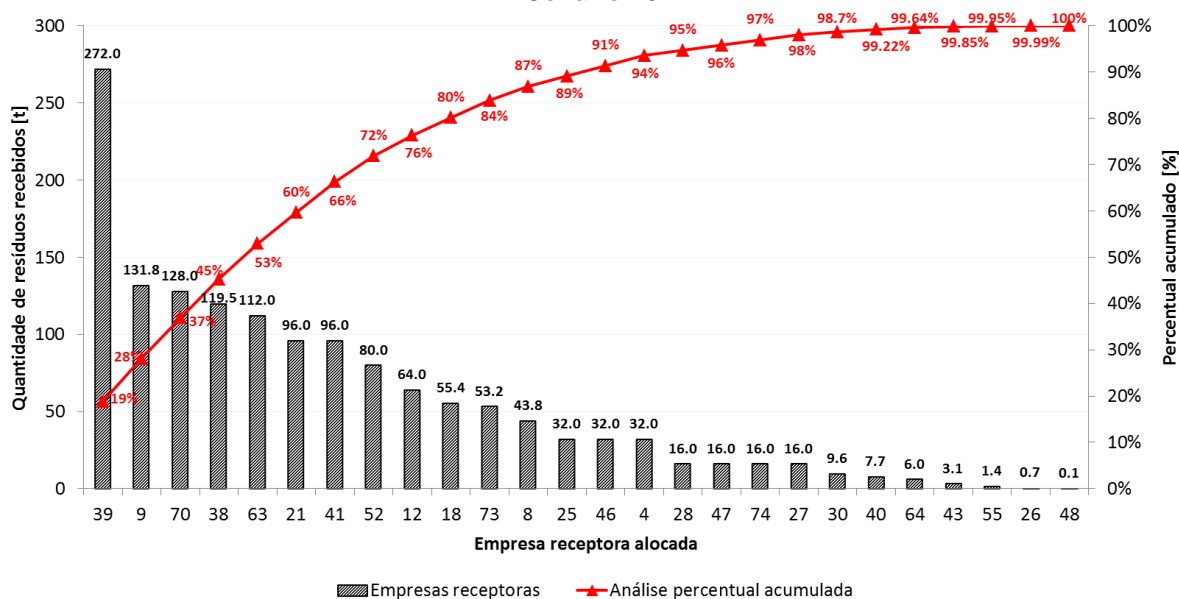
Figura 67: Centrais de transbordo escolhidas - Cenário 15



Fonte: Adaptado de *Google Maps*.

No Cenário 15, houve uma pequena redução, em relação ao cenário anterior, na quantidade de receptoras que atenderam às centrais de transbordo alocadas, passando de 27 para 26, ou seja, 35,1% do total de 74 receptoras. Ainda é possível notar que 80,0% do total dos resíduos acabam sendo destinados a apenas 10 receptoras (Figura 68). A receptora que recebeu a maior quantidade de resíduos novamente foi a 39, ao todo 272,0 toneladas de resíduos foram a ela encaminhados.

Figura 68: Gráfico de Pareto da quantidade de resíduos recebidos por empresa receptora – Cenário 15



Fonte: Elaborado pela autora.

Ao final da execução dos cenários do Grupo IV, notou-se que o modelo seguiu o mesmo padrão de sensibilidade quanto à mudança dos parâmetros que vinha apresentando até o momento. Ou seja, mesmo com a ampliação da geração de resíduos, as centrais de 300,0 m² (Cenário 13) obtiveram melhor resultado financeiro que as de 500,0 m² (Cenário 14) e que as centrais maiores com área variada (Cenário 15). Cabe salientar que foram realizados outros cenários testes não apresentados nesta dissertação, nos quais se fez uso de caminhões maiores (27,5 toneladas e 40,0 toneladas) considerando o aumento na geração de resíduos e, ainda assim, os caminhões menores (16,0 toneladas) obtiveram menores custos totais de transporte.

5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS

Dentre as principais ratificações e análises obtidas por meio dos diversos cenários executados, pode-se listar o percentual elevado de participação dos custos de transportes, entre 63,0% a 80,0%, entre todos os demais custos envolvidos na elaboração desta rede logística reversa, devendo este ser um ponto de atenção no momento de planejamento da rede. Além disso, notou-se também os custos finais mais acessíveis de caminhões com menor capacidade em detrimento aos maiores,

mesmo sendo o valor em R\$/(km.t) dos caminhões maiores menor. Esse mesmo comportamento, de custos totais de transporte menores para caminhões com baixa capacidade, foi igualmente observado quando a quantidade de resíduos gerados pelos nove terminais aumentou. Tal fato está relacionado à premissa do modelo, de que independente do caminhão estar ou não integralmente carregado, haverá a necessidade de pagamento do valor integral, conforme explicado na Seção 5.7. Aliado a isso, notou-se índices de ocupação pequenos para os caminhões maiores, inviabilizando o pagamento do frete total, por exemplo, das 40,0 toneladas do caminhão grande, quando há o uso de apenas uma pequena porcentagem desse valor. Observa-se tal fato em demasia para resíduos muito específicos, gerados em pequena quantidade, nas quais o uso de caminhões com ampla capacidade se torna ínvio.

Outra análise relaciona-se a necessidade de crescer ao custo fixo de instalação das centrais localizadas no interior dos portos, uma parcela referente ao custo de oportunidade, referente à ação de ceder determinado espaço da área portuária para instalação das centrais, em detrimento ao uso de um espaço externo ao porto. Muitas vezes, externar a central de transbordo pode ser uma alternativa viável, cabe ao gestor avaliar se as vendas perdidas por conta do espaço cedido superam o valor demandado com o transporte dos resíduos para centrais localizadas fora do ambiente portuário. Outro aspecto notado quando se opta por escolher centrais fora do porto é que apesar dos custos de transporte da primeira camada aumentarem, visto que as centrais passam a estar localizadas fora do ambiente portuário, os custos da segunda camada diminuem, o que ocasiona um certo equilíbrio entre as diferentes opções.

Notou-se ainda, resultados financeiros mais significativos com a implantação de centrais com menor capacidade, conforme resultados dos Grupos III e IV de cenários, ao invés de centrais com elevada área e, conseqüentemente, maior capacidade. Ao comparar, por exemplo, os Cenários 8 e 11, houve um aumento de 6,9% nos resultados financeiros obtidos, além de uma redução de 55,0% nos custos fixos de instalação e operação resultantes. No Cenário 8, fez-se uso de centrais com áreas maiores, já no Cenário 11, todas elas possuíam 300,0 m². Percebeu-se também que centrais com grande capacidade acabam gerando alto índice de

ociosidade. No exemplo anterior, o Cenário 8 manteve média de 51,0% de ocupação das centrais de transbordo alocadas, enquanto o Cenário 11, 90,0%.

Em resumo, os resultados dos cenários sinalizaram que centrais de transbordo menores proporcionam maior ocupação e, conseqüentemente, menor ociosidade, menor custo fixo de instalação e de operação. Além disso, centrais menores culminam em uma quantidade maior de instalações alocadas, resultando em uma rede com facilidades mais dispersas e, por conseguinte, há maior possibilidade de estruturação e formalização de processos de venda de materiais recicláveis às associações de catadores localizadas em diferentes regiões, proporcionando assim benefícios sociais pela integração dos catadores ao processo, desenvolvimento das comunidades e geração de emprego e renda. Ressalta-se, entretanto, que não é aconselhável trabalhar com projetos de centrais com ocupação máxima ou muito próxima a isso, visto que pode haver algum tipo de sazonalidade na recepção de resíduos ou crescimento do valor gerado de resíduos ao longo dos anos.

Outro ponto notado após a execução dos diferentes cenários refere-se à centralização de grande parte do tratamento dos resíduos em poucas empresas receptoras. Em média, 76,9% dos resíduos são tratados por dez empresas. A empresa receptora 39, por exemplo, em todos os cenários manteve-se como principal receptora, recebendo, aproximadamente, 19,4% do total de resíduos a tratar. Tal fato está diretamente relacionado aos preços atrativos de algumas das empresas receptoras, a localização estratégica em relação às centrais, pois menores distâncias resultam em um menor custo de transporte e, também, a capacidade de recepção de uma gama maior de tipos de resíduos, visto que isso torna a ida do caminhão até ela economicamente viável. Outro aspecto primordial, além dos já citados, relaciona-se a disponibilidade que determinadas receptoras possuem para atendimento de resíduos extremamente específicos, existindo assim pouca concorrência em relação às demais empresas receptoras, resultando em uma concentração de demanda em uma receptora específica, como ocorreu, por exemplo, com a de número 39.

Os resultados financeiros revelaram ainda os benefícios potenciais da reciclagem para os gestores portuários, catadores, além da sociedade como um todo, visto que para todos os cenários retratados, os custos foram menores que a receita auferida

pela venda dos recicláveis. Isso mostra que é possível investir nas centrais de transbordo e ainda obter um retorno financeiro, além de promover a participação das cooperativas de catadores que poderão atuar de forma a ampliar o índice de reciclagem de resíduos sólidos gerados em portos do Brasil, e também obter ganhos legais, visto que há a necessidade de adequação à PNRS, conforme relatado na Seção 1.3.

Por fim, é cabível afirmar que os resultados de cada um dos cenários juntamente com as análises realizadas permitiram avaliar e sugerir soluções para o problema proposto nesta dissertação. Ressalta-se que o objetivo do trabalho não é identificar o melhor dos cenários, mas sim avaliar custos, receitas e os impactos referentes a mudanças de diferentes parâmetros como, capacidade dos caminhões, capacidade das centrais, custos adicionais, entre outros, no valor final da função objetivo. Não há um cenário dito ideal, pois este estudo analisa fortemente questões relacionadas aos custos totais de instalação e operação das centrais, além dos custos de transporte, mas se sabe que há outros aspectos que precisam ser levantados para escolha do melhor cenário. Dentre eles, os aspectos legais da região, possibilidade ou não da compra ou aluguel do terreno para instalação das centrais, análise qualitativa da região onde se espera abrir cada uma das centrais alocadas, parcerias com as empresas receptoras, entre outros aspectos que fogem do escopo desta pesquisa. Mas, é notável que os resultados deste estudo podem ser utilizados para diferentes portos, auxiliando a tomada de decisão quanto à localização das centrais de transbordo, possibilitando assim, um melhor gerenciamento dos resíduos sólidos e uma estrutura mais robusta da rede logística reversa portuária.

6. CONCLUSÕES

Este capítulo apresenta as conclusões do trabalho, uma análise das proposições e objetivos estabelecidos a priori, considerações finais, além de sugestões de estudos futuros.

O objetivo de desenvolver um modelo matemático baseado no problema de localização de facilidades *n-echelon* para definição das centrais de transbordo a serem escolhidas para uma melhor configuração da rede de logística reversa de resíduos sólidos em terminais marítimos do Rio de Janeiro foi alcançado. A estrutura da rede de logística reversa proposta apresentou um modelo abrangente, capaz de incluir os principais elos da rede: terminais marítimos geradores de resíduos, centrais de transbordo e empresas receptoras. As centrais de transbordo projetadas contribuem para o funcionamento eficaz e eficiente da logística reversa nos portos, além de atuarem como consolidadoras de grandes volumes de resíduos. Já o terceiro elo da rede, as empresas receptoras, promove a participação das cooperativas de catadores que poderão atuar de forma a ampliar o índice de reciclagem de resíduos sólidos gerados em portos do Brasil promovendo, deste modo, inclusão social e adequação quanto à PNRS.

A contribuição teórica do presente trabalho está na aplicação da modelagem matemática e da logística reversa para resolução de um problema característico, utilizando dados de uma realidade específica e comprovando os benefícios desta metodologia. No que concerne a modelagem, o modelo matemático proposto baseou-se nos estudos de Pishvae *et al.* (2010) diferindo deles e dos demais pesquisados e relatados no Capítulo 2, por ter uma função objetivo mais abrangente em relação à análise de custos e receitas. Nela, contempla-se a minimização não apenas dos custos fixos de instalação das centrais de transbordo e dos custos de transporte entre facilidades, mas também a minimização dos custos de operação das centrais abertas, além da maximização da receita auferida pela venda do material reciclável. Ademais, o modelo segrega em diferentes caminhões os resíduos de acordo com sua periculosidade, assim, resíduos perigosos não são misturados aos resíduos não perigosos, pois isso poderia inviabilizar a possibilidade de reciclagem. O modelo proposto nesta dissertação possui ainda um índice adicional referente ao tipo específico de resíduo que irá ser alocado para as centrais

de transbordo e empresas receptoras. Esse índice possibilita, por exemplo, a definição de qual tipo de resíduo específico cada uma das empresas receptoras é capaz de receber e tratar. Por fim, o modelo permite a escolha da capacidade do caminhão que será usado na rede logística reversa, além de informar não apenas a quantidade do fluxo de resíduos, em toneladas, que flui pelos arcos, mas também a quantidade de caminhões necessária.

A abrangência dos resultados obtidos por meio dos diferentes cenários modelados no *solver* CPLEX foi importante, visto que permitiu demonstrar premissas sobre os parâmetros que foram modificados. Dentre as principais ratificações e análises obtidas, e já detalhadas no Capítulo 6, especialmente na Seção 6.2, lista-se o percentual elevado de participação dos custos de transportes dentre todos os demais custos envolvidos na elaboração desta rede logística, entre 63,0% a 80,0%, além da priorização por caminhões com menor capacidade em detrimento aos maiores. Outro ponto relevante notado foi a necessidade de acrescentar ao custo fixo de instalação das centrais localizadas no interior dos portos, uma parcela referente ao custo de oportunidade, referente à ação de ceder determinado espaço da área portuária para instalação das centrais, em detrimento ao uso de um espaço externo ao porto. Ressaltam-se também os resultados positivos da implantação de centrais com menor capacidade, ao invés de instalar centrais com elevada área e, conseqüentemente, maior capacidade. Entretanto, deve-se sempre levar em consideração as possibilidades de crescimento de geração de resíduos e a possível sazonalidade na recepção desse tipo de carga.

Outras apreciações realizadas referem-se ao envio de grande parte dos resíduos gerados para poucas empresas receptoras detentoras de melhor preço, melhor localização e, principalmente, aptas a receberem uma gama variada de resíduos, inclusive resíduos extremamente específicos, tornando mais viável a parceria e a ida até essas facilidades. Por fim, os resultados financeiros mostraram ainda os benefícios potenciais da reciclagem para os gestores portuários, catadores, além da sociedade como um todo, visto que para todos os cenários retratados, os custos foram menores que a receita auferida pela venda dos recicláveis, demonstrando que a venda de resíduos sólidos portuários para reciclagem pode ser sim uma alternativa viável do ponto de vista econômico e não apenas da perspectiva legal, ambiental e social.

Cabe salientar que o objetivo deste trabalho não foi identificar o melhor dos cenários propostos, mas sim avaliar custos, receitas e os impactos referentes a mudanças de diferentes parâmetros nos resultados finais. Não há um cenário ideal, já que este estudo analisa questões relacionadas aos custos totais de instalação e operação das centrais, além dos custos de transporte e, sabe-se que há outros aspectos, inclusive qualitativos, que precisam ser levantados para escolha do melhor cenário. No entanto, é notável a flexibilidade deste modelo e sua real utilidade a outros pesquisadores, gestores portuários e órgãos governamentais. Os resultados obtidos por meio da modelagem fornecem informações imprescindíveis e estratégicas para a tomada de decisão quanto à localização de centrais de transbordo para o gerenciamento de resíduos sólidos em terminais marítimos, de forma a promover a criação de uma iniciativa de cooperação público-privada na gestão e valorização do resíduo, assim como integrar catadores e suas associações.

7.1 TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, recomenda-se a implantação dessa mesma metodologia em outros portos do Brasil. Pode-se, ainda, elaborar diferentes cenários de acordo com as necessidades de cada gestor e com as peculiaridades de cada porto. Por exemplo, variar a frequência de retirada dos resíduos e permitir fluxos de resíduos entre instalações que fazem parte da mesma camada, como transporte entre centrais de transbordo.

Das limitações encontradas na elaboração deste estudo, destaca-se o acesso às informações referentes aos custos e receitas cobradas pelas empresas receptoras para o recebimento e tratamento dos diferentes tipos de resíduos. Além da capacidade de cada uma destas empresas. Por conta do banco de dados fornecido pelo IVIG trabalhar com informações dos anos de 2009 a 2013, muitas dessas empresas não possuíam contatos atualizados ou não existiam mais. Isso dificultou a obtenção de tais dados, sendo necessário o uso de valores da literatura e artifícios estatísticos. Dessa maneira, para tornar o resultado do modelo proposto ainda mais fidedigno, sugere-se que seja feito o levantamento dos dados referentes às informações de capacidade de cada uma das empresas receptoras, localização,

além das receitas auferidas por tipos de resíduos no momento da inserção dos dados de geração de resíduos no banco de dados. Ademais, sugere-se também um trabalho mais apurado de gravimetria, visto que as conversões foram utilizadas em determinados momentos deste estudo.

Recomenda-se também expandir a modelagem para toda a rede de logística reversa, incluindo outros elos, por exemplo, indústrias que recebem o material já reciclado pelas receptoras. Além da proposição de um modelo matemático que agregue não somente a localização das centrais, mas também efetue a roteirização desses resíduos dentro da rede logística reversa projetada, inclusive contemplando uma frota heterogênea de veículos. E, por fim, a elaboração de uma heurística para que a resolução dos problemas se torne mais rápida quando se faz uso de cenários com muitos nós.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADLMAIER, D.; SELLITO, M. A. **Embalagens retornáveis para transporte de bens manufaturados: um estudo de caso em logística reversa.** *Produção*, 17 (2), 395-406, 2007.
- AIKENS, C.H. **Facility location models for distribution planning.** *European Journal of Operational Research* 22, 263-279, 1985.
- AKINC, U.; KHUMAWALA, B. M. **An efficient branch and bound algorithm for the capacitated warehouse location problem.** *Management Science*, v. 23, n. 6, p. 585-594, 1977.
- ALDERTON, P. **Port Management and Operations.** London: Informa Maritime & Transport. 2005.
- ANTAQ. **Boletim Anual de Movimentação de Cargas 2013.** 2014. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/Tabelas/AnaliseMovimentacaoPortuaria.pdf>>. Acesso em: 05/05/2014.
- ANTAQ. **Manual detalhado de instalações portuárias para recepção de resíduos - IMO.** Brasília DF, 1999. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/manualrecepcaoportuaria.pdf>>. Acesso em: 05/05/2014.
- ANTAQ. **Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas.** 2009. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/palestras/pgo/relatoriopgobd.pdf>>. Acesso em: 13/03/2015.
- ARAS. N.; AKSEN, D.; TANUGUR, A. G. **Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pickup policy with capacitated vehicles.** *Eur J Operat Res* 191:1223–1240, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 1004:** resíduos sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004.

- BARROS, A.I.; DEKKER, R.; SCHOLTEN, V. **A two-level network for recycling sand: A case study.** European Journal of Operational Research, 110:199–214, 1998.
- BEAMON, B. M.; FERNANDES, C. **Supply-chain network configuration for product recovery.** Production Planning & Control, 15(3), 270-281, 2004.
- BERTO, R.M.V.S., NAKANO, D. N. **A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa.** Produção, v. 9, n. 2, p. 65-76, 2000.
- BERTRAND, J. W. M.; FRANSOO, J. C. **Modelling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling.** International Journal of Operations & Production Management, v.22, n.02, p.241-264, 2002.
- BRASIL, 2010a. **Lei Nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.** Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e dá outras providências. Disponível em: <www4.planalto.gov.br> Acesso em: 05/05/2014.
- BRASIL, 2010b. **Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010.** Regulamenta a Lei no 12.305/2010, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Disponível em: <www4.planalto.gov.br> Acesso em: 05/05/2014.
- BRITO, M; DEKKER, R. **A framework for reverse logistics.** ERIM Report Series Research In Management, n.. ERS-2003-045-LIS, Erasmus Research Institute of Management (ERIM), 2003.
- CEMPRE. 2015. Preço do material reciclável. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/servicos_mercado.php>. Acesso em: 01/02/2015.
- CHIYOSHI, F.; GALVÃO, R. D.; MORABITO, R. **O uso do modelo hipercubo na solução de problemas de localização probabilísticos.** Gestão & Produção, v. 7, n. 2, p. 146-174, 2000.

- COLE, M. H. **Service Considerations and the Design of Strategic Distribution Systems**, Ph.D. Thesis, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, 1995.
- COSTA, L. R. **O problema de localização capacitado em dois níveis e sua aplicação ao planejamento de logística reversa**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- CUNHA, V.; CAIXETA FILHO, J. V. C. **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos: estruturação e aplicação do modelo não-linear de programação por metas**. *Gestão e Produção*, v. 9, n. 2, 2002.
- DARBRA, R. M. **Identification and selection of Environmental Performance Indicators for sustainable port development**. *Marine Pollution Bulletin* 81: 124–130, 2014.
- DAUGHERTY, P.; RICHEY, R.; GENCHEV, S.; CHEN, H. **Reverse logistics: superior performance through focused resource commitments to information technology**. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 41, n. 2, p. 77-92, 2005.
- DEKKER, R.; VAN WASSENHOVE, L. N.; INDURFURTH, K. **Reverse logistics**. Springer, 2004.
- DU, F.; EVANS, G. W. **A biobjective reverse logistics network analysis for post-sale service**. *Comput Oper Res* 35:2617–2634, 2008.
- DUBKE, A. F. **Modelo de localização de terminais especializados: um estudo de caso em corredores de exportação da soja**. Dissertação de Doutorado Programa de Pós-graduação em Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2006.
- DYCKHOFF, H.; LACKES, R.; REESE, J. **Supply chain management and reverse logistics**. Springer, 2003.

- DYCKHOFF, H.; SOUREN, R.; KEILEN, J. **The expansion of supply chains to closed loop systems: a conceptual framework and the automotive industry's point of view**. Supply chain management and reverse logistics. Springer Berlin Heidelberg, 2004.
- ECOCASA. 2014. Disponível em: < <http://www.ecocasa.pt/>>. Acesso em: 15/08/2014.
- FAGUNDES, D. C. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos em Tarumã e Teodoro Sampaio-SP**. Revista Sociedade & Natureza, v. 21, n. 2, 2009.
- FARAHANI, R. Z.; REZAPOUR, S.; KARDAR, L. **Logistics Operations and Management: concepts and models**. New York: Elsevier, 2011.
- FERREIRA, J. J. **Incorporando emissões de carbono no planejamento de redes logísticas**. Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração, Instituto COPPEAD de Administração, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- FERRI, G. L.; CHAVES, G. L. D.; RIBEIRO, G. M. **Analysis and location of urban solid waste collection/inspection centers for a reverse logistics network: a case study in São Mateus-ES**. Production, v. 25, n. 1, p. 27-42, 2015.
- FIESP - Federação das Indústrias do Estado de São Paulo. **Reciclagem de embalagens plásticas usadas contendo óleo lubrificante**. São Paulo, 2007.
- FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; DEKKER, R.; VAN DER LAAN, E.; VAN NUNEN, J. A.; VAN WASSENHOVE, L. N. **Quantitative models for reverse logistics: a review**. European Journal of Operational Research, 103(1), 1-17, 1997.
- FRANCO, R. G. F.; LANGE, L. C. **Flow of e-waste at the city of Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 16, n. 1, p. 73-82, 2011.

- GAO, L. L.; ROBINSON JR, E. P. **Uncapacitated facility location: General solution procedure and computational experience**. *European Journal of Operational Research*, 76(3), 410-427, 1994.
- GAO, L.; ROBINSON JR, E. P. **A dual-based optimization procedure for the two-echelon uncapacitated facility location problem**. *Naval Research Logistics* 39 191±212, 1992.
- GENDRON, B.; SEMET, F. **Formulations and relaxations for a multi-echelon capacitated location–distribution problem**. *Computers & Operations Research* 36.5: 1335-1355, 2009.
- GEOFFRION, A. M. **Better distribution planning with computer models**. *Harvard Business Review*, 1976.
- GEOFFRION, A. M.; GRAVES, G. W. **Multicommodity distribution system design by Benders decomposition**. *Management Science* 20/5, 822-844, 1974.
- GHIANI, G.; LAPORTE, G.; MUSMANNO, R. **Introduction to logistics systems planning and control**. John Wiley & Sons, 2004.
- GIURIATTO, N. T. **Rede logística reversa de pneus no Espírito Santo**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharias e Tecnologia (DETEC) da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.
- GOBBI, C. N. **Avaliação do desempenho da gestão de resíduos plásticos em portos brasileiros, segundo a política nacional de resíduos sólidos**. Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2015.
- GOETSCHALCKX, M. **Supply chain engineering**. Vol. 161. New York: Springer, 2011.
- GRACZYK, M.; WITKOWSKI, K. **Reverse logistics processes in plastics supply chains**. *Total Logistic Management*, (4), pp-43, 2011.

- GUAZZELLI, C. S.; DA CUNHA, C. B. **Modelagem matemática para o problema de localização de centros de distribuição de empresa de alimentos.** TRANSPORTES, 22(3), 86-102, 2014.
- GUILLÉN-GOSÁLBEZ, G., GROSSMANN, I. E. **Optimal design and planning of sustainable chemical supply chains under uncertainty.** AIChE Journal, 55(1), 99-121, 2009.
- HAMAD, R. **Modelo para localização de instalações em escala global envolvendo vários elos da cadeia logística.** Tese de mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.
- HERNANDEZ, C. T.; MARINS, F. A. S.; CASTRO, R. C. **Modelo de gerenciamento da logística reversa.** Gestão & Produção, 19 (3), 445-456, 2012.
- HINOJOSA, Y.; PUERTO, J.; FERNÁNDEZ, F. R. **A multiperiod two-echelon multicommodity capacitated plant location problem.** European Journal of Operational Research, v. 123, n. 2, p. 271-291, 2000.
- HP. **Catálogo de produtos.** 2015. Disponível em: <<http://www8.hp.com/br/pt/home.html>>. Acesso em: 07/01/2015.
- IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa nº 8, de 15 de maio de 2002.** IBAMA: Brasília, 2002.
- IVIG. **Banco de Dados Porto do Rio de Janeiro.** Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2014.
- JAYARAMAN, V.; GUIDE JR, V.; SRIVASTAVA, R. **A closed-loop logistics model for remanufacturing.** Journal of the Operational Research Society, 50:497–508, 1999.
- JAYARAMAN, V.; PATTERSON, R. A.; ROLLAND, E. **The design of reverse distribution networks: models and solution procedures.** European Journal of Operational Research 150, pg.128-149, 2003.

- JAYARAMAN, V.; PIRKUL, H. **Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities.** European journal of operational research, v. 133, n. 2, p. 394-408, 2001.
- KANNAN, G.; SASIKUMAR, P.; DEVIKA, K. **A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling.** Applied Mathematical Modelling, v. 34, n. 3, p. 655-670, 2010.
- KAUFMAN, L. EEDE, M.V. HANSEN, P. **A plant and warehouse location problem.** Operational Research Quarterly 28 547±554, 1977.
- KHUMAWALA, B.M. **An efficient branch-and-bound algorithm for the warehouse location problem.** Management Science 18, 718-731, 1972.
- KLOSE, A. DREXL, A. **Facility location models for distribution system design.** European Journal of Operational Research, 162:4–29, 2005.
- KRIKKE, H. R.; VAN HARTEN, A.; SCHUUR, P. C. **Reverse logistic network redesign for copiers.** OR Spektrum 21:381–409, 1999.
- KRIKKE, H.; BLOEMHOF-RUWAARD, J.; VAN WASSENHOVE, L. N. **Concurrent product and closed-loop supply chain design with an application to refrigerators.** International journal of production research 41.16: 3689-3719, 2003.
- KROON, L.; VRIJENS, G. **Returnable containers: an example of reverse logistics.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 25, n. 2, p. 56–68, 1995.
- LAPORTE, G.; LOUVEAUX, F. V.; HAMME, L. **Exact solution of a stochastic location problem by an integer L-shaped algorithm.** Transportation Science 28, 95±103, 1994.
- LEBRETON, B. **Strategic closed-loop supply chain management.** Springer, 2007.
- LEE, D. H.; DONG, M. **A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery.** Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 44(3), 455-474, 2008.

- LEITE, P. R. **Logística reversa – Meio ambiente e competitividade**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.
- LEITE, P. R.; BRITO, E. Z. **Reverse logistics of returned products: is brazil ready for the increasing challenge?**. CEP, v. 1302, p. 907, 2003.
- LIMA, R. G. C.; FERREIRA, O. M. **Resíduos Industriais – Métodos de tratamento e análise de custos**. Departamento de Engenharia Ambiental–Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2007.
- LOUWERS, D.; KIP, B. J.; PETERS, E.; SOUREN, F.; FLAPPER, S. D. P. **A facility location allocation model for reusing carpet materials**. Computers & Industrial Engineering, 36(4), 855-869, 1999.
- LOVE, R, MORRIS, J., WESOLOWSKY, G. **Facility location: models and methods**. Amsterdam: North-Holland, 1988.
- LU, Z.; BOSTEL, N. **A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities**. Comput Oper Res 34:299–323, 2007.
- MARTINS, E. **Contabilidade de custos: inclui o ABC**. Atlas, 2001.
- MASSUKADO, L. M. **Sistema de Apoio à Decisão: avaliação de cenários de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos domiciliares**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.
- MATAVEL, N. I. **Logística reversa do óleo residual de fritura para produção d biodiesel do distrito municipal de Kampfumo – cidade de Maputo** (Dissertação de mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, São Mateus, 2015.
- MEADE, L.; SARKIS, J.; PRESLEY, A. **The theory and practice of reverse logistics**. International Journal of Logistics systems and Management, 3, p. 56–84, 2007.

- MELACHRINOUDIS, E.; MIN, H. **The dynamic relocation and phase-out of a hybrid, two-echelon plant/warehousing facility: A multiple objective approach.** European Journal of Operational Research, v. 123, n. 1, p. 1-15, 2000.
- MELO, M. T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. **Dynamic multi-commodity capacitated facility location: a mathematical modeling framework for strategic supply chain planning.** Computers & Operations Research, 33(1), 181-208, 2006.
- MELO, T.; NICKEL, S.; SALDANHA DA GAMA, F. **Facility location and supply chain management - A comprehensive review.** Berichte des Fraunhofer ITWM, Nr. 130, 2007.
- MIN, H.; KO, C. S.; KO, H. J. **The spatial and temporal consolidation of returned products in a closed-loop supply chain network.** Computers & Industrial Engineering, 51(2), 309-320, 2006.
- MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos – Versão preliminar para consulta pública.** 2011. Disponível em: <<http://www2.transportes.gov.br/bit/05-mar/1-portos/riojaneiro.pdf>>. Acesso em: 09/07/2014.
- MUELLER, C. F. **Logística Reversa – Meio ambiente e produtividade.** Florianópolis: GELOG, 2005.
- OLIVEIRA, E. G.; MENDES, O. 2008. **Gerenciamento de resíduos da construção civil e demolição: estudo de caso da Resolução 307 do CONAMA.** Disponível em: <<http://www.pucgoias.edu.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/Continua/GERENCIAMENTO%20DE%20RES%20C3%8DDUOS%20DA%20CONSTRU%20C3>> Acesso em: 07/02/2015.
- OWEN, S. H.; DASKIN, M. S. **Strategic facility location: A review.** European Journal of Operational Research 111 (3): 423–447, 1998.

- PEREIRA, A. L.; BOECHAT, C. B.; TADEU, H. F. B.; SILVA, J. T. M.; CAMPOS, P. M. S. **Logística reversa e sustentabilidade**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.
- PIMENTEL, F. G. **Localização de centros de distribuição em uma cadeia de suprimentos** (Dissertação de mestrado). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2004.
- PIRKUL, H.; JAYARAMAN, V. **A multi-commodity, multi-plant, capacitated facility location problem: formulation and efficient heuristic solution**. *Computers & Operations Research*, v. 25, n. 10, p. 869-878, 1998.
- PIRKUL, H.; JAYARAMAN, V. **Production, transportation, and distribution planning in a multi-commodity tri-echelon system**. *Transportation Science* 30.4: 291-302, 1996.
- PISHVAEE, M. S.; KIANFAR, K.; KARIMI, B. **Reverse logistics network design using simulated annealing**. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, v. 47, n. 1-4, p. 269-281, 2010.
- POHLEN, T.; FARRIS, M. **Reverse Logistics in Plastics Recycling**. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, v. 22, n. 7, p. 34-47, 1992.
- PORTO DO FORNO. **Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos**. Disponível em: < <http://www.portodoforno.com.br/fiscalizacao/PDF/Porto-do-Forno-PGRS-dia-23-de-julho.pdf>>. Acesso em: 14/07/2014.
- QUIMLAB. 2015. Disponível em: <<http://www.quimlab.com.br/pesquisa.htm>>. Acesso em: 01/02/2015.
- RAMKUMAR, N.; SUBRAMANIAN, P.; NARENDRAN, T. T.; GANESH, K. **Erratum to “A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling”**[*Appl. Math. Modell.* 34 (2010) 655–670]. *Applied Mathematical Modelling*, 35(12), 5921-5932, 2011.

- RAVI, V.; SHANKAR, R.; TIWARI, M. K. **Analyzing alternatives in reverse logistics for end-of-life computers: ANP and balanced scorecard approach.** Computers & Industrial Engineering, v. 48, n. 2, p. 327-356, 2005.
- RO, H.; TCHA, D. **A branch and bound algorithm for the two-level uncapacitated facility location problem with some side constraints.** European Journal of Operational Research 18 349±358, 1984.
- ROBINSON, E. P.; GAO, L.; MUGGENBORG, S. D. **Designing an integrated distribution system at DowBrands, Inc.** Interfaces 23, 107-117, 1993.
- RODRIGUES, G.; PIZZOLATO, N. **A logística reversa nos centros de distribuição de lojas de departamento.** *Anais do XXIII ENEGEP*, Ouro Preto, 2003.
- ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices.** Reno, University of Nevada, 1999.
- ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. **An examination of reverse logistics practices.** Journal of business logistics, 22(2), 129-148, 2001.
- ROSING, K. E.; REVELLE, C. S. **Heuristic concentration: Two stage solution construction,** European Journal of Operational Research, v. 97, n. 1, pp. 75-86, 1997.
- ROZENTAL, M.; PIZZOLATO, N. D. **Localização de Shopping Center de vizinhança. Estudo de caso: Barra da Tijuca, Rio de Janeiro – R.J.** Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento 1 (3), 199-207, 2009.
- SANCHES, V. M. L. **Apresentação do Modelo Centralizado de Gerenciamento de Resíduos Sólidos para os Portos Marítimos Brasileiros.** Rio de Janeiro: IVIG/COPPE, 2014.
- SANETAL. 2012. **Plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos de Fortaleza - estado do Ceará.** Disponível em: <http://www.fortaleza.ce.gov.br/sites/default/files/acfor/arquivos_conteudos/pmgirs-contribuicoes_e_complementacoes.pdf>. Acesso em: 07/03/2015.

SANTOS, L.R. **Sustentabilidade e Viabilidade do Tratamento de Resíduos de Serviço de Saúde pelo sistema de autoclavagem – a experiência do município de Penápolis (SP)**. Penápolis, SP, 2005.

SARKIS, J.; DARNALL, N.; NEHMAN, G.; PRIEST, J. **The role of supply chain management within the industrial ecosystem**. Orlando, FL: Proceedings of the 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment, 1995.

SASIKUMAR, P.; KANNAN, G.; HAQ, A. N. **A multi-echelon reverse logistics network design for product recovery—a case of truck tire remanufacturing**, Int. J. Adv. Manuf. Technol. 49(912) 12231234, 2010.

SCHULTMANN, F.; ENGELS, B.; RENTZ, O. **Closed-loop supply chains for spent batteries**. Interfaces, v. 33, n. 6, p. 57-71, 2003.

SCHWARTZ FILHO, A. J. **Localização de Indústrias de Reciclagem na Cadeia Logística Reversa do Coco Verde**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2006.

SEP/PR e UFSC. **Cooperação técnica para apoio à SEP/PR no planejamento do setor portuário brasileiro e na implantação dos projetos de inteligência logística – Plano Mestre Porto de Itaguaí**, 2014a. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/>> Acesso em: 02/05/2015.

SEP/PR e UFSC. **Cooperação técnica para apoio à SEP/PR no planejamento do setor portuário brasileiro e na implantação dos projetos de inteligência logística – Plano Mestre Porto do Rio de Janeiro**, 2014b. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/>> Acesso em: 02/05/2015.

SEP/PR. **Institucional Secretaria de Portos**. Disponível em: <<http://www.portosdobrasil.gov.br/sobre-1/institucional/secretaria-de-portos>>. Acesso em: 06/07/2014.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4ª ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 138p, 2005.

- SIMIÃO, J. **Gerenciamento de resíduos sólidos industriais em uma empresa de usinagem sobre o enfoque da produção mais limpa.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2011.
- SINDUSCON-RIO. **Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado do Rio de Janeiro - Custos unitários da construção,** 2015. Disponível em: <<http://www.sinduscon-rio.com.br/cub.pdf>> Acesso em: 27/03/2015
- SINIR - Sistema Nacional De Informações Sobre A Gestão Dos Resíduos Sólidos. **Viabilidade técnica e econômica em logística reversa na organização da coleta e reciclagem de resíduos de lâmpadas no Brasil,** 2011. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/13560/EVTE_LAMPADAS/> Acesso em: 07/03/2015.
- SISMAN, B. **Supply Chain Network Design Considering Customer Service Level.** Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012
- SISTEMA FIRJAN. **Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo.** 2.ed. Rio de Janeiro: GMA, 2006.
- SM BOMBONAS. **Catálogo de produtos.** 2015. Disponível em: <<http://www.smbombonas.com.br/servi%C3%A7os/catalogo-de-produtos/>>. Acesso em: 07/01/2015.
- SOUZA, A. P.; FIRPO, S. P.; PONCZEK, V. P.; ZYLBERSTAJN, E.; RIBEIRO, F. G. **Custo do Trabalho no Brasil Proposta de uma nova metodologia de mensuração.** Centro de microeconomia aplicada. FGV, 2012.
- SOUZA, M. T. S; VASCONCELOS, M. W.; PEREIRA, R. S. **A contribuição da Logística Reversa na adequação da Política Nacional de Resíduos Sólidos: Um Estudo de Caso no Setor de Embalagem.** Simpósio de Gestão e Estratégia em Negócios – SIMAGEN, 4. Rio de Janeiro, 2006.
- SPENGLER, T.; PÜCHERT, H.; PENKUHN, T.; RENTZ, O. **Environmental integrated production and recycling management.** European Journal of Operation Research, Vol. 97, pp. 308 – 326, 1997.

- SRIVASTAVA, S. K.; SRIVASTAVA, R. K. **Managing product returns for reverse logistics**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 36(7), 524-546, 2006.
- STARLING, A. G. **Diagnóstico e avaliação do gerenciamento de resíduos sólidos do Porto de Vitória-ES**. Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2014.
- TANG, L.; JIANG, W.; SAHARIDIS, G. K. D. **An improved Benders decomposition algorithm for the logistics facility location problem with capacity expansions**. Annals of Operations Research, v. 210, n. 1, p. 165-190, 2013.
- TEIXEIRA, D. H.; DAMACENA, F. D. L. **A gestão dos resíduos sólidos da indústria de artefatos de borracha no Rio Grande do Sul e a Política Nacional de Resíduos Sólidos**. XXII Encontro Nacional do CONPEDI. São Paulo, 2013.
- THIERRY, M.; SALOMON, M.; VAN NUNEN, J.; VAN WASSENHOVE, L. **Strategic issues in product recovery management**. California Management Review, Vol. 37, No. 2 (Winter), pp. 114–135, 1995.
- TRAGANTALERNGSAK, S.; HOLT, J. **Lagrangian heuristics for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem**. European Journal of Operational Research 102.3: 611-625, 1997.
- TRAGANTALERNGSAK, S.; HOLT, J.; RÖNNQVIST, M. **An exact method for the two-echelon, single-source, capacitated facility location problem**. European Journal of Operational Research 123.3: 473-489, 2000.
- USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Solid Waste And Emergency Response. **A Waste Transfer Station: A Manual for Decision-Making**. Washington, 2002.
- ÜSTER, H.; EASWARAN, G.; AKÇALI, E.; ÇETINKAYA, S. **Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model**. Nav Res Logist 54:890–907, 2007.

VALENCIA PORT. **Memoria Anual 2011.** Disponível em:

<<http://www.valenciaport.com/es->

[ES/AreaProfesional/PublicacionesGuias/SectorPortuario/Documents/Memoria%20](http://www.valenciaport.com/es-ES/AreaProfesional/PublicacionesGuias/SectorPortuario/Documents/Memoria%20)

[Anual%20APV%20011.pdf](http://www.valenciaport.com/es-ES/AreaProfesional/PublicacionesGuias/SectorPortuario/Documents/Memoria%20)>. Acesso em: 15/07/2014.

VIA PÚBLICA. 2012. **Estudo de alternativas de tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos. Incinerador *mass burn* e Biodigestor anaeróbio. Subsídios técnicos à elaboração dos Planos Locais de Gestão dos Resíduos Sólidos.**

Disponível em: <<http://polis.org.br/wp-content/uploads/BIODIGESTAO-e-INCINERACAO.pdf>>. Acesso em: 01/02/2015.

WENTGES, P. **Accelerating Benders' decomposition for the capacitated facility location problem.** Mathematical Methods of Operations Research, v. 44, n. 2, p. 267-290, 1996.

XAVIER, L. H.; CORRÊA, H. L. **Sistemas de logística reversa: criando cadeias de suprimento sustentáveis.** Atlas, 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
1	ABORGAMA DO BRASIL LTDA	RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
2	AM CONSULTING CONSULTORIA E SERVIÇOS EM MEIO AMBIENTE LTDA	LIXO COMUM
		PAPELÃO
		PLÁSTICO
3	APARAS BOA ESPERANÇA DE PAPÉIS LTDA	PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS
4	ARCO DA ALIANÇA COMERCIO E SERVIÇOS LTDA	PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
5	BALPRENSA COMÉRCIO E INDÚSTRIA DE FERRO LTDA	SUCATA DE METAIS FERROSOS
6	BASE SÓLIDA EMPREENDIMENTOS IMOBILIÁRIOS LTDA	LIXO COMUM
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
7	BEL LAR DECOMPOSIÇÃO TÉRMICA	RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
8	BRASCO LOGÍSTICA OFFSHORE LTDA	CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO
		RESÍDUO QUÍMICO NÃO PERIGOSO
9	Brasrio Terminal de Transportes SPE LTDA	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
10	CARVALHO HOSKEN S/A ENGENHARIA E CONSTRUÇÕES	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
11	CASTILHO ALVES TERRAPLENAGEM E EXTRAÇÃO DE SAIBRO LTDA EPP	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
12	CEDAE COMPANHIA ESTADUAL DE AGUAS E ESGOTOS	LATAS DE TINTA
		LIXO COMUM
13	CENTRAL DE TRAMENTO DE RESÍDUOS DE ALCANTARA S.A	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		ISOLANTE (ISOPOR, REFRAATÓRIOS, ETC)
		LIXO COMUM
		PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
		RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
		RESÍDUOS DE VIDRO
TAIFA - Res. Embarcação		
14	CERAMICA SAO SILVESTRE DE RIO BONITO LTDA	MADEIRA
15	CERAMICA UNIAO SUDESTE LTDA	MADEIRA
16	CERÂMICA VULCÃO LTDA	MADEIRA
17	CHAO-VACO TRANSPORTE COMÉRCIO E BENEFICIAMENTO DE SUCATA DE MADEIRA LTDA	MADEIRA
18	CLEAN AMBIENTAL SERVIÇOS DE COLETA E TRANSPORTES LTDA	EPI CONTAMINADO
		PLÁSTICO CONTAMINADO
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS QUÍMICOS PERIGOSOS
19	COMÉRCIO DE RECICLAGEM SÃO LOURENÇO LTDA	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		LATA DE ALUMÍNIO
		LIXO COMUM
		METAL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO
TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO		
20	Comercio de Sucatas Paciência LTDA	SUCATA DE METAIS FERROSOS
21	COMPANHIA CONSTRUTORA VILA MAR	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
22	CONSTRUTORA ZADAR LTDA	LIXO COMUM

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
23	CONTECOM DE TERESÓPOLIS CONSULTORIA TÉCNICA E COMERCIAL LTDA	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
24	COOPERATIVA POPULAR AMIGOS DO MEIO AMBIENTE LTDA	SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO
25	COOPERATIVA RECOOPERAR DE SÃO GONÇALO	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		LATA DE ALUMÍNIO
		LIXO COMUM
		MADEIRA
		METAL
		PAPEL
		PAPELÃO
		PLÁSTICO
26	CRR - CENTRO DE RECICLAGEM RIO LTDA	RESÍDUOS DE VIDRO
		LIXO COMUM
		METAL
		MINÉRIO DE FERRO CONTAMINADO
		PAPEL
		PAPELÃO
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		RESÍDUOS DE VIDRO
		SUCATA DE METAIS FERROSOS
SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS		
27	CSA RESÍDUOS LTDA	LIXO COMUM
		MADEIRA
		METAL
		PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		RESÍDUOS DE VIDRO
		SUCATA DE METAIS FERROSOS
		TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO
TETRA PAK		
28	CSN - COMPANHIA SIDERÚRGICA NACIONAL	MADEIRA
		MINÉRIO DE FERRO CONTAMINADO
		PLÁSTICO
		PNEU
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
		SUCATA DE FERRO COM BORRACHA
		SUCATA DE METAIS FERROSOS
SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS		
29	CTR-ITABORAÍ	LIXO COMUM
		PLÁSTICO

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
30	CTR-NOVA IGUAÇU	AREIA/TERRA CONTAMINADA
		CORREIA TRANSPORTADORA
		HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		ISOLANTE (ISOPOR, REFRAATÓRIOS, ETC)
		LÂMPADA FLUORESCENTE
		LATA DE ALUMÍNIO
		LATAS DE TINTA
		LIXO COMUM
		MADEIRA
		MANGOTE/MANGUEIRA
		MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA
		METAL
		PAPEL
		PAPELÃO
		PILHA/BATERIA
		PLÁSTICO
		PNEU
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
		RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
		RESÍDUOS DE VIDRO
RESÍDUOS QUÍMICOS PERIGOSOS		
RESTOS DE BORRAS E PIGMENTOS		
SUCATA DE FERRO COM BORRACHA		
SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO		
SUCATA DE METAIS FERROSOS		
SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS		
TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO		
31	DEPOSITO DE PAPEL SANTA CECILIA LTDA	LIXO COMUM
32	EDINEIA BATISTA GOMES SILVA ME	CORREIA TRANSPORTADORA
		EPI PARA DESCARTE
		MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA
33	EMASA MINERAÇÃO S/A	MADEIRA
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
34	ESSENCIS CO-PROCESSAMENTO LTDA	LÂMPADA FLUORESCENTE
		RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
RESÍDUOS PERIGOSOS NÃO IDENTIFICADOS		
35	FARIA COMÉRCIO E APARAS DE PAPÉIS	LIXO COMUM
36	FERPAN COMÉRCIO DE METAIS	LIXO COMUM
		METAL
		PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA
RESÍDUOS DE VIDRO		

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
37	GB CORDEIRO RECICLAGENS ME	MADEIRA
38	GERDAU AÇOS LONGOS S/A	SUCATA DE METAIS FERROSOS
39	HAZTEC TECNOLOGIA E PLANEJAMENTO AMBIENTAL S/A	AMIANTO
		ÁREIA/TERRA CONTAMINADA
		BORRA OLEOSA
		CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO
		CORREIA TRANSPORTADORA
		FILTRO DE ÁGUA
		FILTRO DE AR
		FILTRO DE ÓLEO
		LÂMPADA FLUORESCENTE
		LATAS DE TINTA
		LIXO COMUM
		METAL CONTAMINADO
		PILHA/BATERIA
		RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS
		RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO CONTAMINADOS
		RESÍDUOS DE MATERIAIS TÊXTEIS
RESÍDUOS DE MATERIAIS TEXTEIS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/ OU PRODUTOS QUIMICOS		
RESÍDUOS PERIGOSOS NÃO IDENTIFICADOS		
SUCATA DE METAIS FERROSOS		
TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO		
TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO		
40	IDEA CÍCLICA	LÂMPADA FLUORESCENTE
41	ILS MONTEIRO AUTO PEÇAS	SUCATA DE METAIS FERROSOS
		SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS
42	INDUSTRIA EXTRATIVA E COMERCIAL POP LTDA	LIXO COMUM
		MADEIRA
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
43	INOVA AMBIENTAL ACESSORIA E COMÉRCIO LTDA	TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO
44	INTERSEA AMBIENTAL COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA	CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO
		HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		LÂMPADA FLUORESCENTE
		LATA DE ALUMÍNIO
		LATAS DE TINTA
		LIXO COMUM
		MADEIRA
		METAL
		PAPEL
		PILHA/BATERIA
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
		RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL
		RESÍDUOS DE VIDRO
		SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO
		SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS
TAIFA - Res. Embarcação		
TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO		
TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO		
45	ITARIO INDUSTRIA E COMERCIO DE METAIS LTDA	RESÍDUOS QUÍMICOS PERIGOSOS

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
46	J.B. FREITAS COMERCIO E SERVIÇOS DE BORRACHARIA LTDA	MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA PNEU
47	L.S. RIBEIRO COMÉRCIO OFFSHORE ME	CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO FIBRA DE VIDRO LÂMPADA FLUORESCENTE LATA DE ALUMÍNIO LIXO COMUM MADEIRA MANGOTE/MANGUEIRA METAL PAPELÃO PILHA/BATERIA PLÁSTICO RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL RESÍDUOS DE VIDRO SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO TAIFA - Res. Embarcação TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO
48	LWART LUBRIFICANTES LTDA	GRAXA
49	MACAENSE ENVIRONMENTAL OFFSHORE RECICLAGEM LTDA	LIXO COMUM METAL PAPEL PLÁSTICO RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO
50	MATERTRADE INDUSTRIA E COMÉRCIO LTDA	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
51	MEG COMÉRCIO DE SUCATAS LTDA	MADEIRA METAL PAPEL PLÁSTICO TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO TAMBOR PLÁSTICO NÃO CONTAMINADO
52	METALPRONTO INDUSTRIA E COMERCIO LTDA	METAL PAPEL PLÁSTICO RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO SUCATA DE METAIS FERROSOS SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS
53	MTR MADALENA TRATAMENTO DE RESÍDUOS URBANOS LTDA	LIXO COMUM
54	Novo Rio Comercio de Artigos Usados Ltda	PLÁSTICO
55	O TITULAR DAS BATERIAS LTDA	BATERIA PILHA/BATERIA
56	O.J.M. LORENA ME	MADEIRA
57	PARK DOS TAMBORES LTDA	TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(continua...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
58	PELFER APARAS DE PAPEL LTDA	METAL
		PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE VIDRO
59	PLASTIMASSA TECNOLOGIA EM TRATAMENTO DE RESÍDUOS LTDA	RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
60	PREFEITURA MUNICIPAL DE ITAGUAI	PNEU
61	REAL ENTULHOS E TRANSPORTES LTDA.	RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
62	RECICOOP-COOPERATIVA VITÓRIA	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		LIXO COMUM
		MADEIRA
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
63	RECIPALLET COMÉRCIO E SERVIÇOS LTDA	RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
64	RECUPERADORA DE TAMBORES PENAFIEL LTDA	MADEIRA
64	RECUPERADORA DE TAMBORES PENAFIEL LTDA	BOMBONA DE PLÁSTICO CONTAMINADA
		BOMBONA DE PLÁSTICO NÃO CONTAMINADA
		TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO
		TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO
65	REFORMADORA DE PNEUS FLUMINENSE LTDA	PNEU
66	REGENERO SERVIÇOS COMERCIO DE RESÍDUOS E SUCATAS LTDA	SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO
67	REOXIL	RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS
68	RESIDIL RESÍDUOS INDUSTRIAIS LTDA	HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)
		METAL
		PAPEL
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
69	RIO RECIBRÁS COMÉRCIO DE METAIS RECICLÁVEIS LTDA	SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS
70	SERB - SANEAMENTO E ENERGIA RENOVÁVEL DO BRASIL LTDA	CORREIA TRANSPORTADORA
		LIXO COMUM
		MADEIRA
		PLÁSTICO
		RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO
71	TAMBORTEX INDUSTRIA E COMERCIO DE TAMBORES LTDA	RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO
71	TAMBORTEX INDUSTRIA E COMERCIO DE TAMBORES LTDA	TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO
72	TJOLAR INDUSTRIA CERAMICAS LTDA	MADEIRA

APÊNDICE A – CONJUNTO DE RECEPTORAS E OS RESPECTIVOS RESÍDUOS RECEBIDOS

(conclusão...)

Código	Empresa receptora	Tipos de resíduos recebidos
73	TRANSFORMA GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS LTDA	CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO EPI PARA DESCARTE HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO) LÂMPADA FLUORESCENTE LATA DE AEROSOL LATA DE ALUMÍNIO LIXO COMUM MADEIRA MEDICAMENTO VENCIDO METAL METAL CONTAMINADO PAPEL PILHA/BATERIA PLÁSTICO PLÁSTICO CONTAMINADO RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA RESÍDUOS DE MATERIAIS TEXTEIS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/ OU PRODUTOS QUIMICOS RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL RESÍDUOS DE VIDRO SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO SUCATA DE METAIS FERROSOS SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS TAIFA - Res. Embarcação TAMBOR METÁLICO CONTAMINADO TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO VIDRO CONTAMINADO
74	VITORIA AMBIENTAL ENGENHARIA E TECNOLOGIA S.A.	CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO LÂMPADA FLUORESCENTE LATA DE AEROSOL LATA DE ALUMÍNIO LATAS DE TINTA LIXO COMUM MADEIRA METAL PAPEL PLÁSTICO RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL RESÍDUOS DE VIDRO SUCATA DE METAIS FERROSOS TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO

APÊNDICE B – MATRIZES DE DISTÂNCIA

(continua...)

- Matriz de distância (km) dos terminais (T) para as centrais de transbordo candidatas (CT):

	CT1	CT2	CT3	CT4	CT5	CT6	CT7	CT8	Sendo:
T1	6.1	4.7	3.3	5.9	24.6	68.8	73.6	67	T1 CDRJ/ CODERJ
T2	0.5	1.8	3.2	0.9	24.6	67.1	71.9	65.2	T2 LIBRA
T3	0.5	0.9	2.3	0.3	21.9	66.1	71	64.4	T3 MULTITERMINAIS
T4	5.3	3.9	2.5	5	24	68.2	73.1	66.5	T4 PENNANT
T5	3.5	2.1	0.7	3.3	22.1	66.3	71.2	64.6	T5 PETROBRÁS
T6	71.7	70.2	70.7	71.4	67.9	18.4	2.1	12.2	T6 TECAR
T7	72.5	71.1	71.6	72.2	68.5	18.6	2.3	12.7	T7 TECON
T8	1.9	0.4	1	1.6	20.5	64.7	69.6	63	T8 TRIUNFO
T9	69	67.6	68.1	68.7	64.7	15.5	2.4	9	T9 VALE

- Matriz de distância (km) das centrais de transbordo candidatas (CT) às empresas receptoras (R):

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	R16
CT1	8.2	30.0	18.1	22.1	33.3	18.8	22.6	14.7	6.5	23.2	24.0	4.6	30.1	68.4	61.9	48.8
CT2	6.7	28.5	16.6	20.6	31.8	17.3	21.2	13.2	5.0	21.7	22.6	3.1	28.6	66.9	60.4	47.3
CT3	7.2	29.0	17.1	21.1	32.3	17.8	21.6	13.7	5.5	22.2	23.1	3.6	29.1	67.4	60.9	47.8
CT4	7.9	29.7	17.8	21.7	33.0	18.4	22.3	14.4	6.2	22.8	23.7	4.2	29.8	68.1	61.6	48.5
CT5	14.1	9.5	4.2	15.1	20.5	5.8	15.2	28.5	24.6	30.3	17.3	22.6	45.5	87.6	78.8	35.9
CT6	62.4	56.0	55.9	45.8	38.4	54.0	45.4	75.5	69.7	50.4	43.9	67.2	90.3	128.7	123.2	25.4
CT7	68.9	67.4	64.8	53.1	48.5	62.3	52.8	80.7	74.0	51.6	50.7	71.9	97.2	134.2	128.7	38.3
CT8	60.4	57.1	55.3	44.9	38.9	53.5	44.4	73.0	67.2	46.4	42.5	63.6	88.4	124.3	117.7	27.8

	R17	R18	R19	R20	R21	R22	R23	R24	R25	R26	R27	R28	R29	R30	R31
CT1	21.5	6.9	36.7	48.9	50.3	157.0	30.6	7.4	25.4	20.2	32.0	111.2	44.4	45.2	24.4
CT2	20.1	5.4	35.2	47.4	48.9	155.6	29.2	6.0	23.9	18.7	30.5	109.7	42.9	43.7	22.9
CT3	20.5	5.9	35.7	47.9	49.4	156.1	29.7	6.4	24.4	19.2	31.0	110.2	43.4	44.2	23.4
CT4	21.2	6.5	36.4	48.6	50.0	156.7	30.3	7.1	25.0	19.9	31.6	110.8	44.1	44.8	24.1
CT5	2.4	15.8	10.7	46.0	51.0	170.5	9.4	18.0	41.7	15.0	10.8	97.4	60.9	29.4	11.3
CT6	56.8	61.3	57.0	22.6	30.1	209.0	56.2	60.0	85.8	47.2	56.2	51.0	105.9	37.1	47.0
CT7	65.0	67.1	67.7	22.9	25.1	222.2	67.1	64.2	91.3	53.9	67.1	60.0	112.2	48.7	55.8
CT8	56.2	59.4	57.8	18.0	24.2	215.6	57.4	57.4	83.4	46.0	57.5	56.5	103.5	38.0	47.2

APÊNDICE B – MATRIZES DE DISTÂNCIA

(conclusão...)

- Matriz de distância (km) das centrais de transbordo candidatas (CT) às empresas receptoras (R):

	R32	R33	R34	R35	R36	R37	R38	R39	R40	R41	R42	R43	R44	R45	R46
CT1	147.1	33.5	70.2	22.2	27.7	42.6	60.9	57.5	6.6	9.5	36.8	53.6	177.9	49.3	37.7
CT2	145.7	32	68.8	8.7	26.2	41.2	59.4	56	5.1	8	35.3	52.2	176.5	47.9	36.2
CT3	146.2	32.5	69.3	17.7	26.7	41.7	59.9	56.5	5.6	8.5	35.8	52.7	177	48.4	36.7
CT4	146.8	33.2	69.9	29.8	27.4	42.3	60.6	57.2	6.2	9.2	36.5	53.3	177.6	49	37.4
CT5	123.2	30.7	45.8	0.7	24.3	21.2	56.3	56.2	25.4	15.1	24	40.2	173.8	45.1	14
CT6	166.1	34.3	98.3	57.4	40.3	60.6	13.3	23.3	69.5	57.4	35	24.3	233.2	20.4	66.8
CT7	179.3	38.3	109.1	66.3	44.7	71.7	10.8	16.7	73.9	62.6	45.7	38.3	243.1	22.8	77
CT8	168.3	31.6	98.9	57.8	37.3	61.4	6.9	17.4	67.3	56.1	35.9	27.5	236.5	16.2	67.3

	R47	R48	R49	R50	R51	R52	R53	R54	R55	R56	R57	R58	R59	R60	R61
CT1	179	42.5	174.6	20.5	32.4	27	130.6	45.7	10.4	45.9	30.9	41.7	55.5	65.5	10.2
CT2	177.6	41.1	173.2	19.1	30.9	25.6	129.2	44.3	9	44.5	29.4	40.3	54	64.1	8.8
CT3	178.1	41.6	173.7	19.6	31.4	26	129.7	44.7	9.5	45	29.9	40.8	54.5	64.5	9.2
CT4	178.7	42.2	174.3	20.2	32.1	26.7	130.3	45.4	10.1	45.6	30.5	41.4	55.2	65.2	9.9
CT5	174.9	20.5	171.6	31.9	10.7	24	102.4	33.6	11.4	23.9	9.8	39.2	31.5	59.7	14.7
CT6	235.4	59.7	229.9	57.3	57.1	39.7	154	26	58.2	66.6	59.1	28.1	86.6	8.7	57.1
CT7	246.4	71.6	239.8	58.2	67.4	45.2	163.9	38.5	64.7	78	68.3	30	97	8.7	62
CT8	237.6	61.3	233.2	53.6	57.6	37.8	158.4	28.1	57	67.4	58.6	24.2	87.2	2.1	55

	R62	R63	R64	R65	R66	R67	R68	R69	R70	R71	R72	R73	R74
CT1	33.61	50.77	19.97	24.04	5.31	27.34	29.32	27.23	16.78	27.01	29.32	27.23	16.78
CT2	32.15	49.31	18.51	22.58	3.86	25.88	27.86	25.77	15.32	25.55	27.86	25.77	15.32
CT3	32.64	49.8	19	23.07	4.35	26.37	28.35	26.26	15.81	26.04	28.35	26.26	15.81
CT4	33.3	50.46	19.66	23.73	5.01	27.03	29.01	26.92	16.47	26.7	29.01	26.92	16.47
CT5	21.23	45.65	1.79	43.78	24.75	6.71	7.46	7.3	8.49	5.38	7.46	7.3	8.49
CT6	37.84	17.6	56.87	87.45	67.21	57.09	60.5	55.22	53.68	59.1	60.5	55.22	53.68
CT7	47.41	21.89	65.78	92.4	71.39	65.56	69.96	64.79	60.39	68.31	69.96	64.79	60.39
CT8	37.84	14.08	55	84.59	65.01	56.32	60.72	55.55	52.36	59.18	60.72	55.55	52.36

APÊNDICE C – TIPO DE RESÍDUOS

(continua...)

Tipo de resíduo	Classe	Perigoso ou não perigoso
AMIANTO	Classe I	PERIGOSO
AREIA/TERRA CONTAMINADA	Classe I	PERIGOSO
BATERIA	Classe I	PERIGOSO
BOMBONA DE PLÁSTICO CONTAMINADA	Classe I	PERIGOSO
BOMBONA DE PLÁSTICO NÃO CONTAMINADA	Classe II	NÃO PERIGOSO
BORRA OLEOSA	Classe I	PERIGOSO
CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO	Classe I	PERIGOSO
CORREIA TRANSPORTADORA	Classe II	NÃO PERIGOSO
EPI CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
EPI PARA DESCARTE	Classe I	PERIGOSO
FIBRA DE VIDRO	Classe I	PERIGOSO
FILTRO DE ÁGUA	Classe II	NÃO PERIGOSO
FILTRO DE AR	Classe I	PERIGOSO
FILTRO DE ÓLEO	Classe I	PERIGOSO
GRAXA	Classe I	PERIGOSO
HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)	Classe II	NÃO PERIGOSO
ISOLANTE (ISOPOR, REFRATÁRIOS, ETC)	Classe II	NÃO PERIGOSO
LÂMPADA FLUORESCENTE	Classe I	PERIGOSO
LATA DE AEROSOL	Classe I	PERIGOSO
LATA DE ALUMÍNIO	Classe II	NÃO PERIGOSO
LATAS DE TINTA	Classe I	PERIGOSO
LIXO COMUM	Classe II	NÃO PERIGOSO
MADEIRA	Classe II	NÃO PERIGOSO
MANGOTE/MANGUEIRA	Classe II	NÃO PERIGOSO
MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA	Classe II	NÃO PERIGOSO
MEDICAMENTO VENCIDO	Classe I	PERIGOSO
METAL	Classe II	NÃO PERIGOSO
METAL CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
MINÉRIO DE FERRO CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
PAPEL	Classe II	NÃO PERIGOSO
PAPELÃO	Classe II	NÃO PERIGOSO
PILHA/BATERIA	Classe I	PERIGOSO
PLÁSTICO	Classe II	NÃO PERIGOSO
PLÁSTICO CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
PNEU	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUO QUÍMICO NÃO PERIGOSO	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS	Classe I	PERIGOSO

APÊNDICE C – TIPO DE RESÍDUOS

(conclusão...)

Tipo de resíduo	Classe	Perigoso ou não perigoso
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO CONTAMINADOS	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS DE MATERIAIS TÊXTEIS	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUOS DE MATERIAIS TEXTEIS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/ OU PRODUTOS QUÍMICOS	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUOS DE SERVIÇO DE SAÚDE/AMBULATORIAL	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS DE VIDRO	Classe II	NÃO PERIGOSO
RESÍDUOS PERIGOSOS NÃO IDENTIFICADOS	Classe I	PERIGOSO
RESÍDUOS QUÍMICOS PERIGOSOS	Classe I	PERIGOSO
RESTOS DE BORRAS E PIGMENTOS	Classe I	PERIGOSO
SUCATA DE FERRO COM BORRACHA	Classe II	NÃO PERIGOSO
SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO	Classe I	PERIGOSO
SUCATA DE METAIS FERROSOS	Classe II	NÃO PERIGOSO
SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS	Classe II	NÃO PERIGOSO
TAIFA - Res. Embarcação	Classe I	PERIGOSO
TAMBOR METÁLICO CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO	Classe II	NÃO PERIGOSO
TAMBOR PLÁSTICO NÃO CONTAMINADO	Classe II	NÃO PERIGOSO
TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO
TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO	Classe II	NÃO PERIGOSO
TETRA PAK	Classe II	NÃO PERIGOSO
VIDRO CONTAMINADO	Classe I	PERIGOSO

ANEXOS

ANEXO 1 - TABELA DE DENSIDADES POR TIPO DE RESÍDUO

(continua...)

Tipo de resíduo	Densidade [kg/m³]
ÁGUA CONTAMINADA COM PRODUTOS QUÍMICOS	1
ÁGUA DE LAVAGEM DE CONTAINERES, PORÕES E TANQUES	1
AREIA/TERRA	2000
AREIA/TERRA CONTAMINADA	2000
BATERIA	1950
BOMBONA DE PLÁSTICO CONTAMINADA	40
BOMBONA DE PLÁSTICO NÃO CONTAMINADA	40
BORRA OLEOSA	55
CARTUCHO/TONNER DE IMPRESSÃO	85
CINZAS DE INCINERADOR	2,4
CORREIA TRANSPORTADORA	165
EFLUENTE SANITÁRIO	998
EPI CONTAMINADO	233
EPI PARA DESCARTE	233
FIBRA DE VIDRO	1800
FILTRO DE ÁGUA	300
FILTRO DE AR	2
FILTRO DE ÓLEO	66
FLUIDO E ÓLEO HIDRÁULICO USADO	800
GRAXA	960
HETEROGÊNEO COMPATÍVEL PARA RECICLÁVEL (PLÁSTICO, PAPEL, PAPELÃO, VIDRO)	91
ISOLANTE (ISOPOR, REFRAATÓRIOS, ETC)	113
LÂMPADA FLUORESCENTE	198
LATA DE AEROSOL	55
LATA DE ALUMÍNIO	167
LATAS DE TINTA	55
LIXO COMUM	91
LIXO COMUM CONTAMINADO	91
MADEIRA	339
MANGOTE/MANGUEIRA	165
MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA	165
MATERIAIS CONSTITUIDOS DE BORRACHA CONTAMINADA	165
METAL	800
METAL CONTAMINADO	800
MINÉRIO DE FERRO CONTAMINADO	7800
ÓLEO LUBRIFICANTE	800
ÓLEO VEGETAL	800

ANEXO 1 - TABELA DE DENSIDADES POR TIPO DE RESÍDUO

(conclusão...)

Tipo de resíduo	Densidade [kg/m³]
PAPEL	338
PAPEL CONTAMINADO	338
PAPELÃO	224
PAPELÃO CONTAMINADO	224
PILHA/BATERIA	1394
PLÁSTICO	50
PLÁSTICO CONTAMINADO	83
PNEU	93
RESÍDUO OLEOSO LÍQUIDO	800
RESÍDUO ORGÂNICO	589
RESÍDUO ORGÂNICO CONTAMINADO	589
RESÍDUO QUÍMICO NÃO PERIGOSO	334
RESÍDUOS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/OU PRODUTOS QUÍMICOS	120
RESÍDUOS CONTAMINADOS NÃO IDENTIFICADOS	120
RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO CIVIL / ENTULHO	2000
RESÍDUOS DE MADEIRA CONTENDO SUBSTÂNCIA TÓXICA	339
RESÍDUOS DE MATERIAIS TÊXTEIS	240
RESÍDUOS DE MATERIAIS TEXTEIS CONTAMINADOS COM ÓLEO E/ OU PRODUTOS QUÍMICOS	200
RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO	338
RESÍDUOS DE PAPEL/PAPELÃO CONTAMINADO	69
RESÍDUOS DE VIDRO	382
RESTOS DE BORRAS E PIGMENTOS	55
SERRAGEM	350
SUCATA DE FERRO COM BORRACHA	800
SUCATA DE MATERIAL ELÉTRICO/ ELETRÔNICO	446
SUCATA DE METAIS FERROSOS	800
SUCATA DE METAIS NÃO FERROSOS	725
TAIFA - Res. Embarcação	589
TAMBOR METÁLICO CONTAMINADO	80
TAMBOR METÁLICO NÃO CONTAMINADO	80
TAMBOR PLÁSTICO NÃO CONTAMINADO	55
TAMBOR/ BOMBONA CONTAMINADO	55
TAMBOR/BOMBONA NÃO CONTAMINADO	55
TETRA PAK	63
VIDRO CONTAMINADO	382