

LOGÍSTICA VERDE APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE
SONDAS DE EXPLORAÇÃO *OFFSHORE*

Cristiano Oliveira de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva
Leite

Rio de Janeiro
Dezembro de 2010

LOGÍSTICA VERDE APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE
SONDAS DE EXPLORAÇÃO *OFFSHORE*

Cristiano Oliveira de Souza

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Examinada por:

Prof. Laura Silvia Bahiense da Silva Leite, D. Sc.

Prof. Virgílio José Martins Ferreira Filho, D. Sc.

Prof. Rogerio de Aragão Bastos do Valle, D. Sc.

Prof. Gilson Brito Alves Lima, D. Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

DEZEMBRO DE 2010

Souza, Cristiano Oliveira de

Logística Verde Aplicada ao Gerenciamento de Resíduos de Sondas de Exploração Offshore/ Cristiano Oliveira de Souza. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2010.

XIV, 142 p.: il.; 29,7 cm.

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Produção, 2010.

Referências Bibliográficas: p. 72-75.

1. Logística Verde. 2. Programação Inteira Mista. 3. Gerenciamento de Resíduos. I. Bahiense, Laura Silvia da Silva Leite *et al.*, II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Produção. III. Título.

Agradecimentos

A Deus, ser supremo que me deu fé e força em acreditar na vitória das adversidades e desafios.

A meus pais Antonio Paulo e Maria da Penha, pelo incentivo, pelos ensinamentos, pelo carinho dado em todas as minhas jornadas da vida.

Aos orientadores Prof^a Laura Bahiense e Prof. Virgilio Ferreira Filho, pelo apoio dado, pelos ensinamentos, a paciência e a colaboração dada em toda jornada deste trabalho.

Ao Sr. Paulo Carvalho, pela contribuição desde o início deste trabalho, por sua fiel colaboração.

A Priscilla do Carmo, fonte de carinho, amor e incentivo dado em todos os momentos, em todas as jornadas e as que virão.

Aos colegas do Laboratório de Sistemas Avançados de Gestão da Produção, pela oportunidade em expor minhas idéias e pelas contribuições dadas a este trabalho em todos os momentos.

Ao Prof. José Geraldo Mexas, da Universidade Federal Fluminense, que sempre me incentivou a prosseguir nos estudos de pós-graduação e pelos conselhos dados.

A todos os colegas e amigos do Programa de Engenharia de Produção.

Aos demais amigos de longa data que sempre estiveram próximos em todos os momentos.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M. Sc.)

LOGÍSTICA VERDE APLICADA AO GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE
SONDAS DE EXPLORAÇÃO *OFFSHORE*

Cristiano Oliveira de Souza

Dezembro/2010

Orientadora: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Programa: Engenharia de Produção

Na indústria a gestão de resíduos é cada vez mais relevante, devido a políticas ambientais cada vez mais restritivas. As atividades relativas à gestão de resíduos podem gerar custos de diversas formas para as atividades industriais, através de multas, interrupção das operações ou cassações de licenciamentos ambientais. Além disso, a imagem da empresa pode ficar comprometida através de passivos ambientais, destinação final inadequada ou derramamentos provenientes de acidentes. Nesse contexto, os resíduos industriais gerados por sondas de perfuração *offshore* possuem grande relevância.

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de programação matemática, com base nas informações referentes aos resíduos, as empresas transportadoras e aos destinos finais, a fim de apoiar o tomador de decisão envolvido no processo do gerenciamento de resíduos nas sondas de perfuração, com a finalidade de minimizar os custos e os possíveis impactos ambientais causados, de tal forma que otimize a logística de movimentação dos resíduos aos seus respectivos destinos finais. Experimentos computacionais foram conduzidos através de doze instâncias, de forma a contemplar diferentes situações que podem afetar a logística de movimentação de resíduos. A partir destas instâncias, são geradas soluções ótimas que são apresentadas em esquemas que descrevem o fluxo da movimentação de resíduos.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc.)

GREEN LOGISTICS APPLIED OF MANAGEMENT WASTE OF EXPLORATORY
DRILLING

Cristiano Oliveira de Souza

December/2010

Advisor: Laura Silvia Bahiense da Silva Leite

Department: Production Engineering

In the waste management industry is increasingly relevant due to environmental policies more restrictive. Activities related to waste management can generate costs in various ways for industrial activities through fines, forfeitures or interruption of operations of environmental licenses. In addition, the company's image could be compromised by environmental liabilities, improper disposal or spills from accidents. In this context, waste water generated by offshore drilling rigs have great relevance.

This paper aims at developing a mathematical programming model, based on information concerning waste, transport companies and to final destinations in order to support the decision-maker involved in the process of waste management in drilling rigs, in order to minimize costs and potential environmental impacts, so that optimizes the logistics of moving waste to their end destinations. Computational experiments were conducted through twelve instances in order to cover different situations that may affect the logistics of handling waste. From these instances, optimal solutions that are generated are presented in diagrams that describe the flow of waste movement.

Sumário

1	Introdução.....	1
1.1	Objetivos.....	2
1.1.1	Objetivos Específicos	2
1.2	Apresentação do conteúdo.....	3
2	Revisão Bibliográfica.....	4
2.1	Logística	4
2.2	Logística Verde.....	4
2.3	Sondas de Exploração Offshore.....	7
2.4	Gerenciamento de Resíduos	10
2.4.1	Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos.....	11
2.4.2	Projeto de Controle da Poluição (PCP)	16
2.4.3	Armazenamento Temporário de Resíduos.....	18
2.4.4	Transporte Terrestre de Resíduos.....	18
2.4.5	Destinação final dos resíduos.....	21
2.4.6	Poluição e Danos Ambientais	22
2.5	Alguns estudos aplicados a logística de movimentação de resíduos	23
3	O Problema.....	28
3.1	Descrição do Problema.....	28
3.1.2	Esquemas das possíveis soluções para o modelo proposto.....	33
3.2	Notação e Modelagem proposta para o problema.....	39
3.2.1	Conjuntos	39
3.2.2	Parâmetros.....	41
3.2.3	Variáveis de decisão	43
3.3	Formulação matemática.....	45
4	Metodologia de resolução e resultados computacionais	51
4.1	Estudo de Caso.....	51
4.2	Dados Utilizados	53
4.3	Instâncias geradas.....	54
4.4	Resultados Computacionais.....	58
4.4.1	Soluções para cada instância.....	58
4.4.2	Esquemas das soluções para o horizonte de planejamento semanal	60

5 Conclusões e trabalhos futuros	73
6 Referências Bibliográficas	75
7 Apêndice.....	79
7.1 Custos de destinação	79
7.2 Custos de Transporte	82
7.3 Resultados.....	82
7.3.1 Instância 1.0	82
7.3.2 Instância 1.1	85
7.3.3 Instância 1.2	88
7.3.4 Instância 1.3	91
7.3.5 Instância 2.0	93
7.3.6 Instância 2.1	96
7.3.7 Instância 2.2	99
7.3.8 Instância 2.3	102
7.3.9 Instância 3.0	104
7.3.10 Instância 3.1	107
7.3.11 Instância 3.2	110
7.3.11 Instância 3.3	113
7.4 Esquema das soluções para os horizontes de planejamento mensal e bimestral	115
7.4.1 Instância 2.0	115
7.4.2 Instância 2.1	120
7.4.3 Instância 2.2	121
7.4.4 Instância 2.3	123
7.4.5 Instância 3.0	125
7.4.6 Instância 3.1	129
7.4.7 Instância 3.2	130
7.4.8 Instância 3.3	132
7.5 Formulação do Modelo proposto de Programação Inteira Mista em Mosel	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação entre Logística Verde e Logística Reversa	7
Figura 2 – Plataforma semi-submersível.....	8
Figura 3 – Sumário dos aspectos ambientais.....	10
Figura 4 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos.....	15
Figura 5 – Armazenador de resíduos intercambiável	20
Figura 6 – Modelo conceitual do sistema de Logística Reversa	24
Figura 7 – Tratamento realizado em veículos em final de vida (simplificado).....	27
Figura 8 - Ciclo operacional dos resíduos gerados por sondas de perfuração <i>offshore</i> ..	30
Figura 9 – Esquema referente aos custos envolvidos no problema	32
Figura 10 – Possíveis soluções para a Destinação Final Blendagem	34
Figura 11 – Possíveis soluções para a Destinação Final Reciclagem.....	36
Figura 12 - Possíveis soluções para a Destinação Final Aterro Industrial.....	37
Figura 13 – Possíveis soluções para a Destinação Final Incineração	38
Figura 14 – Possíveis soluções para os Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento....	39
Figura 15 – Fluxograma das instâncias geradas	57
Figura 16 – Destino Final Blendagem – Instância 1.0.....	61
Figura 17 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.0	62
Figura 18 – Destino Final Aterro Industrial – Instância 1.0.....	63
Figura 19 – Destino Final Incineração – Instância 1.0	63
Figura 20 – Destino Final Rerrefino e Beneficiamento – Instância 1.0.....	63
Figura 21 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento – Instância 1.1.....	65
Figura 22 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.2	67
Figura 23 – Destino Final Blendagem– Instância 1.3.....	69
Figura 24 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.3	70
Figura 25 – Destino Final Blendagem– Instância 2.0.....	116
Figura 26 – Destino Final Reciclagem– Instância 2.0	117
Figura 27 – Destino Final Aterro Industrial– Instância 2.0	118
Figura 28 – Destino Final Incineração– Instância 2.0	118
Figura 29 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento – Instância 2.0.....	119
Figura 30 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento– Instância 2.1	120
Figura 31 – Destino Final Reciclagem – instância 2.2	122
Figura 32 – Destino Final Blendagem– Instância 2.3.....	124

Figura 33 – Destino Final Reciclagem– Instância 2.3	124
Figura 34 – Destino Final Blendagem– Instância 3.0.....	126
Figura 35 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.0	126
Figura 36 – Destino Final Aterro Industrial– Instância 3.0	127
Figura 37 – Destino Final Incineração– Instância 3.0	127
Figura 38 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento– Instância 3.0	128
Figura 39 – Destino Final Rerrefino e Beneficiamento– Instância 3.1.....	129
Figura 40 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.2.....	131
Figura 41 – Destino Final Blendagem– Instância 3.3.....	133
Figura 42 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.3	133

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação dos resíduos	12
Tabela 2 – Classificação dos resíduos gerados na operação de perfuração	16
Tabela 3 – Quantitativos de resíduos gerados e desembarcados	17
Tabela 4 – Tipo de veículo e o respectivo resíduo que pode transportar.....	21
Tabela 5 – Tipos de Destinação Final.....	21
Tabela 6 – Principais fatores de impacto ambiental em diferentes estágios na produção <i>offshore</i> de hidrocarbonetos	23
Tabela 7 – Quantidades de resíduos gerados em 316 dias de operação.....	54
Tabela 8 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento semanal.....	55
Tabela 9 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento mensal.....	56
Tabela 10 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento bimestral	56
Tabela 11 - Soluções obtidas para as instâncias geradas	59
Tabela 12 - Custos de Destinação para Blendagem.....	79
Tabela 13 - Custos de Destinação para Reciclagem.....	81
Tabela 14 - Custos de Destinação para Incineração	81
Tabela 15 - Custos de Destinação para o Aterro Industrial	81
Tabela 16 - Custos de Destinação para o Rerrefino	81
Tabela 17 - Custos de Destinação para o Beneficiamento.....	81
Tabela 18 – Custos de Transporte referentes as empresas transportadoras	82
Tabela 19 – Resultados para Blendagem – Instância 1.0.....	83
Tabela 20 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.0.....	83

Tabela 21 – Resultados para Incineração – Instância 1.0	83
Tabela 22 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.0	84
Tabela 23 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.0	84
Tabela 24 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.0.....	84
Tabela 25– Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.0	85
Tabela 26 – Resultados para Blendagem – Instância 1.1.....	85
Tabela 27 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.1	86
Tabela 28 – Resultados para Incineração – Instância 1.1	86
Tabela 29 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.1	87
Tabela 30 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.1	87
Tabela 31 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.1.....	87
Tabela 32 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.1	88
Tabela 33 – Resultados para Blendagem – Instância 1.2.....	88
Tabela 34 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.2.....	89
Tabela 35 – Resultados para Incineração – Instância 1.2	89
Tabela 36 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.2	89
Tabela 37 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.2	90
Tabela 38 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.2.....	90
Tabela 39 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.2	90
Tabela 40 – Resultados para Blendagem – Instância 1.3.....	91
Tabela 41 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.3	92
Tabela 42 – Resultados para Incineração – Instância 1.3	92
Tabela 43 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.3	92
Tabela 44 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.3	92
Tabela 45 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.3.....	93
Tabela 46 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.3	93
Tabela 47 – Resultados para Blendagem – Instância 2.0.....	94
Tabela 48 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.0.....	94
Tabela 49 – Resultados para Incineração – Instância 2.0	95
Tabela 50 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.0	95
Tabela 51 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.0	95
Tabela 52 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.0.....	96
Tabela 53 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.0	96
Tabela 54 – Resultados para Blendagem – Instância 2.1.....	97

Tabela 55 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.1	97
Tabela 56 – Resultados para Incineração – Instância 2.1	97
Tabela 57 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.1	98
Tabela 58 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.1	98
Tabela 59 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.1	98
Tabela 60 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.1	99
Tabela 61 – Resultados para Blendagem – Instância 2.2.....	99
Tabela 62 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.2	100
Tabela 63 – Resultados para Incineração – Instância 2.2	100
Tabela 64 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.2	100
Tabela 65 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.2	101
Tabela 66 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.2.....	101
Tabela 67 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.2	101
Tabela 68 – Resultados para Blendagem – Instância 2.3.....	102
Tabela 69 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.3	103
Tabela 70 – Resultados para Incineração – Instância 2.3	103
Tabela 71 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.3	103
Tabela 72 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.3	103
Tabela 73 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.3.....	104
Tabela 74 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.3	104
Tabela 75 – Resultados para Blendagem – Instância 3.0.....	105
Tabela 76 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.0.....	105
Tabela 77 – Resultados para Incineração – Instância 3.0	106
Tabela 78 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.0	106
Tabela 79 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.0	106
Tabela 80 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.0.....	107
Tabela 81 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.0	107
Tabela 82 – Resultados para Blendagem – Instância 3.1.....	108
Tabela 83 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.1	108
Tabela 84 – Resultados para Incineração – Instância 3.1	108
Tabela 85 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.1	109
Tabela 86 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.1	109
Tabela 87 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.1.....	109
Tabela 88 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.1	110

Tabela 89 – Resultados para Blendagem – Instância 3.2.....	110
Tabela 90 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.2.....	111
Tabela 91 – Resultados para Incineração – Instância 3.2	111
Tabela 92 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.2	112
Tabela 93 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.2	112
Tabela 94 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.2.....	112
Tabela 95 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.2	113
Tabela 96 – Resultados para Blendagem – Instância 3.3.....	113
Tabela 97 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.3	114
Tabela 98 – Resultados para Incineração – Instância 3.3	114
Tabela 99 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.3	114
Tabela 100 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.3.....	115
Tabela 101 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.0.....	115
Tabela 102 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.3	115

LISTA DE SÍMBOLOS E NOMENCLATURAS

ABNT.....	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CGPEG.....	Coordenação Geral de Petróleo e Gás
CIF.....	Cost, Insurance and Freight
CLM.....	Council of Logistics Management
CONAMA.....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DILIC.....	Diretoria de Licenciamento Ambiental
ELV.....	End-of-life vehicle (Veículo no final de vida)
FIESP.....	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
FIRJAN.....	Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro
FO.....	Função Objetivo
FOB.....	Freight on Board
GAP.....	Medida relativa (%) de algum valor em relação a uma solução ótima.
IBAMA.....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
LR.....	Logística Reversa
LV.....	Logística Verde
PCP.....	Projeto de Controle da Poluição
PET.....	Polietireno Tereftalato – garrafas de refrigerante, água, detergente

PNRS..... Política Nacional de Resíduos Sólidos
PO..... Pesquisa Operacional
SMQS..... Saúde, Meio Ambiente, Qualidade e Segurança

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Custos totais para o horizonte de planejamento semanal	59
Gráfico 2 – Custos totais para o horizonte de planejamento mensal	60
Gráfico 3 – Custos totais para o horizonte de planejamento bimestral.....	60
Gráfico 4 – Custos de transporte para a instância 1.0.....	64
Gráfico 5 - Custos de destinação para a instância 1.0.....	64
Gráfico 6 – Custos de transporte para a instância 1.1.....	65
Gráfico 7 – Custos de destinação para a instância 1.1.....	66
Gráfico 8 – Custos de transporte para a instância 1.2.....	67
Gráfico 9 – Custos de destinação para a instância 1.2.....	68
Gráfico 10 – Custos de transporte para a instância 1.3.....	70
Gráfico 11 – Custos de destinação para a instância 1.3.....	71
Gráfico 12 – Custos de transporte para a instância 2.0.....	119
Gráfico 13 – Custos de destinação para a instância 2.0.....	120
Gráfico 14 – Custos de transporte para a instância 2.1.....	121
Gráfico 15 – Custos de destinação para a instância 2.1.....	121
Gráfico 16 – Custos de transporte para a instância 2.2.....	122
Gráfico 17 – Custos de destinação para a instância 2.2.....	123
Gráfico 18 – Custos de transporte para a instância 2.3.....	125
Gráfico 19 – Custos de destinação para a instância 2.3.....	125
Gráfico 20 – Custos de transporte para a instância 3.0.....	128
Gráfico 21 – Custos de destinação para a instância 3.0.....	129
Gráfico 22 – Custos de transporte para a instância 3.1.....	130
Gráfico 23 – Custos de destinação para a instância 3.1.....	130
Gráfico 24 – Custos de transporte para a instância 3.2.....	131
Gráfico 25 – Custos de destinação para a instância 3.2.....	132
Gráfico 26 – Custos de transporte para a instância 3.3.....	134
Gráfico 27 – Custos de destinação para a instância 3.3.....	134

1 Introdução

O gerenciamento de resíduos tem se tornado uma ferramenta importante no fluxo de materiais, desde o gerador até a destinação final. É importante notar que simples postos de coleta seletiva, que constituem a coleta de resíduos sólidos previamente segregados conforme a sua constituição ou composição, localizados em condomínios, clubes ou em pequenas comunidades, tem gerado um balanço positivo em relação aos custos de manuseio, segregação e transporte. Segundo LORA (2000), a disposição final inadequada de resíduos levou a poluição das águas e à contaminação dos solos, afetando diretamente a saúde humana e o meio ambiente. Em muitos países, como os Estados Unidos e Alemanha, as áreas com resíduos industriais abandonados são ainda hoje fontes de grandes problemas ambientais.

Na indústria a gestão de resíduos é cada vez mais relevante, devido a políticas ambientais, regulamentadas por órgãos governamentais que autorizam e fiscalizam as operações. As atividades relativas à gestão de resíduos podem gerar custos inesperados de diversas formas para as atividades industriais, através de multas, interrupção das operações ou cassações de licenciamentos ambientais. Além disso, a imagem da empresa perante o consumidor pode ficar comprometida através de passivos ambientais, através da destinação final inadequada ou derramamentos provenientes de acidentes. Em virtude destes fatos, o manejo correto do resíduo se torna imprescindível na cadeia produtiva de pós-consumo.

Nesse contexto, os resíduos industriais gerados por sondas de perfuração *offshore* possuem grande relevância, pois podem gerar danos ao meio ambiente quando mal gerenciados, estando diretamente ligadas ao seu gerador, oferecendo risco à imagem da empresa, custos inesperados ou interrupção da operação. Nas atividades de Exploração e Produção de Hidrocarbonetos, um eficiente gerenciamento de resíduos nas sondas de perfuração é fundamental, com a finalidade de minimizar os custos e os possíveis impactos ambientais causados, de tal forma que otimize a logística de movimentação dos resíduos aos seus respectivos destinos finais, gerando com isso benefícios para a empresa. Segundo SCHAFFEL (2002), contemplar a variável ambiental é cada vez mais uma questão decisiva para a sociedade e para a própria sobrevivência das grandes multinacionais do petróleo, que competem e se fundem na busca sem fronteiras por novas reservas de hidrocarbonetos.

Neste trabalho estudam-se as questões da Logística Verde, a qual se preocupa com os aspectos e impactos ambientais causados pela atividade logística. Esta dissertação aborda os procedimentos do gerenciamento e da movimentação de resíduos das atividades de perfuração *offshore*, tendo sido implementado um modelo matemático de programação inteira mista que fornece soluções ótimas, minimizando custos de destinação e transporte dos resíduos.

1.1 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo o desenvolvimento de um modelo de programação matemática, a fim de apoiar o tomador de decisão envolvido no processo do gerenciamento de resíduos, com base nos parâmetros referentes aos resíduos (tipo de resíduo, classificação referente ao perigo, quantidade), nas empresas transportadoras (tipos de veículos usados, capacidade dos veículos e custos de transporte) e destinos finais (capacidade do destino final, custo de destinação e distâncias).

1.1.1 Objetivos Específicos

- Apresentar os tipos de destinação final dos resíduos gerados nas operações de exploração e produção de hidrocarbonetos, classificação de resíduos industriais das operações de perfuração *offshore*, segundo a norma ABNT NBR 10.004:2004;
- Mostrar os veículos rodoviários utilizados na movimentação dos resíduos gerados por sondas de perfuração *offshore*;
- Propor um modelo de Programação Matemática Inteira Mista, com o objetivo de minimizar os custos de transporte e destinação final, determinando o fluxo de resíduos enviados para cada empresa de destino final, determinar a empresa transportadora que pode realizar a movimentação do resíduo do ponto de origem (terminal de apoio marítimo) até a empresa de destino final, fornecendo a quantidade necessária de veículos para determinada operação, obedecendo o limite de capacidade de cada empresa de destino final e cada tipo de veículo, referente ao volume de resíduos estocados temporariamente;

- Obter soluções ótimas para o problema de minimização de custos de transporte e destinação de resíduos, usando dados reais de uma operação de perfuração *offshore* em cada instância gerada, envolvendo os horizontes de planejamento semanal, mensal e bimestral e dentro desses horizontes de planejamento, gerar variações destas instâncias.

1.2 Apresentação do conteúdo

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica definindo os principais conceitos abordados nesta dissertação. Na seção 2.1 é apresentado o conceito de logística sob vários aspectos e definições. A seção 2.2 é realizada a definição da logística verde e logística reversa, realizando comparações. Na seção 2.3 é realizada uma abordagem sobre sondas de exploração *offshore* e uma análise sobre os aspectos ambientais gerados. Na seção 2.4 é realizado um estudo sobre o Gerenciamento de Resíduos, no qual são abordados os elementos pertinentes ao estudo deste trabalho.

No capítulo 3 é descrito o problema de gerenciamento de resíduos, a notação abordada, a modelagem de programação inteira mista usada na resolução do problema, bem como o estudo de caso abordado neste trabalho.

No capítulo 4 é apresentada a metodologia de resolução e o processo de experimentação computacional, no qual são descritos os dados envolvidos tais como: custos e capacidades dos destinos finais e dos veículos. Foram geradas doze instâncias, de forma a contemplar diferentes situações que podem afetar a logística de movimentação de resíduos. A partir destas instâncias são geradas soluções ótimas que são apresentadas em esquemas que descrevem o fluxo da movimentação de resíduos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões, trabalhos futuros e possíveis alternativas de uso do modelo proposto em outras situações para a movimentação de resíduos industriais na indústria.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Logística

A tarefa de disponibilizar os mais diversos tipos de produtos e serviços aos clientes nas mais variadas localidades pode ser uma tarefa complexa. Com diversas variáveis como prazos curtos, produtos perecíveis e grandes distâncias podem representar um grande desafio. A logística é uma área de grande abrangência que pode vencer essas barreiras. Alguns autores sugerem várias definições. Segundo BALLOU (1993): *“a logística empresarial trata de todas as atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como dos fluxos de informação que colocam os produtos em movimento, com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável”*. BOWERSOX e CLOSS (2001) definem a logística nas empresas como *“todas as atividades de movimentação de produtos e a transferência de informações de, para e entre os participantes de uma cadeia de suprimentos. Além disso, referem a logística como a acessibilidade de produtos e produtos no local onde são necessários e no momento em que são desejados, ajudando a agregar um maior valor do produto ao cliente pelo menor custo total”*.

Existem atividades-chave para alcançar os objetivos logísticos de custo e nível de serviço, tais como:

- Transportes;
- Manutenção dos estoques e
- Processamento de pedidos.

BALLOU (1993) considera essas atividades como primárias, pois contribuem com a maior parcela do custo total da logística ou são essenciais para a coordenação e o cumprimento da tarefa logística.

2.2 Logística Verde

O reuso de produtos e materiais não é um novo fenômeno. O retorno de materiais recicláveis e resíduos industriais chama a atenção pelo fato de possuir algum

tipo de valor e isto gera interesse ao gerador destes resíduos. Os materiais recicláveis e resíduos industriais podem estar agregados a valores de diversas naturezas: econômica, ecológica, legal, logística, de imagem corporativa, entre outros.

DONATO (2008) define a Logística Verde ou Ecologística como “*a parte da logística que se preocupa com os aspectos e impactos ambientais causados pela atividade logística, que pode trazer ganhos ambientais, pois tem como finalidade o Desenvolvimento Sustentável*”. O movimento da Logística Verde surgiu no final do século XX e início do século XXI. Vários fatores devem ser evidenciados como os que deram início a este movimento:

- A crescente poluição ambiental decorrente da emissão dos gases gerados pela combustão completa dos combustíveis fósseis durante os diversos sistemas de transporte;
- A crescente contaminação dos recursos naturais como consequência de cargas desprotegidas, tais como: caminhões com produtos químicos que se acidentam e contaminam rios, navios petroleiros que contaminam os oceanos;
- No que diz respeito à movimentação e armazenagem, destacou-se o fator de extrema importância que forma os impactos causados por vazamento dos diversos produtos contidos através de rompimento dos diques de contenção, utilizados pela armazenagem de resíduos da atividade produtiva (mineração e celulose);
- A necessidade de desenvolvimento de projetos adequados à efetiva necessidade do produto contido, de forma a evitar que as ações geradas pelo transporte ou armazenagem não causem avarias à embalagem em produtos químicos, petroquímicos, defensivos agrícolas e farmacêuticos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, capítulo II, artigo 3º, parágrafo XII, define a Logística Reversa (LR) como “*instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada*”.

A Logística Reversa aborda as características e detalhes do retorno destes materiais e resíduos para o reuso ou reaproveitamento. Além disso, pode ser vista

também como forma de gerenciar produtos com pouco ou nenhum uso, retornados por fatores como insatisfação dos clientes, devolução por erros de expedição, introdução de novos produtos, devolução de produtos defeituosos entre outros.

O Council of Logistics Management (1993, 323) define LR como “*um amplo termo relacionado às habilidades e atividades envolvidas no gerenciamento de redução, movimentação e disposição de resíduos de produtos e embalagens...*”, já STOCK (1998, 20) define como “*uma perspectiva de logística de negócios, o termo refere-se ao papel da logística no retorno de produtos, redução na fonte, reciclagem, substituição de materiais, reuso de materiais, disposição de resíduos, reforma, reparação e remanufatura...*”.

LEITE (2003) define Logística Reversa como “*a área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo e as informações logísticas correspondentes, do retorno dos bens de pós-venda e de pós-consumo ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo, por meio dos canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros*”.

FLEISCHMANN *et al.*, (1997) fez uma revisão dos trabalhos realizados em Logística Reversa, no gerenciamento do fluxo de retorno, das várias formas de reuso dos produtos e materiais nos processos de produção industrial realizadas até aquele momento. Os autores classificaram a Logística Reversa em três áreas principais:

- Planejamento da Distribuição Reversa;
- Controle do Estoque para fluxo de retorno e
- Planejamento da Produção com reuso de partes e materiais.

Recentemente POKHAREL e MUTHA (2009), fizeram uma revisão de artigos em Logística Reversa, adotando ferramentas de busca como Google Scholar, ScienceDirect, EmeraldInsight e Interscience databases. Palavras-chave tais como “recycling”, “remanufacturing”, “products returns”, “products recovery”, “reverse logistics”, “end-of-life products”, “closed-loop supply chains”, “green supply chain” foram usadas para encontrar artigos relacionados. Os trabalhos pesquisados foram organizados nas seguintes sessões: (i) entradas e coletas na Logística Reversa, (ii) Estrutura da Logística Reversa, (iii) Processos da Logística Reversa e (iv) Saídas da Logística Reversa.

COSTA (2004) realizou um estudo apresentando a Logística Reversa, bem como suas atividades, aplicadas a um estudo de caso sobre reciclagem de embalagens de PET,

utilizando simulação. Segundo a autora, existe uma distinção entre Logística Verde e Logística Reversa, já que a primeira refere-se a compreensão e minimização do impacto ecológico proveniente da logística, ou seja, redução do uso de materiais, modo de transporte, reutilização de produtos manufaturados, e a segunda, movimenta materiais reaproveitados que retornam ao processo tradicional de suprimento, produção e distribuição.

Na figura 1, é realizada uma comparação entre Logística Verde e Logística Reversa, tratando como dois conjuntos.

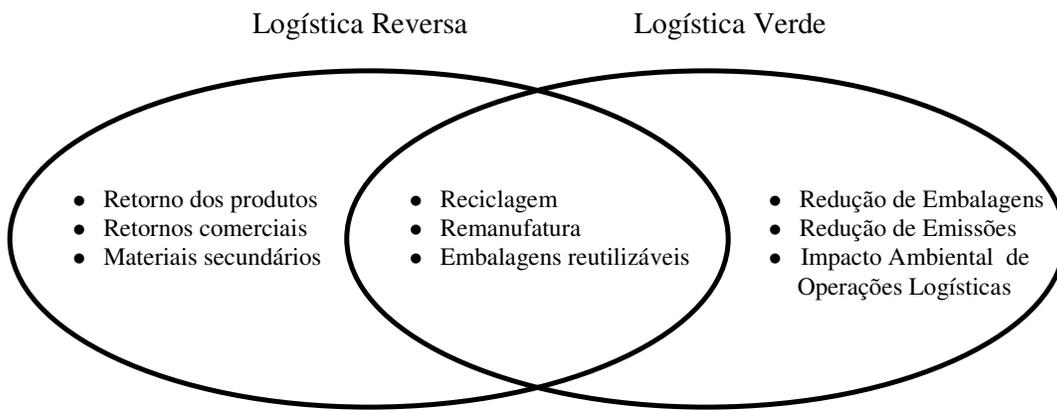


Figura 1 – Comparação entre Logística Verde e Logística Reversa, Fonte: adaptado de ROGERS e TIBBEN-LEMBKE, 2001

Como podemos observar, a Reciclagem, Remanufatura e as Embalagens reutilizáveis estão presentes na interseção dos dois conjuntos, pois nestas atividades está associado simultaneamente o fluxo de retorno de produtos de pós-venda e a preocupação com a preservação do meio ambiente.

2.3 Sondas de Exploração Offshore

Neste trabalho a unidade de perfuração marítima é o ponto gerador dos resíduos. Segundo THOMAS (2004) o emprego das unidades de perfuração marítima são condicionadas à características tais como a lâmina d'água (distância que vai do fundo do mar até a superfície da água), condições de mar, relevo do fundo do mar, finalidade do poço, disponibilidade de apoio logístico e, principalmente, à relação custo/benefício. Neste trabalho, a unidade de perfuração marítima analisada é uma plataforma semi-

submersível. Estas plataformas são estruturas com um ou mais conveses, apoiada por colunas em flutuadores submersos. Essas unidades sofrem movimentações devido à ação das ondas, correntes marítimas e ventos, com possibilidade de danificar os equipamentos a serem descidos no poço, necessitando que ela fique posicionada na superfície do mar, dentro de um círculo com raio de tolerância ditado pelos equipamentos de superfície. Dois tipos de sistemas são responsáveis pelo posicionamento da unidade flutuante: sistema de ancoragem e sistema de posicionamento dinâmico. A figura 2 mostra uma plataforma semi-submersível.



Figura 2 – Plataforma semi-submersível, Fonte: THOMAS, 2004

Os aspectos ambientais das atividades *offshore* podem se interagir com o meio ambiente, que foram agrupados nos seguintes tópicos:

- Emissão de gases: a quantidade majoritária das emissões para o ar são de produtos em combustão, incluindo dióxido de carbono, óxido de nitrogênio, dióxido de enxofre, monóxido de carbono e outras partículas. Estes poluentes atmosféricos podem gerar efeitos globais (mudanças climáticas), efeitos regionais (chuvas ácidas), e efeitos locais (qualidade do ar). A queima de gás natural ou óleo combustível nas facilidades são provenientes da geração de energia elétrica, essencial para realização das operações de exploração e produção de hidrocarbonetos.

- Descargas oceânicas: a água de produção é uma mistura natural da ocorrência de água no reservatório ou a água que foi injetada para o reservatório na melhoria da performance de produção. A água de produção é separada do óleo e gás e eventualmente descarregada para o mar. A água separada contém uma pequena quantidade de óleo residual, bem como a ocorrência de elementos químicos, tais como sais e inibidores de corrosão. Outras descargas para o mar surgem do vazamento e derramamento dos poços e equipamentos. Tais derramamentos podem consistir do óleo, gás, produtos químicos ou a mistura dos três.
- Resíduos sólidos e líquidos: uma grande variedade de resíduos é produzida nestas operações, tais como lama de perfuração, resíduos de construção, resíduos gerais da plataforma, solventes, óleos usados, resíduos de combustíveis líquidos, resíduos de escritório, etc. Alguns resíduos específicos podem ser tratados e reinjetados para os reservatórios, tais como fluidos de perfuração obedecendo as concentrações permitidas pela legislação ambiental, mas a maioria destes resíduos são destinados para bases de apoio marítimo, no qual, cada tipo de resíduo possui um tipo específico de disposição final tais como: reciclagem, incineração, coprocessamento, blendagem, aterro industrial, etc.
- Cascalho: Segundo SCHAFFEL (2002), atualmente não existe perfuração sem a produção de cascalho, resíduos de rocha que a broca produz ao abrir caminho pelas formações que são transportados à superfície pelo fluido de perfuração. O volume de cascalho gerado por um poço varia de acordo com sua profundidade, diâmetro, características geológicas das formações perfuradas e tipo de fluido utilizado. O IBAMA considera como “boa prática” em águas brasileiras o descarte de cascalho com até 10% de fluido aderido.

A figura 3 destaca alguns dos elementos que permeiam as atividades de uma plataforma, envolvendo desde a produção, as emissões, radiações, geração de ruído, odor e luz.

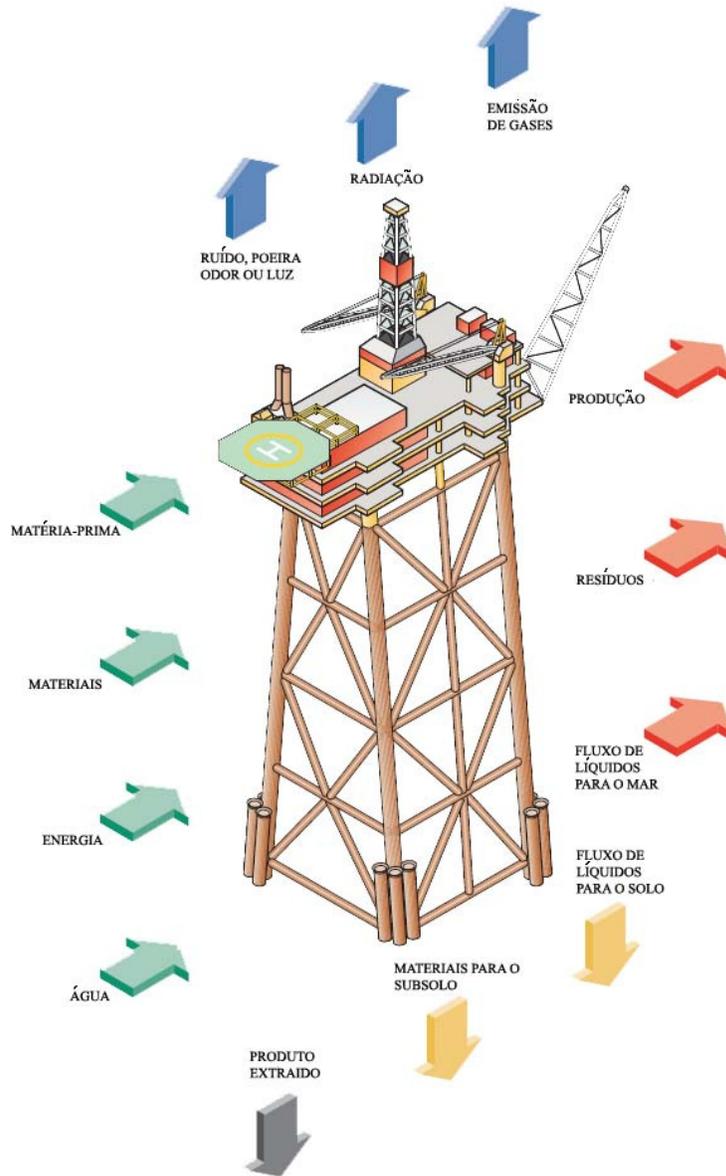


Figura 3 – Sumário dos aspectos ambientais,
 Fonte: adaptado de 2006 Environmental Report for U.K. Activity

2.4 Gerenciamento de Resíduos

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, no capítulo II, artigo 3º, parágrafo X, define o gerenciamento de resíduos como “o conjunto de ações exercidas, direta ou indiretamente, nas etapas de coleta, transporte, transbordo, tratamento e destinação final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, de acordo com plano

municipal de gestão integrada de resíduos sólidos ou com plano de gerenciamento de resíduos sólidos, exigidos na forma desta lei”.

LORA (2000) descreve dois motivos principais que levam à necessidade de se adotarem práticas para o gerenciamento de resíduos industriais:

- A necessidade da comunidade de preservar o meio ambiente e racionalizar o consumo de recursos naturais (matérias-primas e energia);
- Vantagens para o industrial, através de economias em diversos níveis e melhoria da imagem pública da empresa.

Além disso, LORA (2000) afirma que programas e projetos para o gerenciamento de resíduos sólidos devem basear-se nos princípios gerais de proteção ao meio ambiente, desta forma, o gerenciamento de resíduos deve contemplar as seguintes diretrizes básicas:

1. Adoção de tecnologias limpas, com o objetivo de eliminar e/ou minimizar a geração de resíduos e a demanda de recursos naturais, bem como reduzir a quantidade de resíduos lançados ao meio ambiente;
2. Implantação de processos de reciclagem dos resíduos gerados nas indústrias, integrando-os a um ciclo econômico;
3. Otimização das operações de coleta, segregação, manuseio, transporte e estocagem de resíduos;
4. Adoção do armazenamento dos resíduos, considerando as normas técnicas existentes, como solução temporária, ou nos casos onde não há tecnologias de tratamento adequadas;
5. Otimização da disposição final, através do tratamento dos resíduos, para a redução de seu volume e de sua periculosidade;
6. Busca de soluções para a recuperação de áreas, depósitos e locais onde ocorreu contaminação por manuseio inadequado de resíduos e derramamento acidental destes materiais;
7. Implantação de programas de automonitoração de depósito de resíduos e aterros industriais.

2.4.1 Definição e Classificação dos Resíduos Sólidos

A Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, capítulo II, artigo 3º, parágrafo XVI define os resíduos sólidos como *“material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível”*.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) editou a norma NBR 10.004:2004 para padronizar, a nível nacional, a classificação dos resíduos quanto aos seus riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, indicando quais resíduos devem ter manuseio e destinação mais rigidamente controlados. A Classificação é relevante em várias etapas no estudo, devido a geração de conjuntos de resíduos associados ao tratamento realizado por cada empresa de destinação final.

De acordo com a norma ABNT NBR 10.004:2004, os resíduos sólidos são *“resíduos no estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”*.

A tabela 1 faz um resumo da classificação dos resíduos.

Classificação dos resíduos	
Classe I	Classe II
<ul style="list-style-type: none"> • Perigosos 	<ul style="list-style-type: none"> • Não perigosos <ul style="list-style-type: none"> ○ Classe II A – Não inertes ○ Classe II B – Inertes

Tabela 1 – Classificação dos resíduos, Fonte: ABNT NBR 10.004:2004

Os resíduos são classificados em:

- Os resíduos Classe I-Perigosos são aqueles cujas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas podem acarretar em riscos à saúde pública e/ou riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada. Para que um resíduo seja apontado como Classe I, ele deve estar contido nos anexos A ou B da ABNT NBR 10.004:2004 ou apresentar uma ou mais das seguintes características:

- Inflamabilidade
- Corrosividade
- Reatividade
- Toxicidade
- Patogenicidade

Alguns exemplos de Resíduos Classe I:

- Óleo lubrificante usado ou contaminado;
- Óleo de corte e usinagem usado;
- Equipamentos descartados contaminados com óleo;
- Efluentes de galvanoplastia¹;
- Lodos gerados no tratamento de efluentes líquidos de pintura industrial;
- Efluentes líquidos ou resíduos originados do processo de preservação da madeira;
- Acumuladores elétricos a base de chumbo (baterias);
- Lâmpada com vapor de mercúrio após o uso (fluorescentes);

Os resíduos Classe II dividem-se em:

- Resíduo Classe II A – Não inertes: apresentam propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.
- Resíduo Classe II B – Inertes: são quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com a água destilada ou desionizada, à temperatura

¹ Galvanoplastia: processo usado na prateação, niquelagem ou cromagem.

ambiente, conforme ABNT NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor, conforme anexo G, da ABNT NBR 10.004.

O anexo H da ABNT NBR 10.004:2004 lista alguns resíduos classificados como não perigosos.

Segundo RIBEIRO e MORELLI (2009), a NBR 10.005 fixa os requisitos exigíveis e o método para a obtenção de extrato lixiviado² de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10.004 como Classe I - Perigosos e Classe II - Não perigosos. A ABNT NBR 10.006 fixa os requisitos exigíveis e o método para a obtenção do extrato solubilizado³ de resíduos sólidos, visando diferenciar os resíduos classificados pela ABNT NBR 10.004 como Classe II A - Não inertes e Classe II B - Inertes.

Um resumo do procedimento para classificação de resíduos sólidos quanto a sua periculosidade é mostrado na figura 4.

² Lixiviação é o processo para a determinação da capacidade de transferência de substâncias orgânicas e inorgânicas presentes no resíduo sólido, por meio de dissolução no meio extrator.

³ Solubilização: processo para a determinação da capacidade de um resíduo se dissolver em água e a avaliação da concentração dos elementos ou materiais contidos no extrato.

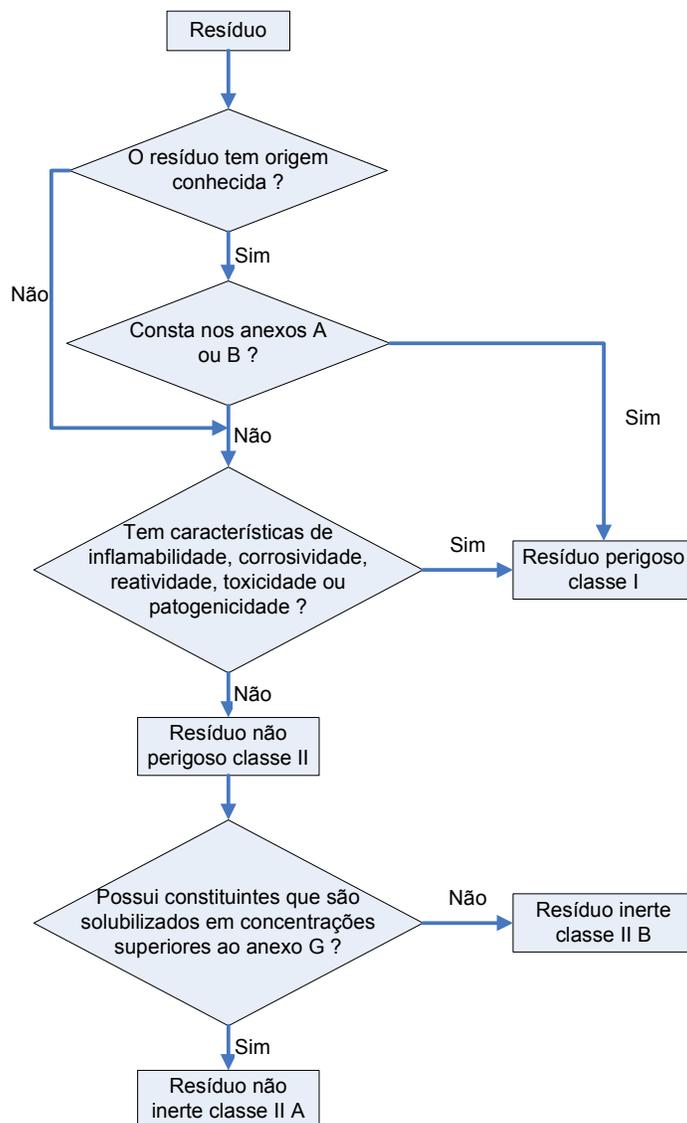


Figura 4 - Caracterização e classificação de resíduos sólidos,

Fonte: ABNT NBR 10.004:2004

No presente estudo, os resíduos provenientes das operações de perfuração *offshore* são classificados conforme mostrado na Tabela 2.

Classificação segundo a norma ABNT NBR 10.004:2004	Tipo de Resíduo
Classe I	Bombonas Contaminadas
	Lama de Perfuração
	Cimento
	Resíduos Contaminados com óleo
	Tambores contaminados
	Lâmpadas Fluorescentes

	Resíduos Infecto-contagiosos
	Óleo de Cozinha
	Resíduos oleosos (óleo usado e água oleosa)
	Aerosol
Classe II A - Não inerte	Pilha e bateria
	Resíduos não passíveis de reciclagem
	Resíduo alimentar desembarcado
	Lodo residual de esgoto tratado
	Tambores não contaminados
	Cartucho de impressão
Classe II B - Inerte	Madeira não contaminada
	Papel e Papelão
	Vidro não contaminado
	Metal não contaminado
	Lata de alumínio
	Plástico não contaminado

Tabela 2 – Classificação dos resíduos gerados na operação de perfuração, segundo a norma ABNT NBR 10.004:2004

2.4.2 Projeto de Controle da Poluição (PCP)

Representam as diretrizes para apresentação, implementação e elaboração de relatórios nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de hidrocarbonetos. É vinculado à licença ambiental dos empreendimentos, emitida pela Coordenação Geral de Petróleo e Gás (CGPEG), órgão do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/08 consolida as diretrizes da CGPEG para a implementação do Projeto de Controle da Poluição (PCP) exigido nos processos de licenciamento ambiental dos empreendimentos marítimos de exploração e produção de petróleo e gás.

Os objetivos fundamentais do PCP, segundo a Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/08, são:

- a. Gerar o mínimo possível de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas;
- b. Reciclar o máximo possível dos resíduos desembarcados;
- c. Proceder à disposição final adequada, isto é, de acordo com as normas legais vigentes, de todos os resíduos desembarcados e não reciclados;

- d. Buscar procedimentos que minimizem a poluição gerada pelas emissões atmosféricas e pelos resíduos sólidos e efluentes líquidos passíveis de descarte no mar;
- e. Aprimorar continuamente os procedimentos listados nos itens anteriores.

Na tabela 3, o Relatório do Projeto de Controle da Poluição (PCP) consta a relação de resíduos sólidos e semi-sólidos e suas respectivas quantidades.

Tabela 6 - Relatório PCP – QUANTITATIVOS DE RESÍDUOS GERADOS E DESEMBARCADOS							
Item	RESÍDUO (Obs. 3)	Quantitativo absoluto total (Obs. 4) (kg)	Embarcações (somatório)	Sonda de Perfuração		Quantitativo absoluto (kg)	Quantitativo relativo (g/homem.dia)
			Quantitativo absoluto (kg)	Quantitativo absoluto (kg)	Quantitativo Relativo (Obs. 5) (g/homem.dia)		
1	Resíduos oleosos	0,000					
2	Resíduos contaminados	0,000					
3	Tambor contaminado	0,000					
4	Lâmpada fluorescente	0,000					
5	Pilha e bateria	0,000					
6	Resíduo infecto-contagioso	0,000					
7	Cartucho de impressão	0,000					
8	Lodo residual do esgoto tratado	0,000					
9	Resíduo alimentar desembarcado	0,000					
10	Madeira não contaminada	0,000					
11	Vidro não contaminado	0,000					
12	Plástico não contaminado	0,000					
13	Papel/papelão não contaminado	0,000					
14	Metal não contaminado	0,000					
15	Tambor não contaminado	0,000					
16	Lata de alumínio	0,000					
17	Resíduos não passíveis de reciclagem	0,000					
18	Borracha não contaminada	0,000					
19	Produtos Químicos	0,000					
	Outros:						
20		0,000					
21		0,000					

Tabela 3 – Quantitativos de resíduos gerados e desembarcados

Fonte: Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/08, anexo 2

Na relação de resíduos, a contaminação é referente contaminação por óleo e/ou produtos químicos.

O valor referente ao quantitativo absoluto total é igual ao somatório do quantitativo absoluto produzidos nas embarcações com o quantitativo absoluto produzido na sonda de perfuração.

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 08/08 determina que a evolução dos dados sobre a geração de resíduos em cada empreendimento de Perfuração será acompanhada por esta Coordenação Geral, que irá estudar a forma de apresentação de metas de redução de geração nesta atividade. Embora ainda não se tenha a obrigatoriedade de apresentação de metas de redução de geração nesta atividade, a CGPEG irá observar os procedimentos que a empresa está adotando para buscar a redução na geração de resíduos nos seus empreendimentos.

2.4.3 Armazenamento Temporário de Resíduos

Segundo LORA (2000), num projeto e implantação adequados do armazenamento de resíduos devem ser observados critérios mínimos para a escolha da sua localização, bem como as condições de segurança: isolamento e sinalização, controle e operação. Devem ser consideradas ainda as formas de acondicionamento e segregação dos resíduos dentro da própria área de estocagem, o que normalmente é feito em tambores ou containers, tanques ou a granel.

A Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 08/08 2008 determina que o armazenamento temporário de resíduos é recorrente, por necessidade de espera para disposição final futura. De uma forma geral, as empresas em licenciamento não tratam o armazenamento temporário com o mesmo nível de importância das formas de disposição final. Assim, muitas vezes os locais e formas desse armazenamento não estão descritos nos relatórios e também não é informado o período de tempo em que os resíduos ficam dispostos desse modo até a disposição final.

2.4.4 Transporte Terrestre de Resíduos

Segundo GUSMÃO e DE MARTINI (2009), o transporte rodoviário de produtos perigosos constitui-se numa das atividades que merecem maior atenção e preocupação sob o aspecto ambiental, tendo em vista o potencial de risco de acidentes inerentes e as graves consequências ambientais que podem resultar.

O transporte de produtos perigosos inclui a movimentação de resíduos industriais e urbanos de diversos tipos e estados físicos e podem gerar riscos a saúde ou

contaminação de regiões onde os caminhões transitam, entre o terminal de apoio marítimo até o destino final adequado, na ocorrência de algum tipo de acidente.

A Norma ABNT NBR 13.221:2005 especifica os requisitos para o transporte de resíduos, de modo a evitar danos ao meio ambiente e proteger a saúde pública. Os requisitos gerais para o transporte de resíduos são:

- O transporte deve ser feito por meio de equipamento adequado, obedecendo às regulamentações pertinentes;
- O estado de conservação do equipamento de transporte deve ser tal que, durante o transporte, não permita vazamento ou derramamento do resíduo;
- O resíduo, durante o transporte, deve estar protegido de intempéries, assim como deve estar devidamente acondicionado para evitar o seu espalhamento na via pública ou via férrea;
- Os resíduos não podem ser transportados juntamente com alimentos, medicamentos ou objetos destinados ao uso e/ou consumo humano ou animal, ou com embalagens destinados a estes fins.

O escopo deste trabalho se restringe ao transporte rodoviário, onde são utilizados caminhões-caçamba para o transporte de resíduos sólidos, caminhões-tanque, para o transporte de lama de perfuração e resíduos oleosos e furgões que são veículos fechados para o transporte de resíduos infecto-contagiosos. A lotação é a carga útil máxima, expressa em quilogramas, incluindo o condutor e os passageiros que o veículo pode transportar.

Segundo PERROTTA (2007), a aplicação de equipamentos rodoviários do tipo multicarga, mais conhecidos pelo termo em inglês *roll-on roll-off*, atendem grandes geradores de resíduos. O caminhão possui um sistema de içamento por guincho capaz de carregar e/ou descarregar “rolando” para cima e/ou para baixo do chassi um equipamento separado e compatível. O equipamento separado é um armazenador de resíduos intercambiável.



Figura 5 – Armazenador de resíduos intercambiável, Fonte: PERROTTA, 2007

O caminhão-tanque a vácuo é um veículo que possui um equipamento com bomba a vácuo no qual transporta os resíduos líquidos para o interior de seu tanque. Neste trabalho, este tipo de veículo é usado para o transporte da lama de perfuração e dos resíduos oleosos que compreende a água oleosa e o óleo usado.

O furgão é um veículo menor, que é usado para o transporte de resíduos hospitalares, no qual compreende os resíduos infecto-contagiosos. A região onde ficam os resíduos é fechada, impossibilitando o contato dos resíduos com a região exterior.

No contexto deste trabalho, a lotação do caminhão-caçamba e do caminhão-tanque a vácuo são 10.000 kg, enquanto a lotação do furgão é de 500 kg.

A tabela 4 descreve o tipo de veículo e o respectivo resíduo que transporta.

Tipo de Veículo	Tipo de Resíduo
Caminhão-tanque	Lama de Perfuração
	Resíduos oleosos (óleo usado e água oleosa)
Caminhão-caçamba	Pilha e bateria
	Bombonas Contaminadas
	Cimento
	Resíduos Contaminados com óleo
	Tambores contaminados
	Lâmpadas Fluorescentes
	Aerosol
	Resíduos não passíveis de reciclagem
	Resíduo alimentar desembarcado
	Lodo residual de esgoto tratado

	Tambores não contaminados
	Cartucho de impressão
	Madeira não contaminada
	Papel e Papelão
	Vidro não contaminado
	Metal não contaminado
	Lata de alumínio
	Plástico não contaminado
Furgão	Resíduos Infecto-contagiosos

Tabela 4 – Tipo de veículo e o respectivo resíduo que pode transportar

2.4.5 Destinação final dos resíduos

A destinação final de resíduos representa a etapa final na logística de movimentação de resíduos. Cada tipo de resíduo é destinado para um local que é representado por uma empresa que realiza o tratamento dos resíduos. Estas empresas realizam o tratamento dos resíduos sólidos e líquidos, no qual alteram as características, composição ou propriedades do resíduo.

Nas considerações feitas aos locais de destinação final, parâmetros como a capacidade do destino final, distâncias aproximadas, em quilômetros, entre o terminal de apoio marítimo e o local de destinação final e o custo de destinação foram usadas, que influenciam na decisão gerada pela formulação no modelo de programação matemática inteira mista.

A tabela 5 mostra as opções de destino final dos resíduos gerados pelas operações de exploração e produção de petróleo.

Tipos de Destinação Final	
Devolução ao fabricante	Descontaminação
Reuso	Aterro sanitário
Reciclagem	Aterro industrial
Recondicionamento	Incineração em terra
Rerrefino	Beneficiamento
Coprocessamento	Blendagem

Tabela 5 – Tipos de Destinação Final,

Fonte: Nota Técnica CGPEG/DILIC/IBAMA nº 03/08, 2008

2.4.6 Poluição e Danos Ambientais

A atividade de exploração e produção *offshore* de hidrocarbonetos inclui tarefas de vários estágios, com uma considerável extensão, na experiência de trabalhos análogos em terra. As condições marinhas específicas mudam radicalmente o teor e a natureza da maior parte dos estágios nas operações de desenvolvimento do recurso hidrocarboneto na plataforma continental.

Cada um desses estágios impõem impactos ambientais. É fácil ver que este impacto tem uma natureza complexa e manifesta-se a si mesmo em distúrbios na forma física, química e biológica na coluna d'água, no fundo do mar e parcialmente na atmosfera.

Os resíduos sólidos e semi-sólidos provenientes de sondas de perfuração *offshore* são segregados e embalados na plataforma, transportados em navios de apoio marítimo e armazenados em áreas específicas para resíduos, onde essas áreas são classificadas em Classe I, Classe II-A e Classe II-B. A Tabela 6 mostra os fatores impactantes.

Estágio	Atividades	Tipo de natureza do impacto
Pesquisa geológica e geofísica	Pesquisa sísmica	Interferência na pesca e em outros usuários, impacto em organismos aquáticos e populações de peixes
	Testes de perfuração (perfuração estratigráfica profunda e perfuração rasa de núcleo)	Distúrbios no fundo do mar, suspensão de sedimentos, aumento na turbidez, descarga de lama e cascalhos de perfuração
Exploração	Mobilização da sonda de perfuração e perfuração exploratória	Emissões e descargas de poluentes, interferência com atividades pesqueiras e outros usuários, <i>blow-outs</i> acidentais e outros (veja teste de perfuração)
Desenvolvimento e produção	Mobilização da plataforma, operações de colocação de dutos	Distúrbios físicos, construção e descargas de comissionamento, interferências com atividades de pesca e

	e construção de módulos de apoio	outros usuários
	Perfuração de poços de produção e injeção	Ver testes de perfuração e perfuração exploratória
	Operações de produção e manutenção	Descargas operacionais, vazamentos acidentais, interferência com atividades de pesca e outros usuários, distúrbios físicos
	Tráfego de navios de apoio	Emissões e descargas operacionais (água de lastro), transtorno as aves marítimas, mamíferos e outros organismos, vazamento de óleo
Descomissionamento	Remoção de estruturas e plataformas, fechamento e abandono, uso de cargas explosivas	Descargas operacionais e emissões, interferência com atividades pesqueiras e outros usuários, impactos nos organismos aquáticos quando as descargas explosivas são usadas

Tabela 6 – Principais fatores de impacto ambiental em diferentes estágios na produção *offshore* de hidrocarbonetos, Fonte: PATIN, 1999

2.5 Alguns estudos aplicados a logística de movimentação de resíduos

HU, SHEU e HUANG (2002) apresentaram um modelo que minimiza os custos no tratamento de resíduos perigosos. O problema investigado trata a Logística Reversa de resíduos perigosos, que pode ser aplicado em indústrias de alta tecnologia. A abordagem da Logística Reversa se faz presente no planejamento, gerenciamento e controle do fluxo dos resíduos para reuso ou disposição final.

A figura 6 mostra o sistema de Logística Reversa proposto, consistindo em quatro atividades críticas: coleta, armazenamento, tratamento e distribuição.

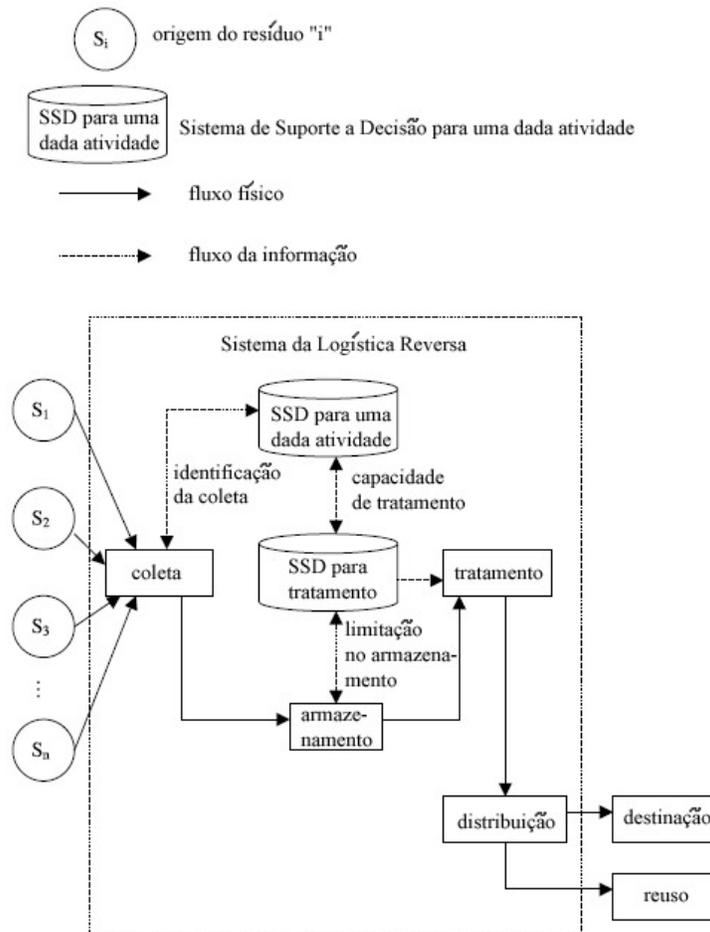


Figura 6 – Modelo conceitual do sistema de Logística Reversa,
 Fonte: Adaptado de HU, SHEU e HUANG, 2002

As configurações do sistema de Logística Reversa são dados, tais como as localizações e as respectivas capacidades das unidades envolvidas. Os resultados obtidos nesta aplicação do modelo para os vários casos sugeridos, resultou na redução em mais de 49% dos custos totais.

COSTA (2009) analisou o gerenciamento de fluxos de retorno de materiais, no qual a Logística Reversa e o planejamento da distribuição reversa envolvem o transporte físico dos produtos usados a partir do usuário final até as facilidades de coleta e recolhimento. Utilizou-se um modelo proposto por JAYARAMAN *et al.* (2003) que propôs uma modelagem de programação matemática inteira mista para um problema de localização capacitado em dois níveis: facilidades de coleta no primeiro nível e de recolhimento ou reciclagem no segundo nível. COSTA (2009) propôs alternativas para obtenção de limites inferiores para o problema por meio do uso da relaxação Lagrangeana e para a obtenção soluções aproximadas, foi proposto um algoritmo

genético especializado, que fez uso das características estruturais do modelo para resolver o problema. Foram realizados testes computacionais em 120 instâncias geradas. Os resultados foram comparados, quando possível, com as soluções exatas encontradas por um *solver* e, nesses casos, o GAP médio das soluções foi igual a 1,8% e GAP dos limites inferiores igual a 5,5% em relação ao ótimo.

SPENGLER *et al.* (1997) desenvolveram um modelo matemático para o problema de planejamento do desmonte e reciclagem de produtos no final de vida útil. O artigo trata do desenvolvimento do modelo de programação matemática inteira mista, associados a problemas de planejamento e reciclagem e suas aplicações a situações reais, que foi abordado em vários projetos e pesquisas no setor industrial. O modelo desenvolvido pode ser classificado no planejamento estratégico e tático. O modelo foi aplicado na operação de desmonte e reciclagem de resíduos de construção entre a França e Alemanha na região conhecida como *Upper Rhine Valley*.

O processo de planejamento e desmonte pode ser realizado somente se os custos de reciclagem para todos os componentes e materiais de construção já foram determinados. Isto significa que o processo de planejamento da reciclagem precede o processo de planejamento do desmonte.

Por outro lado, o processo de planejamento da reciclagem exige informações sobre a quantidade e a composição dos resíduos de construção. Devido ao fato de as capacidades de reciclagem de diferentes opções de reuso são limitadas dentro daquela região geográfica considerada, uma alocação ótima dos materiais e componentes de desmonte disponíveis para opções de reuso é necessário, no fato de determinar um custo mínimo de reciclagem.

Devido a complexidade e a estrutura da formulação do modelo de programação matemática inteira mista, um procedimento de solução, baseado na decomposição de Benders, foi desenvolvido e implementado. Nesta aplicação, as combinações de eficiência de custo dos instrumentos ambientalmente econômicos, que levam a uma alta taxa de reciclagem na região geográfica considerada foram computados. Economias de custo superiores a 20% são possíveis, comparadas as técnicas de demolição tradicional. Esta ferramenta de planejamento também pode ser aplicada a reciclagem de produtos eletrônicos e partes de automóveis.

SCHULTMANN *et al.* (2006) realizaram um estudo com aspectos de Logística Reversa com o planejamento do roteamento de veículos com o objetivo de cumprir uma nova demanda que é composta de diferentes negócios e campos de pesquisa. Tais

experiências com o retorno de um específico tipo de produto são poucas. O estudo foi realizado com o foco na reciclagem de veículos no final de vida, tradução de *end-of-life vehicle* (ELV) na Alemanha. Os principais elementos deste estudo referem-se a avaliação da rede com conceitos de separação e reprocessamento dos componentes plásticos dos veículos no final de vida útil, concentrado nos aspectos de LR. As principais motivações para as empresas integrarem estes produtos na cadeia de suprimentos são a motivação financeira e motivação legal.

A motivação financeira se baseia nos produtos que passam a ter valor significativo no mercado após a sua primeira fase de utilização, podendo consistir em limpeza do produto, reparo, reforma, canibalização ou reutilização dos componentes. A motivação legal visa cumprir os dispositivos legais, no qual os autores direcionaram o estudo para a Legislação da União Européia.

O processo de reciclagem dos veículos no final de vida útil são descritos abaixo:

- Antes de iniciar algum processo de recuperação, todo veículo passa por um processo de drenagem, no sentido de remover fluidos como óleo, combustível, entre outros;
- As partes do veículo que possuem um valor significativo de revenda são desmontadas primeiro;
- Componentes que não podem ser revendidos, embora consistem de materiais com valor de reciclagem são desmontados;
- O veículo no final de vida útil, canibalizado, é enviado para o retalhamento no sentido de obter algum ganho nas frações dos metais.

A figura 7 resume o processo de reciclagem dos veículos no final de vida útil.

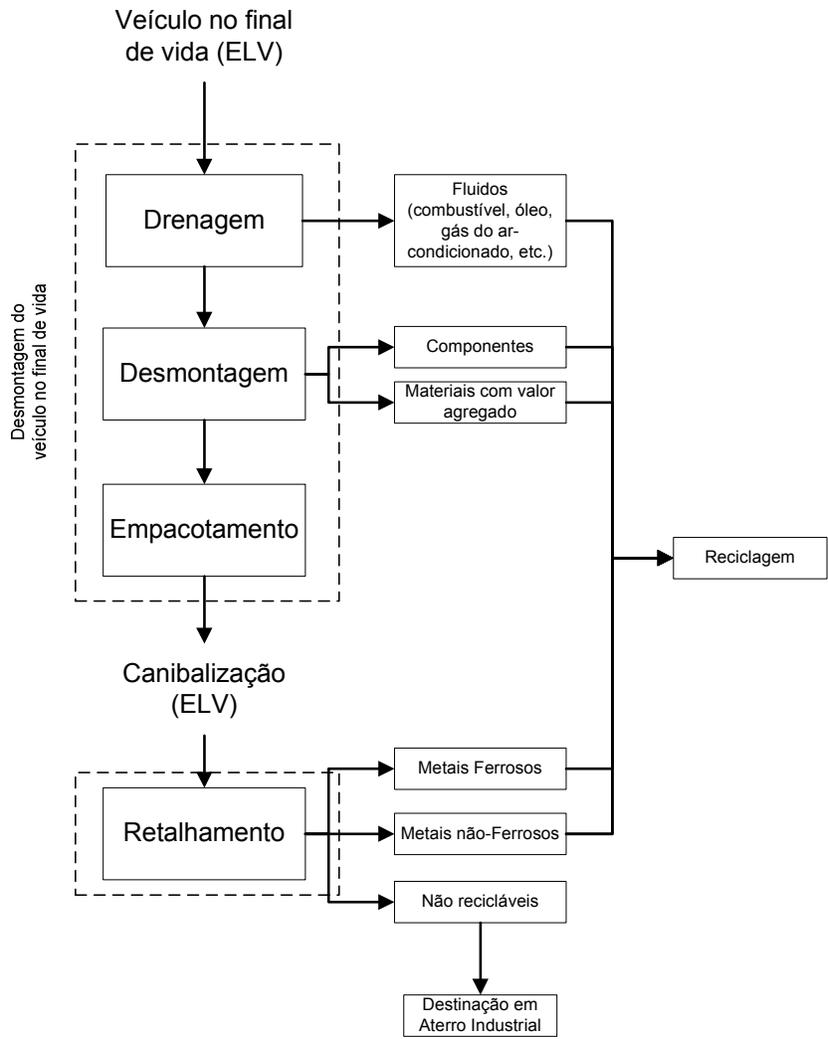


Figura 7 – Tratamento realizado em veículos em final de vida (simplificado),

Fonte: Adaptado de SCHULTMANN *et. al.*, 2006

3 O Problema

3.1 Descrição do Problema

O presente trabalho envolve um caso real de movimentação e destinação de resíduos de uma empresa de exploração e produção de petróleo. Desta forma, os dados envolvidos nesta dissertação são provenientes desta empresa e alguns possuem característica sigilosa e foram modificados para serem usados neste trabalho. A pesquisa também envolveu a visita a empresas pertinentes ao escopo do trabalho, afim de conhecer os equipamentos, procedimentos utilizados e obtenção de dados. Essas empresas compreendem o terminal de apoio marítimo, empresas de destinação e transporte de resíduos.

O problema abordado nesta dissertação envolve o insumo resíduo industrial ou lixo industrial, que é gerado em sondas de perfuração *offshore*. Este tipo de insumo é produzido em plataformas e navios de apoio, que envolvem resíduos de vários tipos, formas e que podem ser perigosos ou não.

O descarte no mar é inviabilizado por uma série de questões ambientais, legais e imagem da empresa, tornando necessário o transporte destes resíduos até o continente a fim de serem destinados corretamente. O artigo 47, da Lei nº 12.305 de 2 de agosto de 2010, determina que são proibidas as seguintes formas de destinação ou disposição final de resíduos sólidos ou rejeitos:

- I. lançamento em praias, no mar ou em quaisquer corpos hídricos;
- II. lançamento in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração;
- III. queima a céu aberto ou em recipientes, instalações e equipamentos não licenciados para essa finalidade;
- IV. outras formas vedadas pelo poder público.

Os resíduos gerados na plataforma são segregados por classe, estado físico e periculosidade. São armazenados na própria plataforma ou em áreas específicas dos barcos de apoio marítimo. O barco de apoio viaja até o continente, e quando chega ao terminal de apoio marítimo, desembarca este material em uma área para armazenamento temporário de resíduos. Estas áreas são divididas em classes de resíduos, possuindo os requisitos necessários de segurança e capacidade para estoque destes materiais. Os resíduos aguardam então o transporte terrestre que é realizado por

veículos especiais que possuem autorização para o transporte de resíduos industriais, os quais podem ser do tipo caminhão-caçamba, que transporta resíduos sólidos, caminhões-tanque que transportam resíduos líquidos, tais como lama de perfuração ou resíduos oleosos (água oleosa ou água contaminada). Os furgões são veículos menores empregados no transporte de resíduos infecto-contagiosos. Estes veículos podem ser contratados ou pertencer a alguma empresa de destinação final. Isso influencia diretamente no custo de transporte. Cada tipo de veículo possui uma capacidade limite, que é chamada de lotação líquida, a qual não pode ser ultrapassada em cada viagem. A lotação líquida do caminhão-caçamba e do caminhão-tanque é de 10.000 kg, o furgão possui a lotação líquida de 500 kg. Os caminhões-caçamba podem transportar vários tipos de resíduos em uma mesma viagem pois os resíduos sólidos são segregados na fonte geradora e acondicionados em embalagens especiais. Os caminhões-tanque transportam os resíduos líquidos, que não podem ser misturados, pois esta mistura influi na redução do preço de mercado daquele resíduo, em eventual venda, além disso, LORA (2000) afirma que a mistura de dois ou mais resíduos incompatíveis pode ocasionar reações indesejáveis ou incontrolláveis que resultam em consequências adversas ao homem, ao meio ambiente, aos equipamentos e mesmo à própria instalação industrial. Os resíduos infecto-contagiosos não podem ser misturados com outros tipos de resíduos e possuem veículos próprios para o seu transporte. Cada veículo contratado realiza uma viagem que parte do terminal de apoio marítimo até uma das empresas de destino final.

As empresas de destino final são o ponto final na movimentação dos resíduos. As empresas recebem os resíduos e podem gerar custos ou trazer benefícios. Estas empresas são divididas em conjuntos por tipos de tratamento, onde existe um conjunto pré-determinado de resíduos que cada tipo de empresa de destinação recebe. As empresas de destinação possuem uma capacidade finita, onde há uma limitação de resíduos a receber em um horizonte de planejamento previamente estabelecido, que pode ser de semanas, meses ou bimestres.

A figura 8 mostra o ciclo operacional dos resíduos gerados por sondas de perfuração *offshore*.



Figura 8 - Ciclo operacional dos resíduos gerados por sondas de perfuração *offshore*

A região em verde mostra o escopo da dissertação que trata da movimentação terrestre e destinação final de resíduos das sondas de perfuração *offshore*. Este escopo vai envolver os custos de transporte dos resíduos entre o terminal de apoio marítimo e as empresas de destino final e os custos de destinação dos resíduos que envolvem valores associados a cada empresa de tratamento de resíduos.

O estudo envolve as etapas de movimentação de resíduos que consiste na tomada de decisão da quantidade de veículos envolvidos, os tipos de resíduos que são transportados em cada veículo e a viagem realizada para a empresa de destinação final, que compreende as empresas que recebem este tipo de insumo.

Os parâmetros relacionados aos custos de transporte foram divididos em duas categorias: a primeira onde a empresa de destinação possui os veículos para o transporte de resíduos e assume o custo de transporte, modalidade conhecida como FOB (*Freight on board*). Segundo BALLOU (1993), uma das principais razões para possuir ou alugar uma frota de veículos é obter menores custos e melhor desempenho na entrega do que seria possível através do uso de transportadoras convencionais. Na outra configuração o custo da contratação de veículos, pertencentes a uma empresa transportadora, é pago pela empresa geradora de resíduos, modalidade conhecida como CIF (*Cost, Insurance and Freight*). Segundo a Associação Nacional de Transporte de Carga (NTC), os custos de transferência correspondem às despesas do transporte de cargas entre dois terminais e pode ser dividida em custos fixos e custos variáveis. O custo fixo de operação do veículo, expresso em R\$/mês, é composto das seguintes parcelas:

- Remuneração mensal do capital empatado
- Salário do motorista
- Salário de oficina

- Reposição do veículo
- Reposição do equipamento
- Licenciamento
- Seguro do veículo
- Seguro do equipamento
- Seguro de responsabilidade civil facultativo

O custo variável, expresso em R\$/km, é composto das seguintes parcelas:

- Peças, acessórios e material de manutenção
- Despesas com combustível
- Lubrificantes
- Lavagem e graxas
- Pneus e recauchutagens

Nesta dissertação, somente será considerado a parcela dos custos variáveis no custo de transporte que participa na função objetivo do modelo matemático proposto pelo parâmetro CUSTOKM.

Outra parcela da função objetivo do modelo proposto se refere aos custos de destinação final, os quais foram divididos em três categorias: Pagamento, Venda e Doação. O Pagamento consiste na contratação pela empresa geradora dos resíduos de uma empresa para a destinação de resíduos, pagando para tanto um valor determinado.

A Venda consiste na compra dos resíduos pelas empresas de destinação final, recebendo a empresa geradora um determinado valor por eles. A Doação consiste na destinação dos resíduos para empresas de destinação que não pagam e também não recebem pelos resíduos.

Na figura 9 é mostrado um esquema dos custos gerados na movimentação e destinação de resíduos de sondas de perfuração *offshore*.

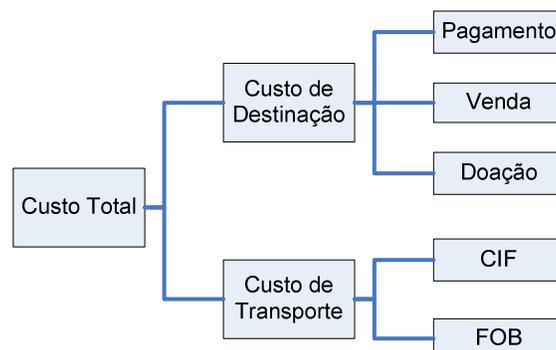


Figura 9 – Esquema referente aos custos envolvidos no problema

Os parâmetros relacionados à capacidade das empresas de destino final correspondem ao somatório da quantidade de todos os resíduos referentes ao tipo de destinação. Posteriormente, esse valor é dividido pela quantidade de empresas, obtendo portando uma média aritmética. O valor obtido desta média aritmética corresponde à capacidade de cada empresa de destinação final.

Nesta dissertação, o escopo para os destinos finais foi delineado em seis categorias: blendagem, reciclagem, aterro industrial, incineração, rerrefino e beneficiamento. Embora esses destinos finais gerem resíduos industriais devido as suas atividades, tais como a blendagem e o aterro industrial, o trabalho abordou apenas o primeiro nível na destinação dos resíduos.

A seguir é realizada uma descrição de cada tipo de destinação final, obtida através da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e literatura pertinente sobre os destinos finais.

Segundo LIMA e FERREIRA (2007), blendagem consiste na mistura de resíduos com o objetivo de homogeneizar os diversos resíduos que serão utilizados de uma mesma forma na unidade de destinação final, garantindo melhor desempenho operacional e qualidade do produto fabricado, pronto para ser co-processado.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (2010) no capítulo II, artigo 3º, parágrafo XIV, define reciclagem como “*processo e transformação dos resíduos sólidos que envolve a alteração de suas propriedades físicas, físico-químicas ou biológicas, com vistas à transformação em insumos ou novos produtos...*”.

Segundo MAROUN (2006), nos aterros industriais, os resíduos são confinados em grandes valas especialmente projetadas para receber o tipo de resíduo que está sendo nelas disposto. A mesma autora define a incineração como um processo que utiliza a combustão controlada para degradar termicamente materiais residuais. Os equipamentos envolvidos na incineração garantem o fornecimento de oxigênio, turbulência, tempo de residência e temperatura adequados e devem ser equipados com mecanismos de controle de poluição para a remoção dos produtos da combustão incompleta e das emissões de particulados de SOx⁴ e NOx⁵.

⁴ SOx: óxidos de enxofre

⁵ NOx: óxidos de nitrogênio

Na resolução CONAMA nº 362, de 23 de junho de 2005, que estabelece novas diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado, define no artigo 2º, parágrafo XIV, que o rerrefino é “*uma categoria de processos industriais de remoção de contaminantes, produtos de degradação e aditivos dos óleos lubrificantes usados ou contaminados, conferindo aos mesmos características de óleos básicos, conforme legislação específica*”.

O beneficiamento consiste na separação de toda a água e impurezas como partículas sólidas, através de uma unidade de tratamento composta de tanques, caldeiras, centrifugadores, separadores, sistema de filtragem, bombas e monitores. O resultado deste processo é a obtenção de um óleo que pode ser usado em maquinários e na geração de energia por caldeiras, altos-fornos, fundições, mineradoras, usinas de asfalto, laminadores, entre outros.

O modelo proposto indica os destinos finais e os veículos a serem usados no transporte dos resíduos objetivando os menores valores dos custos de transporte e de destinação final, respeitando as restrições de capacidade em cada empresa de destinação final e a capacidade de lotação líquida de cada tipo de veículo utilizado.

3.1.2 Esquemas das possíveis soluções para o modelo proposto

Os esquemas a seguir mostram as possíveis soluções referentes as escolhas das empresas transportadoras de resíduos e das empresas de destinação final.

A coluna *Tipo de resíduo estocado temporariamente* representam o tipo de resíduo armazenado no terminal de apoio marítimo, com sua respectiva quantidade e a distância, em quilômetros, referente a distância do destino final. Estes resíduos são agrupados em cada tipo de destinação final.

A coluna *Tipo de veículo/transportadora* representa o tipo de veículo adotado para cada resíduo, que pode ser do tipo caminhão-tanque, caminhão-caçamba ou furgão, mostrando o custo praticado na contratação de cada veículo, a lotação, que representa a capacidade do transporte de cada veículo e como solução a quantidade de veículos usados.

A coluna *Empresa de destinação* representa as empresas de destinação final com a respectiva capacidade de recebimento.

A coluna *Tipo de resíduo destinado* representa o tipo de resíduo enviado para cada empresa, com o seu respectivo volume e o custo em R\$/kg associado a cada tipo de resíduo.

3.1.2.1 Destinação Final Blendagem

As empresas de Destinação Final A, B e C possuem o processo fiscal Pagamento. O Resíduo Lama de Perfuração é transportado por caminhão-tanque e os outros resíduos são transportados por caminhão-caçamba, devido ao fato de serem resíduos sólidos. A figura 10 mostra as possibilidades de soluções para o destino final Blendagem.

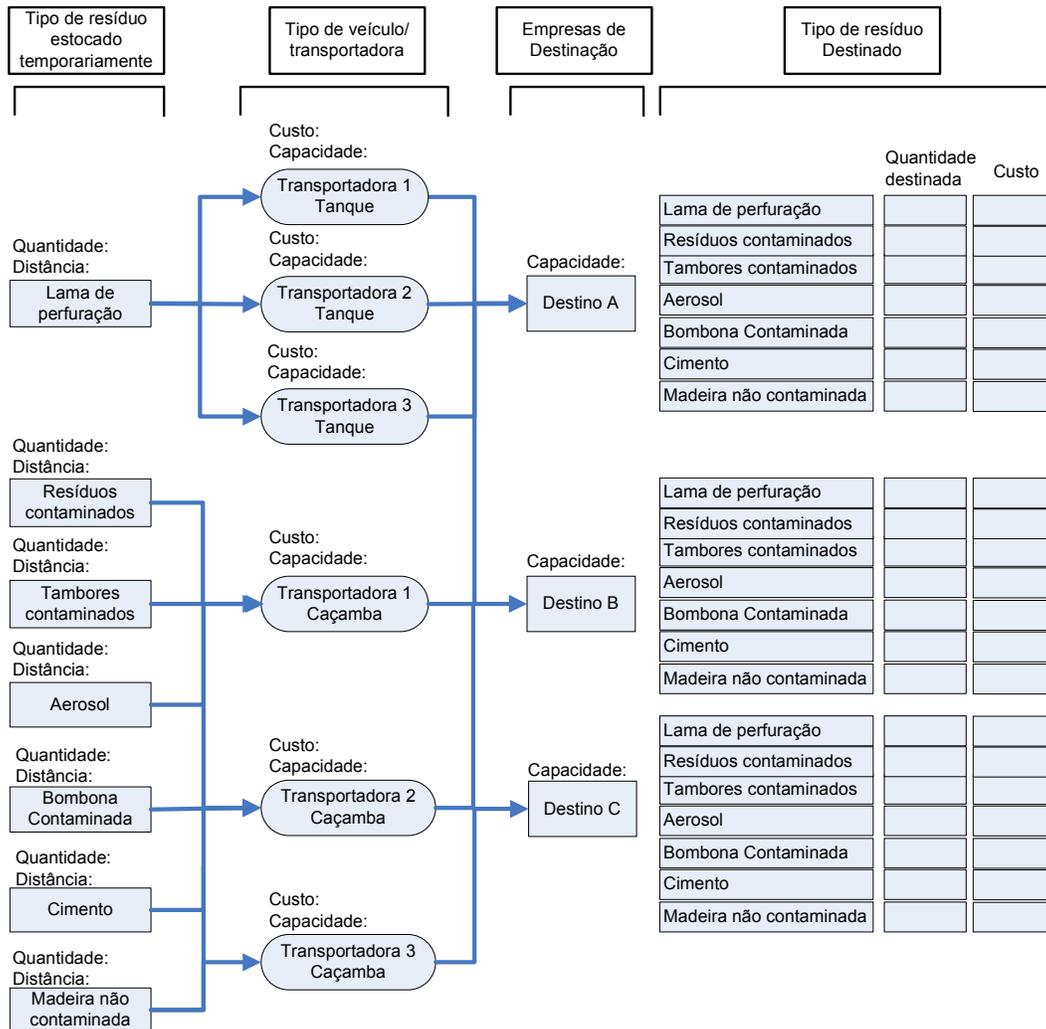


Figura 10 – Possíveis soluções para a Destinação Final Blendagem

3.1.2.2. Destinação Final Reciclagem

A empresa “Destino D” possui o processo fiscal Doação, neste caso o custo de destinação é igual a zero. As empresas de Destinação Final E, F e G possuem o processo fiscal Pagamento, gerando um custo de destinação maior que zero e as empresas H e I, possuem o processo fiscal Venda, resultando em um custo de destinação menor que zero. A empresa “Destino I” é um caso especial, pois ela possui veículos próprios para a movimentação dos resíduos operando portanto na modalidade FOB de custos de transporte (a empresa de destinação possui os veículos para o transporte de resíduos e assume o custo de transporte). A figura 11 mostra as possibilidades de soluções para o destino final Reciclagem.

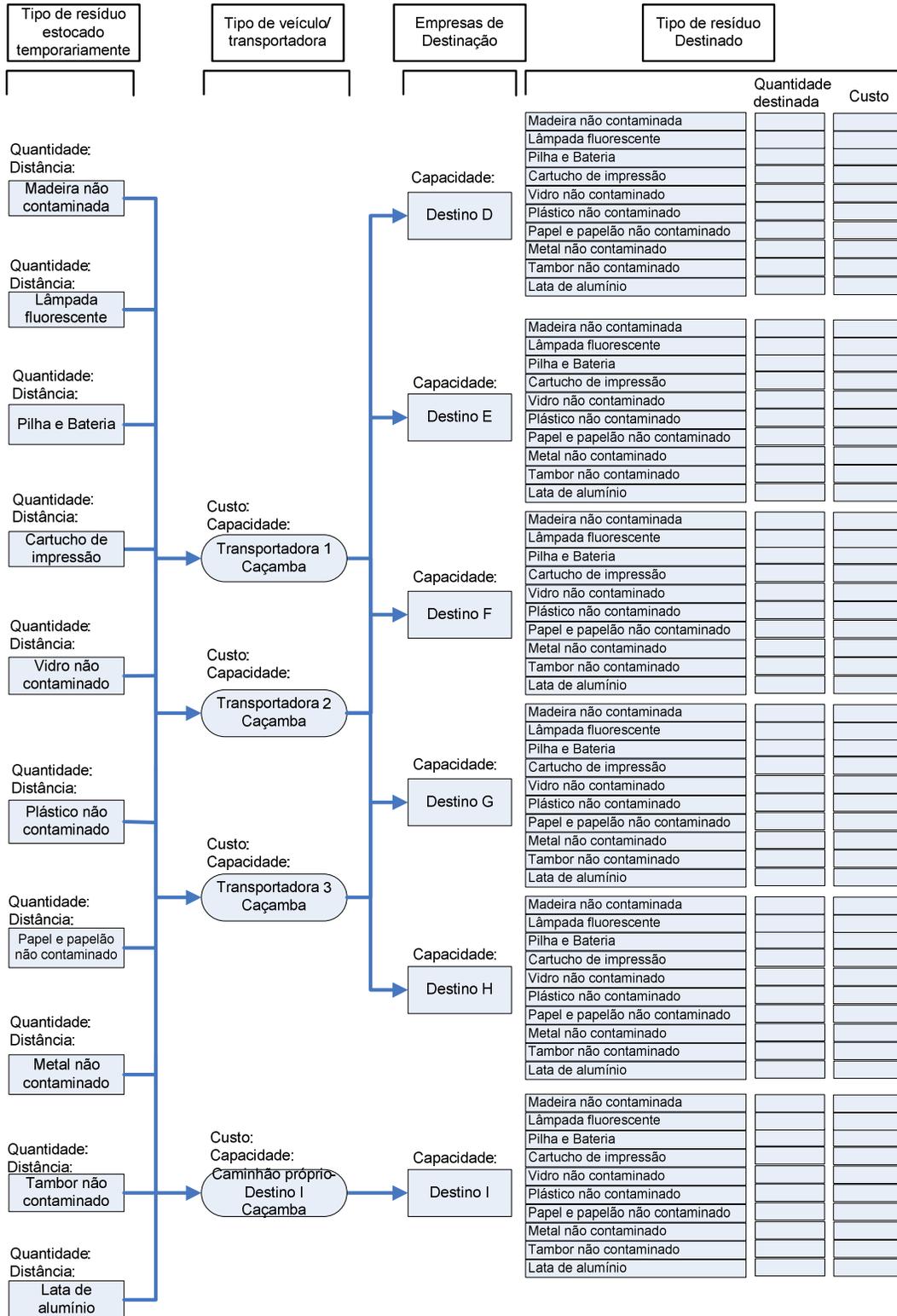


Figura 11 – Possíveis soluções para a Destinação Final Reciclagem

3.1.2.3. Destinação Final Aterro Industrial

Neste tratamento há apenas a empresa “Destino J”, com processo fiscal Pagamento. A figura 12 mostra as possibilidades de soluções para o destino final Aterro Industrial.

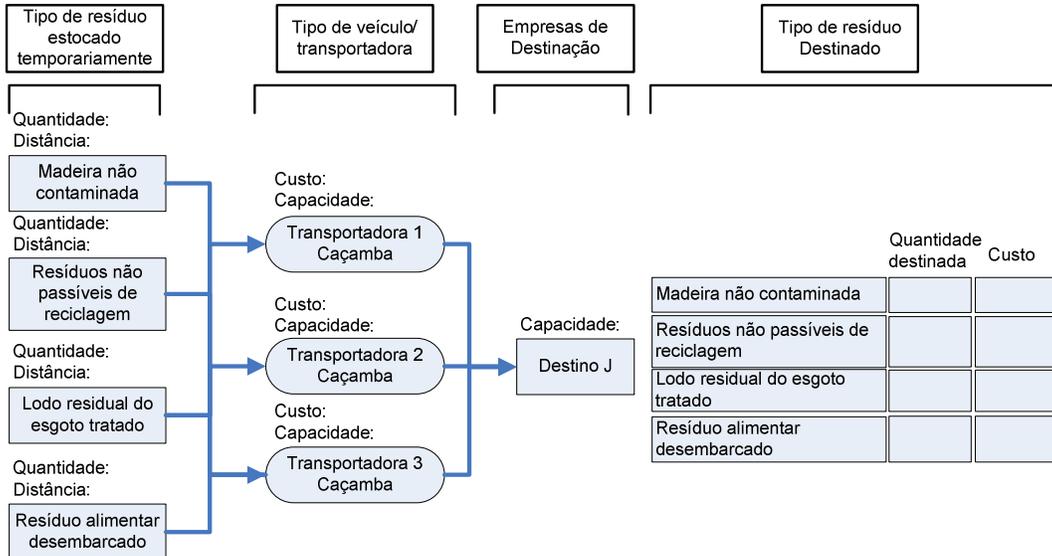


Figura 12 - Possíveis soluções para a Destinação Final Aterro Industrial

3.1.2.4. Destinação Final Incineração

Neste tratamento há apenas a empresa “Destino K”, com processo fiscal Pagamento. Neste caso o veículo utilizado para realizar o transporte deste tipo de resíduo é o furgão. A figura 13 mostra as possibilidades de soluções para o destino final Incineração.

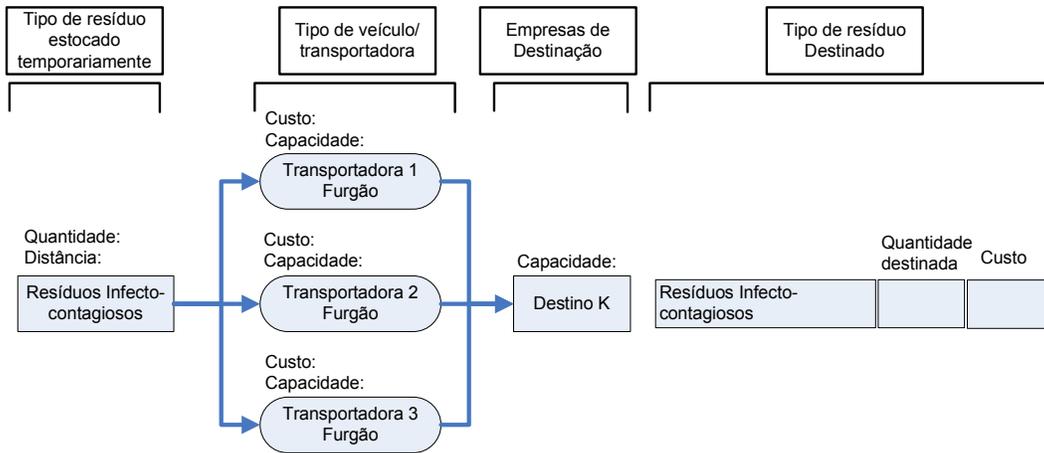


Figura 13 – Possíveis soluções para a Destinação Final Incineração

3.1.2.5. Destinação Final Rerrefino e Beneficiamento

Os resíduos oleosos compartilham destinos diferentes (Rerrefino e Beneficiamento). Todos os destinos finais neste tratamento possuem o processo fiscal Pagamento. As empresas “Destino L” e “Destino M” possuem caminhões próprios, configurando o caso FOB (a empresa de destinação possui os veículos para o transporte de resíduos e assume o custo de transporte).

A figura 14 mostra as possibilidades de soluções para os destinos finais Rerrefino e Beneficiamento.

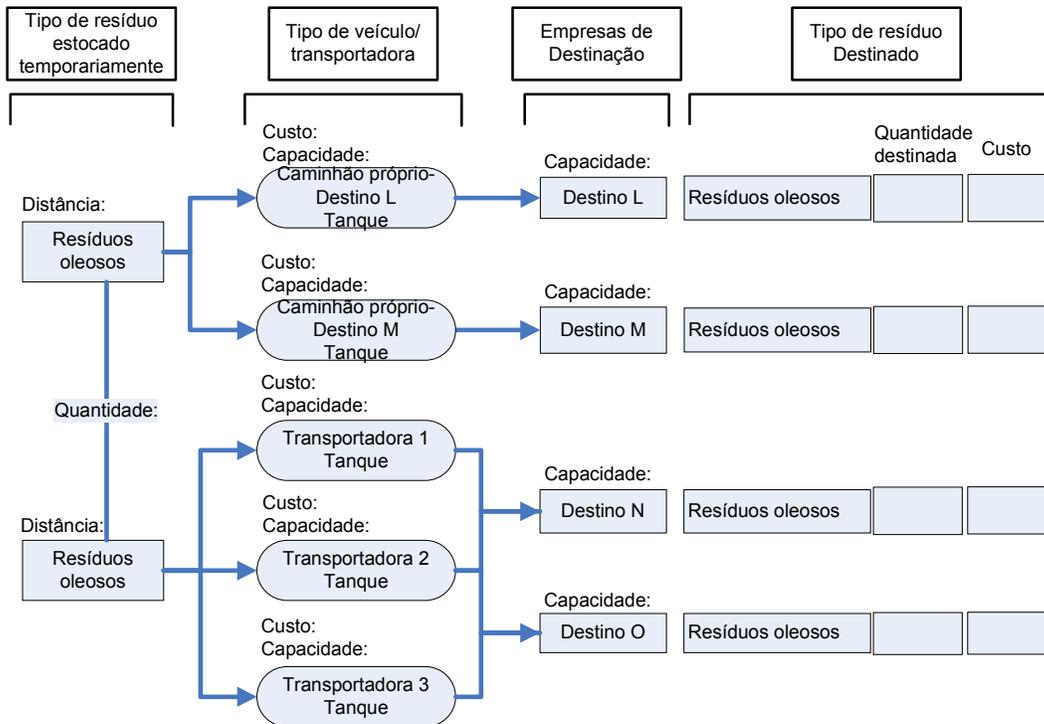


Figura 14 – Possíveis soluções para os Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento

3.2 Notação e Modelagem proposta para o problema

Nesta seção, é apresentado o modelo de programação inteira mista, os conjuntos, parâmetros e as variáveis de decisão.

3.2.1 Conjuntos

Os conjuntos envolvem os elementos como as empresas transportadoras, os tipos de veículos usados, os resíduos pertinentes a cada tipo de destinação final e as empresas de destinação final envolvidas no tratamento dos resíduos.

TRANSPORT={t | t é um tipo de empresa transportadora contratada ou um veículo próprio de uma empresa de destino final}

TIPOCAMINHAO={tc | tc é um tipo de veículo} = {caminhão-caçamba, caminhão-tanque, furgão}

RESIDUO1={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Blendagem}
= {bombona contaminada, lama de perfuração, cimento, resíduos contaminados, tambores contaminados, madeira não contaminada, aerosol}

RESIDUO2={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Reciclagem}
= {lâmpada fluorescente, madeira não contaminada, papel/papelão não contaminado, vidro não contaminado, metal não contaminado, plástico não contaminado, pilha e bateria, cartucho de impressão, tambor não contaminado, lata de alumínio}

RESIDUO3={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Incineração}
= {resíduos infecto-contagiosos}

RESIDUO4={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Aterro Industrial} = {madeira não contaminada, resíduos não passíveis de reciclagem, lodo residual do esgoto tratado, resíduo alimentar desembarcado}

RESIDUO5={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Rerrefino} = {Resíduos oleosos}

RESIDUO6={r | r é um tipo de resíduo que é enviado para o destino final Beneficiamento} = {Resíduos oleosos}

DESTINO1={d | d é um tipo de empresa do destino final de blendagem}

DESTINO2={d | d é um tipo de empresa do destino final de reciclagem}

DESTINO3={d | d é um tipo de empresa do destino final de incineração}

DESTINO4={d | d é um tipo de empresa do destino final de aterro industrial}

DESTINO5={d | d é um tipo de empresa do destino final de rerrefino}

DESTINO6={d | d é um tipo de empresa do destino final de beneficiamento}

3.2.2 Parâmetros

Os parâmetros envolvem os valores associados aos custos de contratação de veículos das empresas transportadoras, a distância associada ao transporte de cada resíduo, as capacidades das empresas de destino final, a quantidade de resíduo estocado temporariamente e o custo de destinação associado a cada resíduo em uma dada empresa de tratamento de resíduos.

$CUSTOTRANSP_{t,tc}$	custo fixo de requisitar um caminhão da transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, do tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$;
$CUSTOKM$	custo variável, associado a distância percorrida por quilômetro, na viagem dos veículos;
$DISTANCIA1_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$;
$DISTANCIA2_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$;
$DISTANCIA3_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$;
$DISTANCIA4_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$;
$DISTANCIA5_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$;
$DISTANCIA6_r$	distância, em quilômetros, associada ao transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$;

DESTINOBLEND _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO1 do destino final Blendagem
DESTINOREC _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO2 do destino final Reciclagem
DESTINOINC _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO3 do destino final Incineração
DESTINOATERRO _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO4 do destino final Aterro Industrial
DESTINORERREFINO _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO5 do destino final Rerrefino
DESTINOBENEFICIAMENTO _d	capacidade das empresas $d \in$ DESTINO6 do destino final Beneficiamento
QUANTBLENDAGEM _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO1
QUANTRECICLAGEM _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO2
QUANTINCINERA _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO3
QUANTATERRO _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO4
QUANTRERREFINO _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO5
QUANTBENEFICIAMENTO _r	quantidade do resíduo $r \in$ RESIDUO6
QUANTMADEIRA	quantidade do resíduo madeira não contaminada
QUANTOLEOSO	quantidade dos resíduos oleosos

CUSTODESTINO _{1,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO1 ao destino $d \in$ DESTINO1;
CUSTODESTINO _{2,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO2 ao destino $d \in$ DESTINO2;
CUSTODESTINO _{3,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO3 ao destino $d \in$ DESTINO3;
CUSTODESTINO _{4,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO4 ao destino $d \in$ DESTINO4;
CUSTODESTINO _{5,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO5 ao destino $d \in$ DESTINO5;
CUSTODESTINO _{6,r,d}	custo variável de destinação do resíduo $r \in$ RESIDUO6 ao destino $d \in$ DESTINO6;
CAPTRANSP _{t,tc}	capacidade dos veículos da transportadora $t \in$ TRANSPORT, do tipo de veículo $tc \in$ TIPOCAMINHAO

3.2.3 Variáveis de decisão

As variáveis de fluxo compreendem o volume de resíduo destinado para as empresas de tratamento, onde essa quantidade pode ser fracionada, caracterizando variáveis reais.

As variáveis da quantidade de veículos determinam a quantidade de caminhões-caçamba, caminhões-tanque ou furgões usados no transporte de resíduos em cada tipo de destinação final. As variáveis para a quantidade de veículos são inteiras. Estas variáveis configuram o modelo matemático como programação inteira mista (MIP, da sigla em inglês).

- $\text{fluxo1}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final blendagem, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO1}$;
- $\text{fluxo2}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final reciclagem, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO2}$;
- $\text{fluxo3}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final incineração, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO3}$;
- $\text{fluxo4}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final aterro industrial, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO4}$;
- $\text{fluxo5}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final rerrefino, do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO5}$;
- $\text{fluxo6}_{r,d}$ variável de fluxo real, para o destino final beneficiamento do tipo de resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$ enviada para o destino $d \in \text{DESTINO6}$;
- $\text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de blendagem, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO1}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO1}$;
- $\text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de reciclagem, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO2}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO2}$;
- $\text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de incineração,

pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO3}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO3}$;

$qdcaminhao4_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de aterro industrial, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO4}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO4}$;

$qdcaminhao5_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de veículos para o transporte de resíduos destinados a empresas de rerrefino, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de veículo $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO5}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO5}$;

$qdcaminhao6_{t,tc,r,d}$ variável de decisão inteira, que determina a quantidade de caminhões para o transporte de resíduos destinados a empresas de beneficiamento, pela empresa transportadora $t \in \text{TRANSPORT}$, usando o tipo de caminhão $tc \in \text{TIPOCAMINHAO}$, no transporte do resíduo $r \in \text{RESIDUO6}$, para o destino final $d \in \text{DESTINO6}$;

3.3 Formulação matemática

A função objetivo tem o escopo de minimizar o somatório dos custos de transporte dos resíduos e destinação final (blendagem, reciclagem, aterro industrial, incineração, rerrefino e beneficiamento). Desde a primeira até a sexta parcela representa o somatório dos custos totais de transporte associados a cada tipo de destino final. Da sétima a décima segunda parcela, temos o somatório dos custos de destinação final para cada tipo de destinação final.

Minimizar $Z =$

$$\begin{aligned}
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{1d \in \text{DESTINO1}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA1}_r \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{2d \in \text{DESTINO2}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA2}_r \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{3d \in \text{DESTINO3}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA3}_r \times \text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{4d \in \text{DESTINO4}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA4}_r \times \text{qdcaminhao4}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{5d \in \text{DESTINO5}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA5}_r \times \text{qdcaminhao5}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{t \in \text{TRANSPORT}} \sum_{tc \in \text{TIPOCAMINHAO}} \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{6d \in \text{DESTINO6}} \text{CUSTOTRANSP}_{t,tc} \times \text{CUSTOKM} \times \text{DISTANCIA6}_r \times \text{qdcaminhao6}_{t,tc,r,d} + \\
& \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{1d \in \text{DESTINO1}} \text{CUSTODESTINO1}_{r,d} \times \text{fluxo1}_{r,d} + \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{2d \in \text{DESTINO2}} \text{CUSTODESTINO2}_{r,d} \times \text{fluxo2}_{r,d} + \\
& \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{3d \in \text{DESTINO3}} \text{CUSTODESTINO3}_{r,d} \times \text{fluxo3}_{r,d} + \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{4d \in \text{DESTINO4}} \text{CUSTODESTINO4}_{r,d} \times \text{fluxo4}_{r,d} + \\
& \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{5d \in \text{DESTINO5}} \text{CUSTODESTINO5}_{r,d} \times \text{fluxo5}_{r,d} + \sum_{r \in \text{RESIDUO}} \sum_{6d \in \text{DESTINO6}} \text{CUSTODESTINO6}_{r,d} \times \text{fluxo6}_{r,d}
\end{aligned}$$

O modelo de programação inteira mista possui as seguintes restrições, que são descritas abaixo.

Os conjuntos de restrições, representadas pelas equações (R1) até (R6) garantem que os limites de capacidade dos destinos finais não serão excedidos.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO1}} \text{fluxo1}_{r,d} \leq \text{DESTINOBLEND}_d; \forall d \in \text{DESTINO1} \quad (\text{R1})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d} \leq \text{DESTINOREC}_d; \forall d \in \text{DESTINO2} \quad (\text{R2})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \text{fluxo3}_{r,d} \leq \text{DESTINOINC}_d; \forall d \in \text{DESTINO3} \quad (\text{R3})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \text{fluxo4}_{r,d} \leq \text{DESTINOATERRO}_d; \forall d \in \text{DESTINO4} \quad (\text{R4})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO5}} \text{fluxo5}_{r,d} \leq \text{DESTINORERREFINO}_d; \forall d \in \text{DESTINO5} \quad (\text{R5})$$

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO6}} \text{fluxo6}_{r,d} \leq \text{DESTINOBENEFICIAMENTO}_d; \forall d \in \text{DESTINO6} \quad (\text{R6})$$

Os conjuntos de restrições (R7) até (R12) garantem que todos os resíduos armazenados temporariamente no terminal de apoio marítimo serão transportados para o respectivo destino final.

$$\sum_{d \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d} \geq \text{QUANTBLENDAGEM}_r; \forall r \in \text{RESIDUO1} \quad (\text{R7})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d} \geq \text{QUANTRECICLAGEM}_r; \forall r \in \text{RESIDUO2} \quad (\text{R8})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO3}} \text{fluxo3}_{r,d} \geq \text{QUANTINCINERA}_r; \forall r \in \text{RESIDUO3} \quad (\text{R9})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO4}} \text{fluxo4}_{r,d} \geq \text{QUANTATERRO}_r; \forall r \in \text{RESIDUO4} \quad (\text{R10})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d} \geq \text{QUANTRERREFINO}_r; \forall r \in \text{RESIDUO5} \quad (\text{R11})$$

$$\sum_{d \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d} \geq \text{QUANTBENEFICIAMENTO}_r; \forall r \in \text{RESIDUO6} \quad (\text{R12})$$

A restrição (R13) realiza o compartilhamento do fluxo do resíduo madeira contaminada para os destinos finais Blendagem, Reciclagem e Aterro Industrial.

$$\sum_{d1 \in \text{DESTINO1}} \text{fluxo1}_{r,d1} + \sum_{d2 \in \text{DESTINO2}} \text{fluxo2}_{r,d2} + \sum_{d4 \in \text{DESTINO4}} \text{fluxo4}_{r,d4} = \text{QUANTMADEIRA}; \quad (\text{R13})$$

$\forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Madeira nao contaminada}$

A restrição (R14) realiza o compartilhamento do fluxo dos resíduos oleosos para os destinos finais Rerrefino e Beneficiamento.

$$\sum_{d5 \in \text{DESTINO5}} \text{fluxo5}_{r,d5} + \sum_{d6 \in \text{DESTINO6}} \text{fluxo6}_{r,d6} = \text{QUANTOLEOSO}; \quad (\text{R14})$$

$\forall r \in \text{RESIDUO5} \mid r = \text{Residuo oleoso}$

A restrição (R15), para o destino final Blendagem, restringe o transporte do resíduo Lama de perfuração ao tipo de caminhão-tanque para as empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo1}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \quad (\text{R15})$$

$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO1} \mid r = \text{Lama de perfuracao}, \forall d \in \text{DESTINO1}$

A restrição (R16), para o destino final Blendagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao tipo de caminhão-caçamba pelos veículos das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{\substack{r \in \text{RESIDUO1} \\ r \text{ é um resíduo} \\ \text{sólido}}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO1} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT1} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao1}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{\substack{r \in \text{RESIDUO1} \\ r \text{ é um resíduo} \\ \text{sólido}}} \text{fluxo1}_{r,d}, \quad (\text{R16})$$

$\forall d \in \text{DESTINO1}$

A restrição (R17), para o tipo de destino final Reciclagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao tipo de caminhão-caçamba para as empresas transportadoras contratadas, aos destinos finais da Reciclagem, com exceção do destino final com processo fiscal Venda.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO1} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT1} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d}, \quad (\text{R17})$$

$\forall d \in \text{DESTINO2} \mid d \text{ é uma empresa de destino final sem caminhão próprio}$

A restrição (R18), para o tipo de destino final Reciclagem, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao tipo de caminhão-próprio caçamba, ao destino final da empresa com processo fiscal Venda.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO1} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT1} \\ t \text{ é um caminhão} \\ \text{próprio}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao2}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO2}} \text{fluxo2}_{r,d}, \quad (\text{R18})$$

$\forall d \in \text{DESTINO2} \mid d \text{ é uma empresa de destino final com caminhão próprio}$

A restrição (R19), para o tipo de destino final Incineração, restringe o transporte dos resíduos sólidos pelo tipo de veículo furgão para as empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO1} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORT1} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao3}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO3}} \text{fluxo3}_{r,d}, \quad (\text{R19})$$

$\forall d \in \text{DESTINO3}$

A restrição (R20), para o tipo de destino final Aterro Industrial, restringe o transporte dos resíduos sólidos ao tipo de caminhão caçamba das empresas transportadoras contratadas.

$$\sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \sum_{\substack{tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \\ tc = \text{caçamba}}} \sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao4}_{t,tc,r,d} \geq \sum_{r \in \text{RESIDUO4}} \text{fluxo4}_{r,d}, \quad (R20)$$

$$\forall d \in \text{DESTINO4}$$

A restrição (R21), para o tipo de destino final Rerrefino, restringe o transporte dos Resíduos Oleosos aos caminhões-tanque pertencentes a empresa “Destino L”.

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é um caminhão} \\ \text{próprio da empresa} \\ \text{de rerrefino "Destino L"}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao5}_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo5}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \quad (R21)$$

$$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \forall d \in \text{DESTINO5} \mid d \text{ é uma empresa de rerrefino "Destino L"}$$

A restrição (R22), para o tipo de destino final Rerrefino, restringe o transporte dos Resíduos Oleosos aos caminhões-tanque pertencentes a empresa “Destino M”.

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é um caminhão} \\ \text{próprio da empresa} \\ \text{de rerrefino "Destino M"}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao5}_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo5}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \quad (R22)$$

$$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \forall d \in \text{DESTINO5} \mid d \text{ é uma empresa de rerrefino "Destino M"}$$

A restrição (R23), para o tipo de destino final Beneficiamento, restringe o transporte dos Resíduos Oleosos pelo caminhão-tanque das empresas contratadas.

$$\sum_{\substack{t \in \text{TRANSPORTI} \\ t \text{ é uma empresa} \\ \text{transportadora} \\ \text{contratada}}} \text{CAPTRANSP}_{t,tc} \times \text{qdcaminhao6}_{t,tc,r,d} \geq \text{fluxo6}_{r,d}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO} \quad (R23)$$

$$tc = \text{tanque}, \forall r \in \text{RESIDUO6}, \forall d \in \text{DESTINO6}$$

O conjunto de restrições (R24) até (R29) garantem a integralidade das variáveis da quantidade de veículos.

$$qdcaminhao1_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO1}, \forall d \in \text{DESTINO1} \quad (\text{R24})$$

$$qdcaminhao2_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO2}, \forall d \in \text{DESTINO2} \quad (\text{R25})$$

$$qdcaminhao3_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO3}, \forall d \in \text{DESTINO3} \quad (\text{R26})$$

$$qdcaminhao4_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO4}, \forall d \in \text{DESTINO4} \quad (\text{R27})$$

$$qdcaminhao5_{t,tc,r} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \forall d \in \text{DESTINO5} \quad (\text{R28})$$

$$qdcaminhao6_{t,tc,r,d} \in \mathbb{Z}, \forall t \in \text{TRANSPORT}, \forall tc \in \text{TIPOCAMINHAO}, \forall r \in \text{RESIDUO6}, \forall d \in \text{DESTINO6} \quad (\text{R29})$$

O conjunto de restrições (R30) até (R35) garantem a não negatividade das variáveis de fluxo.

$$\text{fluxo1}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO1}, \forall d \in \text{DESTINO1} \quad (\text{R30})$$

$$\text{fluxo2}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO2}, \forall d \in \text{DESTINO2} \quad (\text{R31})$$

$$\text{fluxo3}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO3}, \forall d \in \text{DESTINO3} \quad (\text{R32})$$

$$\text{fluxo4}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO4}, \forall d \in \text{DESTINO4} \quad (\text{R33})$$

$$\text{fluxo5}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO5}, \forall d \in \text{DESTINO5} \quad (\text{R34})$$

$$\text{fluxo6}_{r,d} \geq 0, \forall r \in \text{RESIDUO6}, \forall d \in \text{DESTINO6} \quad (\text{R35})$$

A formulação do modelo de programação inteira mista proposta em Mosel é apresentada no Apêndice 7.5.

4 Metodologia de resolução e resultados computacionais

4.1 Estudo de Caso

O estudo abrange uma atividade de perfuração correspondente a 316 dias na operação de exploração de hidrocarbonetos, referente aos anos de 2008 e 2009 e foram obtidos através de empresa com atuação no litoral brasileiro. Algumas informações relacionadas à perfuração possuem características de confidencialidade, conseqüentemente alguns parâmetros foram modificados para preservar o sigilo das informações e outros são fictícios.

Através do levantamento dos dados a partir de pesquisas e consultas a especialistas, foram obtidas as seguintes informações:

- Tipos de resíduos e suas respectivas quantidades: total de 21 itens obtidos através da Tabela 6 do Relatório Projeto de Controle da Poluição (PCP) - Qualitativos de Resíduos Gerados e Desembarcados;
- Tipos de Destinação Final: total de 6 tipos de destinação final utilizados abordados neste trabalho, listados abaixo:
 - Blendagem;
 - Reciclagem;
 - Aterro Industrial;
 - Incineração;
 - Rerrefino e
 - Beneficiamento.
- Tipos de veículos para o transporte de resíduos: são referentes ao estado físico e a Classe, segundo a norma ABNT NBR 10.004:2004 do resíduo transportado, que compreendem caminhão-tanque a vácuo com lotação líquida de 10.000 kg, caminhão com equipamento intercambiável aberto (caminhão-caçamba) com lotação líquida de 10.000 kg e furgão para o transporte de resíduos infecto-contagiosos, lotação líquida de 500 kg;

- Empresas de transporte de resíduos: total de 6 empresas, no qual 3 destas empresas são contratadas pela empresa geradora de resíduos (CIF) e outras 3 empresas compreendem os caminhões próprios das empresas de destino final (FOB);
- Os dados de custo de destinação de resíduos foram obtidos através de *sites* de Bolsa de Resíduos da Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN) e da Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (FIESP). Estes valores estão no Apêndice 7.1 Custos de destinação.
- Empresas de destinação final: total de 15 empresas, agrupadas nos seguintes tipos de destinação final:
 - 3 empresas para o Destino Final Blendagem;
 - 6 empresas para o Destino Final Reciclagem;
 - 1 empresa para o Destino Final Aterro Industrial;
 - 1 empresa para o Destino Final Incineração;
 - 2 empresas para o Destino Final Rerrefino e
 - 2 empresas para o Destino Final Beneficiamento.

Na prática é difícil de se obter as capacidades dos destinos finais, uma vez que estas capacidades dependem, conjuntamente, de quanto todos os clientes enviam de resíduos, quanto de disponibilidade do resíduo o destinador tem armazenado versus o quanto o mercado está pagando pelos resíduos. Por tudo isso, faz-se necessário, obter uma estimativa matemática para estas capacidades dos destinos finais. Vale ressaltar ainda que aqui, neste estudo, as capacidades estão sendo estimadas com base em apenas uma empresa geradora de resíduos.

Com o objetivo de obter valores que limitem estas capacidades dos destinos finais no modelo proposto, utilizaram-se as equações (EQ1) e (EQ2).

A equação (EQ1) realiza o somatório da quantidade de cada resíduo em cada tipo de destino final, obtendo o volume total para cada empresa de destino final.

$$QTRAT_{tr} = \sum_{r \in R} QRES_{r,tr}; \forall tr \in TR \quad (EQ1)$$

O parâmetro $QTRAT_{tr}$ refere-se a quantidade total de resíduo em cada tipo de destino final, onde $tr \in TR$. O parâmetro $QRES_{r,tr}$ refere-se a quantidade de cada

resíduo $r \in R$, onde R é o conjunto de resíduos que estão contidos em cada tipo de tratamento.

A equação (EQ2) refere-se ao valor da capacidade em cada destino final, obtendo o valor referente a capacidade de cada empresa. É calculada uma média aritmética onde a quantidade de resíduos a ser tratada, calculada pela equação (EQ1) é dividida pelo número de empresas em cada tipo de destino final $tr \in TR$.

$$CAPDEST_d = \frac{QTRAT_{tr}}{ND_{tr}}; \forall tr \in TR \quad (EQ2)$$

O parâmetro $CAPDEST_d$ refere-se ao valor da capacidade para cada destino final. O parâmetro ND_{tr} refere-se ao número de empresas em cada tipo de destino final.

O custo variável associado a cada quilômetro percorrido por cada caminhão envolvido na operação de movimentação de resíduos é fictício, no valor de R\$ 2,00.

4.2 Dados Utilizados

Os valores relacionados a quantidades de resíduos gerados utilizados nesta dissertação referem-se aos dados quantitativos obtidos no Relatório do Projeto de Controle da Poluição de uma empresa do segmento de Exploração e Produção de hidrocarbonetos. Estes dados estão contidos na Tabela 6 deste relatório, que corresponde a uma operação que compreende um período de 316 dias de operação.

A Tabela 6 mostra o volume de cada resíduo gerado em todo período da operação.

Item	RESÍDUO	Quantitativo absoluto total (kg)
1	Resíduos oleosos	855.587,0
2	Resíduos contaminados	67.194,0
3	Tambor contaminado	12.661,0
4	Lâmpada fluorescente	189,0
5	Pilha e bateria	890,0
6	Resíduo infecto-contagioso	60,0
7	Cartucho de impressão	500,0
8	Lodo residual do esgoto tratado	1.000,0

9	Resíduo alimentar desembarcado	2.229,0
10	Madeira não contaminada	40.416,0
11	Vidro não contaminado	963,0
12	Plástico não contaminado	8.422,0
13	Papel e papelão não contaminado	8.737,0
14	Metal não contaminado	112.245,0
15	Tambor não contaminado	1.000,0
16	Lata de alumínio	400,0
17	Resíduos não passíveis de reciclagem	29.493,0
18	Lama de Perfuração	690.640,0
19	Aerosol	276,0
20	Bombonas Contaminadas	1.728,0
21	Cimento	2.705,0

Tabela 7 – Quantidades de resíduos gerados em 316 dias de operação, Fonte: Tabela 6 – PCP

Há também o uso de outros dados referentes ao estudo abordado, tais como custos de destinação, custos de transporte associado a cada tipo de empresa transportadora, capacidade dos veículos, que é conhecida como lotação líquida, capacidade de cada empresa de destinação de resíduos, a distância referente ao transporte de cada resíduo, que está presente nos custos totais de transporte e o custo por quilômetro percorrido.

Os dados dos custos foram obtidos através de *sites* de bolsas de resíduos, alguns dados que não puderam ser obtidos diretamente foram arbitrados de forma coerente com a realidade. Cada uma das tabelas referentes a estes valores citados anteriormente estão presentes no Apêndice 7.1. As capacidades dos destinos finais foram obtidas por médias, conforme apresentado na seção 4.1.

4.3 Instâncias geradas

A partir do quantitativo absoluto total do volume de resíduos gerados, referente a 316 dias, foram divididos em 3 três horizontes de planejamento, levando em conta os períodos:

- por semana (instância base);
- por mês e
- por bimestre.

Estes valores foram obtidos dividindo o total de cada resíduo, descrito na Tabela 7, por 45,1 semanas, 10,37 meses e 5,19 bimestres, respectivamente, obtendo os valores referentes ao volume de resíduos, para cada horizonte de planejamento, que estão contidos nas tabelas 8, 9 e 10, respectivamente.

Item	RESÍDUO	Quantitativo absoluto total (kg)
1	Resíduos oleosos	19.013,0
2	Resíduos contaminados	1.493,2
3	Tambores contaminados	281,4
4	Lâmpada fluorescente	4
5	Pilha e bateria	19,8
6	Resíduo infecto-contagioso	1,3
7	Cartucho de impressão	11,1
8	Lodo residual do esgoto tratado	22,2
9	Resíduo alimentar desembarcado	49,5
10	Madeira não contaminada	898,1
11	Vidro não contaminado	21,4
12	Plástico não contaminado	187,2
13	Papel/papelão não contaminado	194,2
14	Metal não contaminado	2.494,3
15	Tambor não contaminado	22,2
16	Lata de alumínio	8,9
17	Resíduos não passíveis de reciclagem	655,4
18	Lama de Perfuração	15.347,6
19	Aerosol	6,1
20	Bombonas Contaminadas	38,4
21	Cimento	60,1

Tabela 8 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento semanal

Item	RESÍDUO	Quantitativo absoluto total (kg)
1	Resíduos oleosos	82.506,0
2	Resíduos contaminados	6.480
3	Tambores contaminados	1.221
4	Lâmpada fluorescente	18
5	Pilha e bateria	86
6	Resíduo infecto-contagioso	5,8
7	Cartucho de impressão	48
8	Lodo residual do esgoto tratado	96
9	Resíduo alimentar desembarcado	2145

10	Madeira não contaminada	3.897
11	Vidro não contaminado	93
12	Plástico não contaminado	812
13	Papel e papelão não contaminado	843
14	Metal não contaminado	10.824,0
15	Tambor não contaminado	96
16	Lata de alumínio	39
17	Resíduos não passíveis de reciclagem	2.844
18	Lama de Perfuração	66.600
19	Aerosol	26
20	Bombonas Contaminadas	166
21	Cimento	261

Tabela 9 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento mensal

Item	RESÍDUO	Quantitativo absoluto total (kg)
1	Resíduos oleosos	164.853,0
2	Resíduos contaminados	12.946,8
3	Tambores contaminados	2.439,5
4	Lâmpada fluorescente	36,4
5	Pilha e bateria	171,5
6	Resíduo infecto-contagioso	11,6
7	Cartucho de impressão	96,3
8	Lodo residual do esgoto tratado	192,7
9	Resíduo alimentar desembarcado	429,5
10	Madeira não contaminada	7.787,3
11	Vidro não contaminado	185,5
12	Plástico não contaminado	1.622,7
13	Papel e papelão não contaminado	1.683,4
14	Metal não contaminado	21.627,2
15	Tambor não contaminado	192,7
16	Lata de alumínio	77,1
17	Resíduos não passíveis de reciclagem	5.682,7
18	Lama de Perfuração	133.071,3
19	Aerosol	53,2
20	Bombona Contaminada	332,9
21	Cimento	521,2

Tabela 10 – Quantidades referentes ao horizonte de planejamento bimestral

As instâncias geradas têm o objetivo de avaliar em diferentes condições de volume dos resíduos a realização de comparações, a fim de verificar os custos parciais e

totais obtidos na movimentação e destinação destes resíduos, analisados em diferentes horizontes de planejamento.

Para cada horizonte de planejamento foram realizadas instâncias adicionais variando parâmetros tais como:

- Aumento de 50% na capacidade dos Destinos finais referentes aos destinos finais Beneficiamento e Rerrefino;
- Remoção do processo fiscal Venda e
- Remoção do processo fiscal Doação.

A remoção do processo fiscal Venda consiste na eliminação da capacidade das empresas “Destino H” e “Destino I” (Reciclagem). A remoção do processo fiscal Doação é referente a eliminação da capacidade da empresa “Destino C” (Blendagem) e da empresa “Destino D” (Reciclagem).

A figura 15 resume os casos em cada instância gerada.

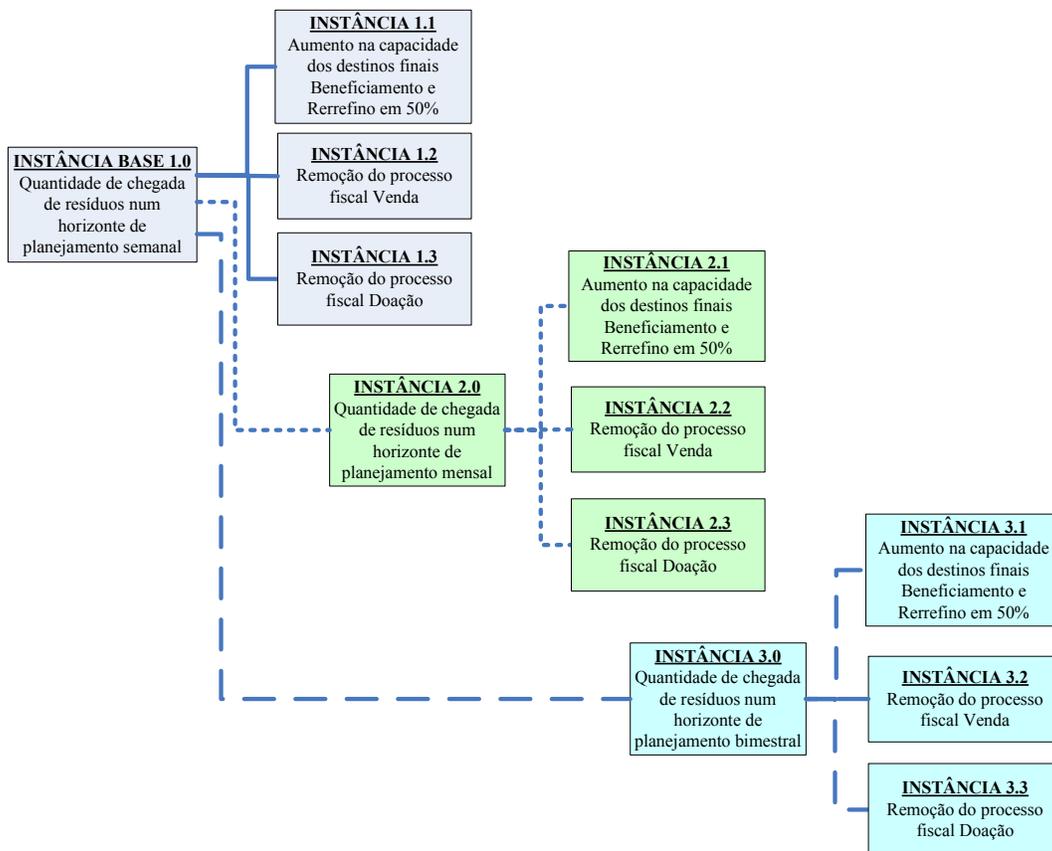


Figura 15 – Fluxograma das instâncias geradas

4.4 Resultados Computacionais

O modelo proposto foi implementado em MOSEL[®] 2.4.2 e otimizado pelo Xpress-MP Optimizer[®] 19.00.17, dentro do ambiente Xpress-IVE[®] 1.19.01. Os testes foram executados em um computador com processador Intel Celeron de 1,86 GHz, com 384 MB de RAM, usando o sistema operacional Windows XP.

O banco de dados usado para armazenar os dados de entrada abordados nesta dissertação foi o Microsoft Office ACCESS[®] 2003.

Através da quantidade de empresas transportadoras, empresas de destinação final, tipo de veículos e tipos de resíduos, citados anteriormente, a quantidade de variáveis de fluxo é 90 variáveis e para a quantidade de caminhões, há 822 variáveis, totalizando 912 variáveis. Foram geradas 49 restrições.

4.4.1 Soluções para cada instância

Nesta seção é apresentado os resultados gerais para os três horizontes de planejamento e suas respectivas instâncias. Também é apresentada os resultados detalhados para o horizonte de planejamento semanal e uma análise dos resultados gerais. No apêndice 7.4 mostra os resultados detalhados para os horizontes de planejamento mensal e bimestral, respectivamente.

Os custos totais obtidos são referentes aos valores da função objetivo em cada uma das instâncias analisadas. A Tabela 11 mostra estes custos para as 12 instâncias geradas.

Horizonte de Planejamento	Instância	Custos totais (R\$)
Semanal	Instância 1.0	208.770,00
	Instância 1.1	193.317,00
	Instância 1.2	200.099,00
	Instância 1.3	184.189,00
Mensal	Instância 2.0	424.360,00
	Instância 2.1	379.438,00
	Instância 2.2	429.882,00
	Instância 2.3	411.079,00

Bimestral	Instância 3.0	666.869,00
	Instância 3.1	600.474,00
	Instância 3.2	713.506,00
	Instância 3.3	683.577,00

Tabela 11 - Soluções obtidas para as instâncias geradas

Os gráficos 1, 2 e 3 mostram respectivamente a variação dos custos nos horizontes de planejamento semanal, mensal e bimestral.

No gráfico 1 verifica-se que a instância 1.3 é a mais rentável, devido a uma significativa redução na contratação de veículos para a movimentação de resíduos, embora nesta instância houve a remoção do processo fiscal doação, no qual o custo de destinação final para as empresas que adotam o Processo fiscal Doação é igual a zero.

Os gráficos 2 e 3 demonstram que a melhor prática adotada foi o aumento na capacidade em 50% dos destinos finais de Rerrefino e Beneficiamento (instâncias 2.1 e 3.1). O custo de transporte adotado para as empresas de Rerrefino é FOB, ou seja, os destinos finais possuem seus próprios veículos para a movimentação dos resíduos oleosos, embora os custos de destinação final praticados por essas empresas sejam maiores que os custos das empresas de Beneficiamento. Outro fato observado, com a remoção do Processo fiscal Venda (instâncias 2.2 e 3.2), cujo custo de destinação é menor que zero, gerou os maiores custos totais nos horizontes de planejamento mensal e bimestral, pois a empresa geradora de resíduos deixa de obter receita, realizados pela venda dos resíduos as empresas “Destino H” e “Destino I”.

O gráfico 1 apresenta os custos totais para o horizonte de planejamento semanal.

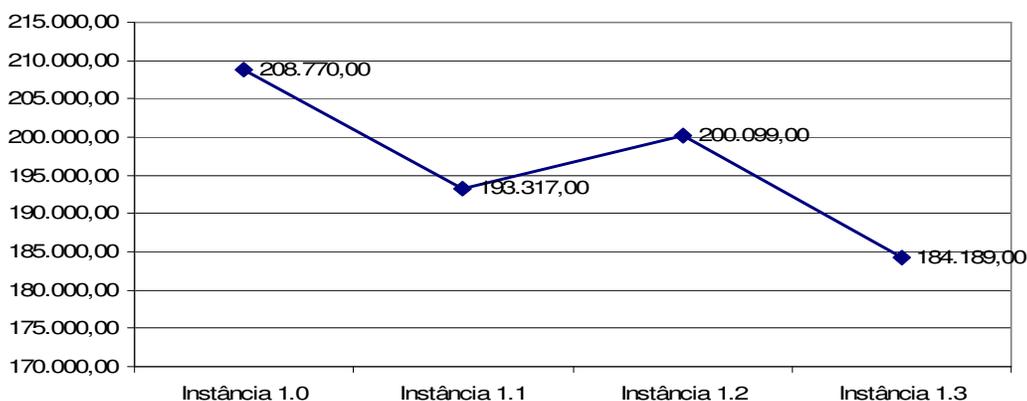


Gráfico 1 – Custos totais para o horizonte de planejamento semanal

O gráfico 2 apresenta os custos totais para o horizonte de planejamento mensal.

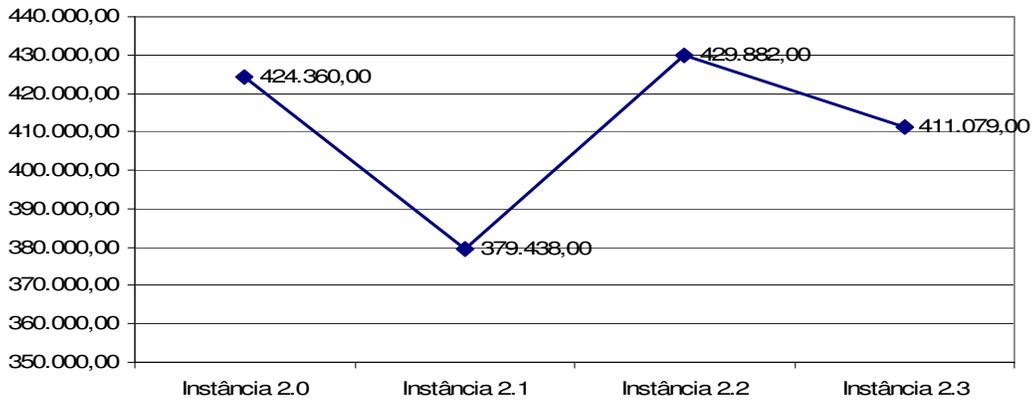


Gráfico 2 – Custos totais para o horizonte de planejamento mensal

O gráfico 3 apresenta os custos totais para o horizonte de planejamento bimestral.

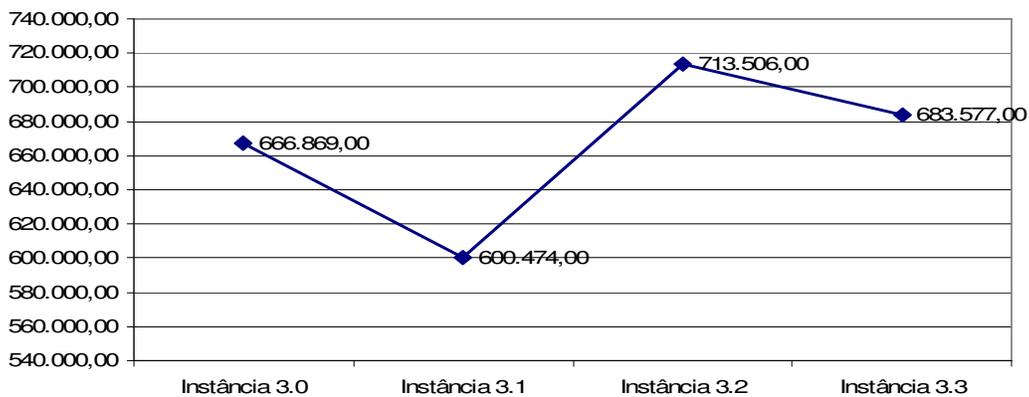


Gráfico 3 – Custos totais para o horizonte de planejamento bimestral

4.4.2 Esquemas das soluções para o horizonte de planejamento semanal

Os esquemas mostrados nas seções a seguir, apresentam as soluções obtidas para o horizonte de planejamento semanal, apresentando o fluxo da movimentação de resíduos.

Em todas as instâncias, o custo de transporte para o Destino final Rerrefino é igual a zero, devido ao fato da movimentação destes resíduos serem realizados por caminhões próprios das empresas de destinação.

Em cada instância é apresentado as soluções que compreendem a destinação de cada tipo de resíduo, o volume destinado, o tipo e o número de veículos utilizados. Os esquemas foram gerados a partir dos resultados obtidos, que são apresentados no Apêndice 7.3.

4.4.2.1 Instância 1.0

Esta instância trata do fluxo de resíduos, planejado com periodicidade semanal, dentro de um horizonte de 45 semanas. A solução para esta instância compreende os resultados obtidos para todos os tipos de destinação final. A figura 16 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 1.0

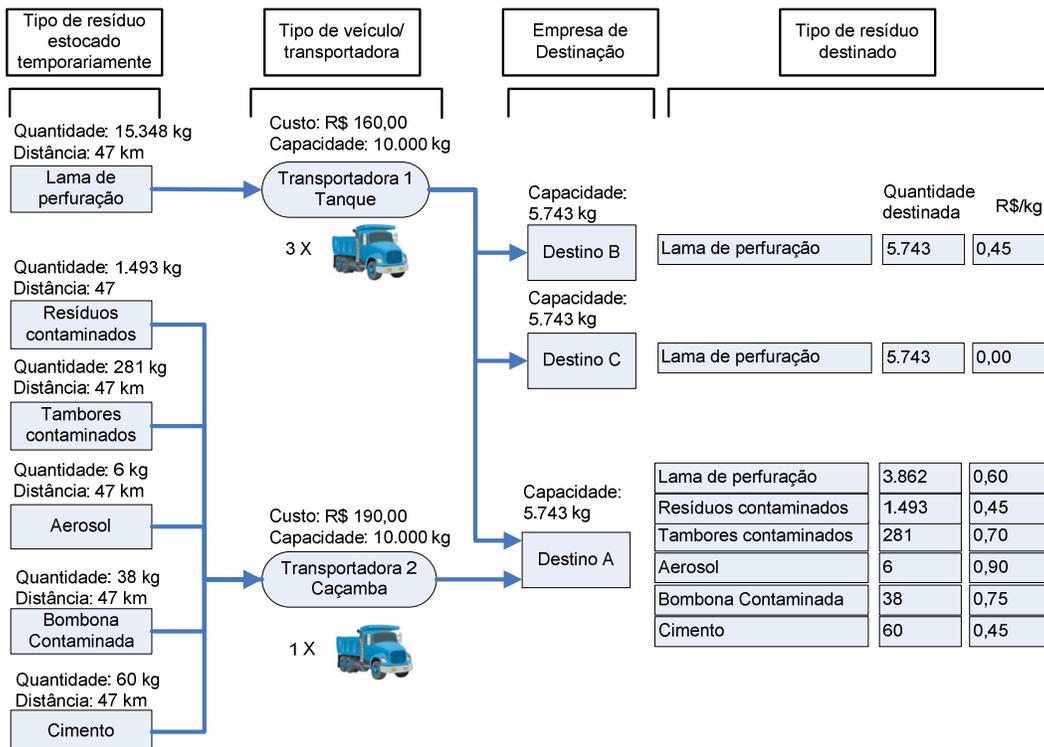


Figura 16 – Destino Final Blendagem – Instância 1.0

A figura 17 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 1.0.

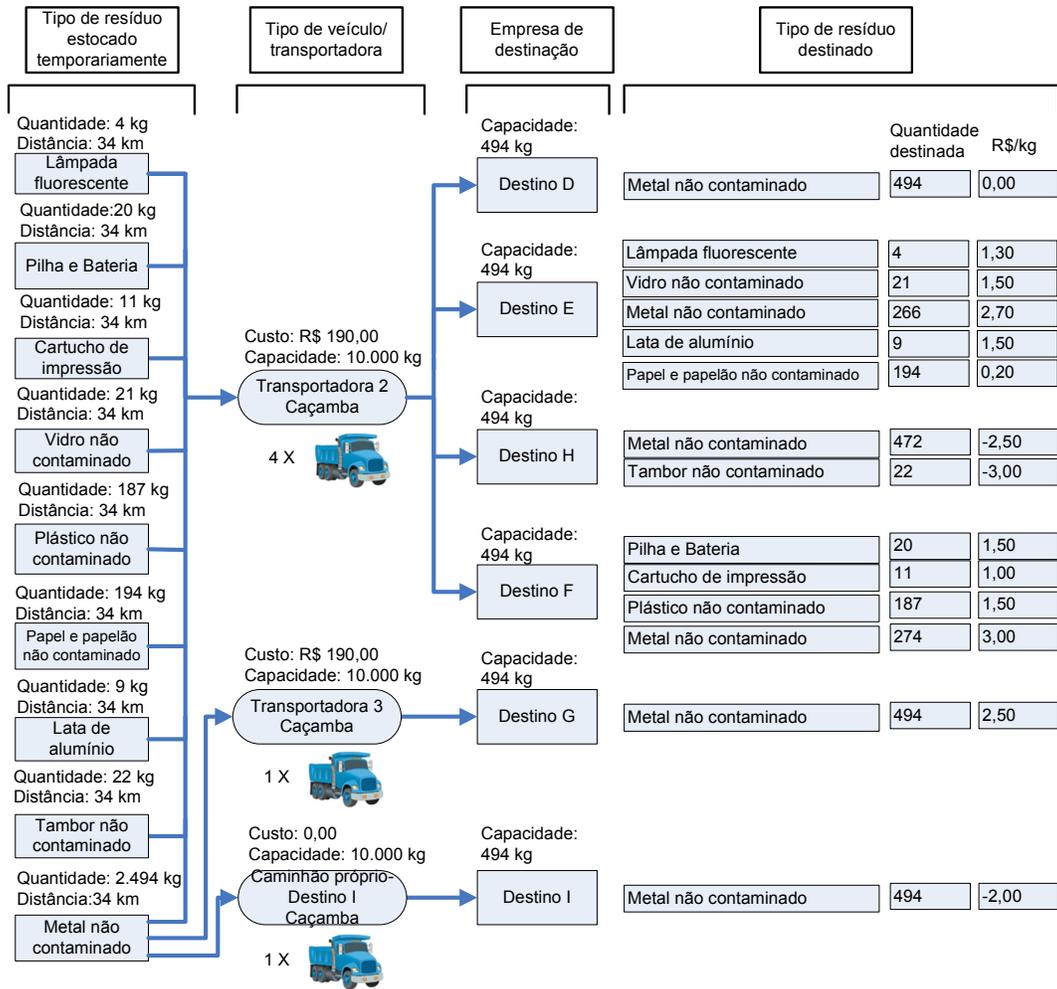


Figura 17 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.0

A figura 18 apresenta a solução para o destino final aterro industrial para a instância 1.0.

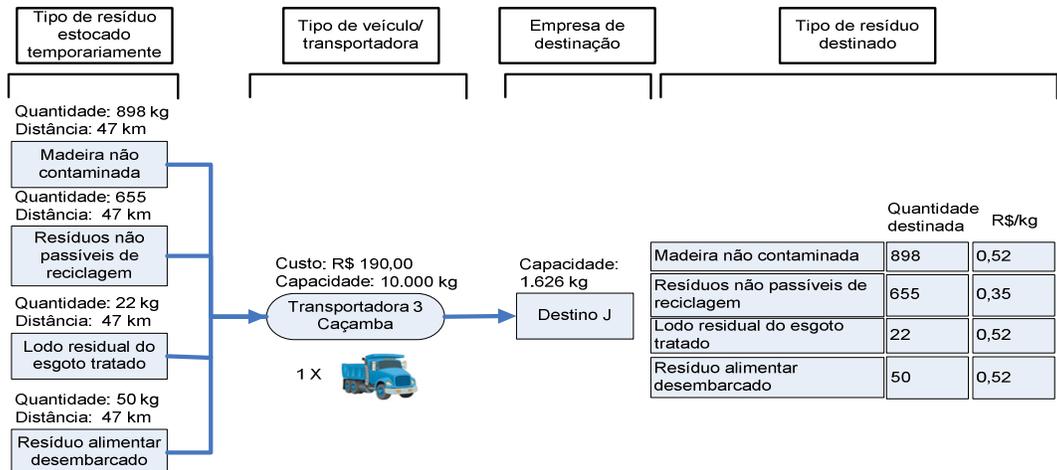


Figura 18 – Destino Final Aterro Industrial – Instância 1.0

A figura 19 apresenta a solução para o destino final incineração para a instância 1.0.

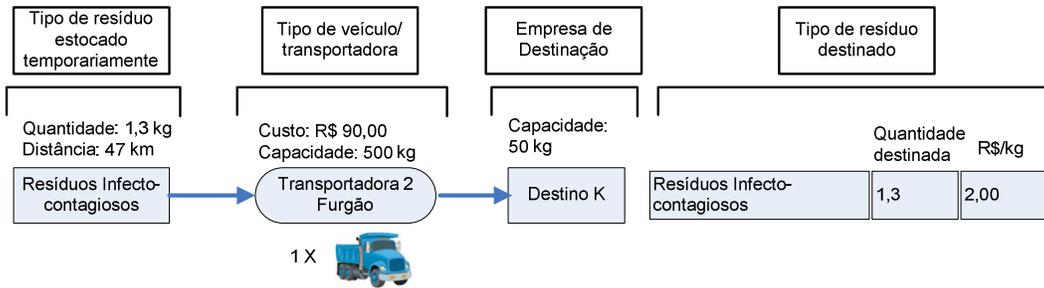


Figura 19 – Destino Final Incineração – Instância 1.0

A figura 20 apresenta a solução para os destinos finais rerrefino e beneficiamento para a instância 1.0

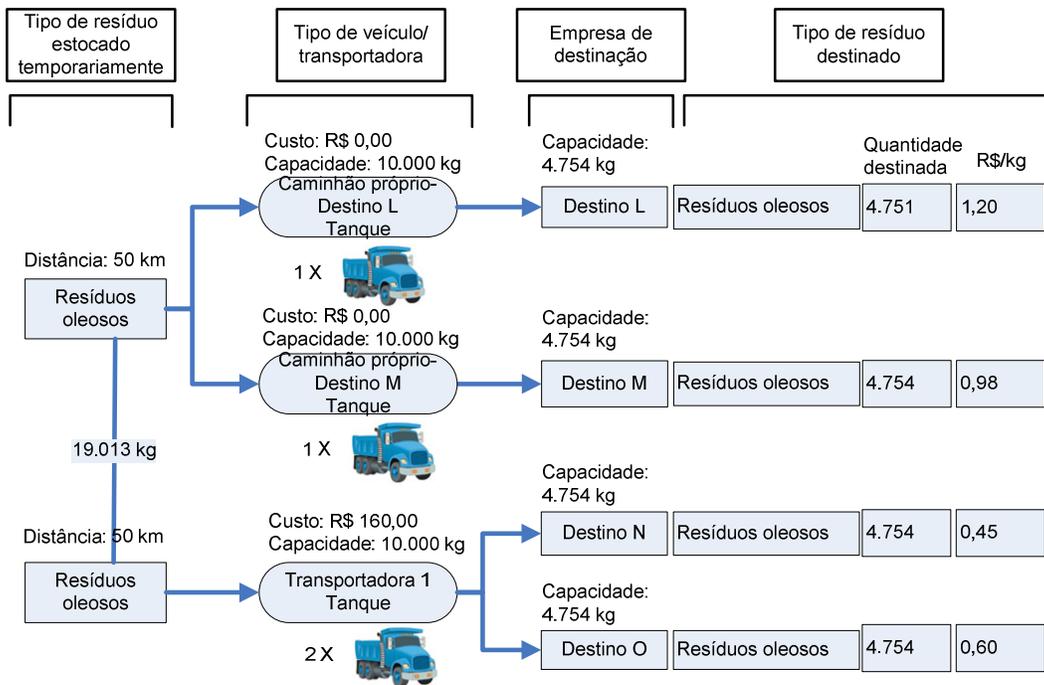


Figura 20 – Destino Final Rerrefino e Beneficiamento – Instância 1.0

O gráfico 4 apresenta os custos de transporte para a instância 1.0.

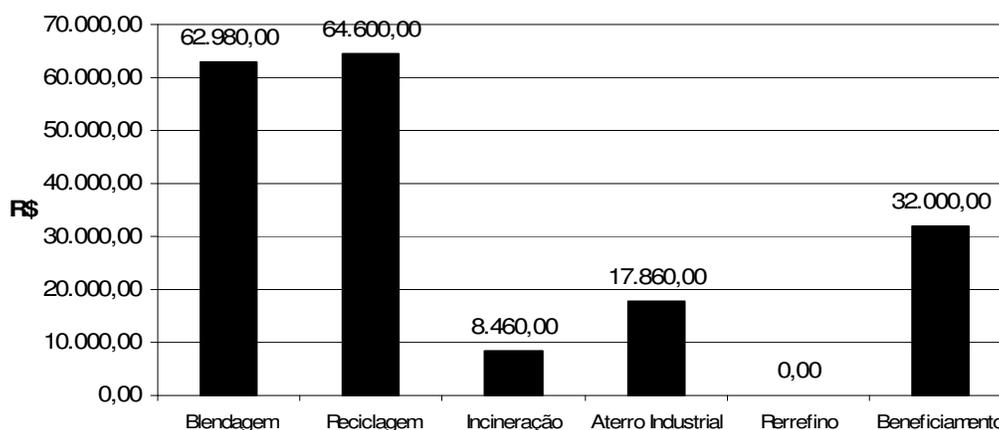


Gráfico 4 – Custos de transporte para a instância 1.0

O gráfico 5 apresenta os custos de destinação para a instância 1.0.

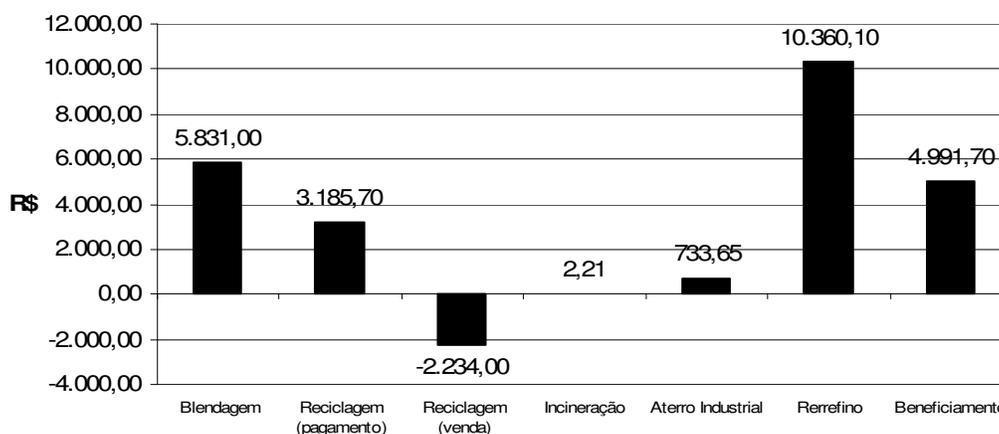


Gráfico 5 - Custos de destinação para a instância 1.0

4.4.2.2 Instância 1.1

Nesta instância, com periodicidade de uma semana, foi realizado o aumento em 50% na capacidade dos destinos finais rerrefino e beneficiamento, com isso, comparando com a instância 1.0, as mudanças ocorridas foram nos destinos finais rerrefino e beneficiamento. Note que a empresa “Destino O” foi descartada desta solução.

A figura 21 apresenta a solução para os destinos finais rerrefino e beneficiamento para a instância 1.1.

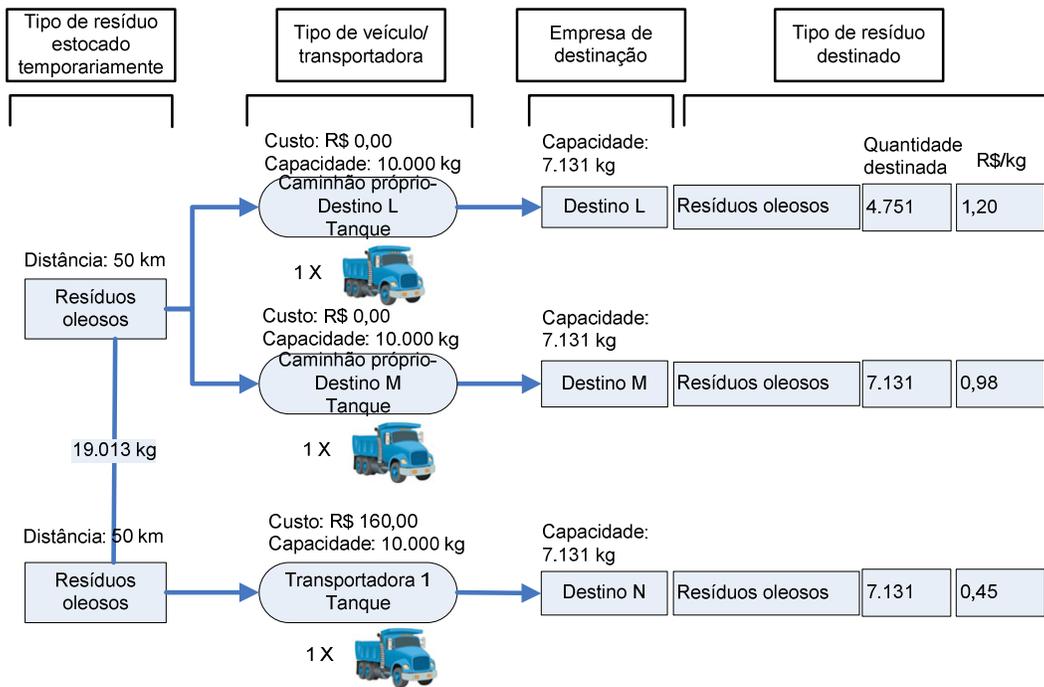


Figura 21 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento – Instância 1.1

O gráfico 6 apresenta os custos de transporte para a instância 1.1.

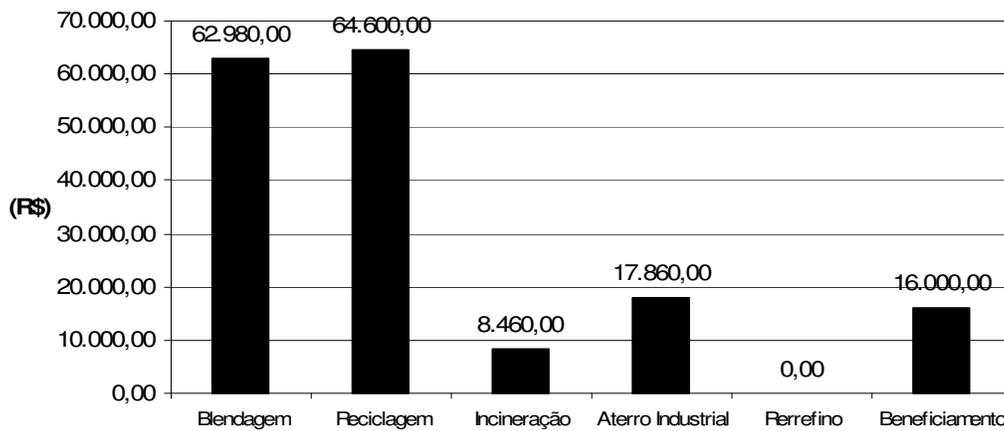


Gráfico 6 – Custos de transporte para a instância 1.1

O gráfico 7 apresenta os custos de destinação para a instância 1.1.

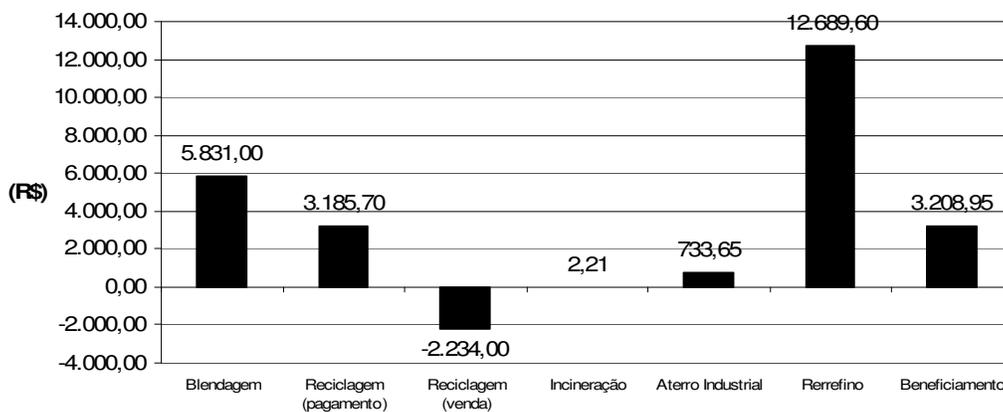


Gráfico 7 – Custos de destinação para a instância 1.1

4.4.2.3 Instância 1.2

Nesta instância, foi realizada a remoção do processo fiscal Venda, com isso, as empresas “Destino H” e “Destino I” foram removidas. A capacidade destas empresas foi distribuída para as outras empresas. Comparando com a instância 1.0, as mudanças ocorridas foram no destino final Reciclagem.

A figura 22 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 1.2.

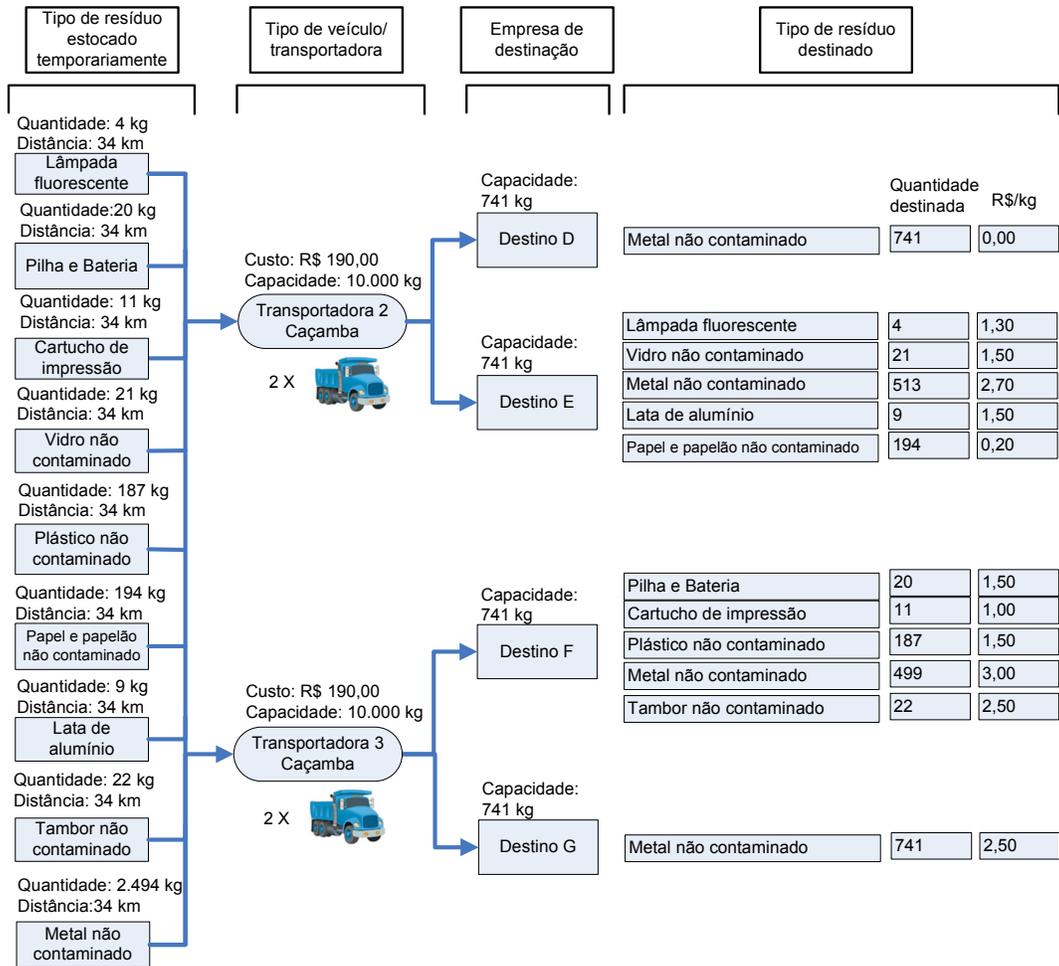


Figura 22 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.2

O gráfico 8 apresenta os custos de transporte para a instância 1.2.

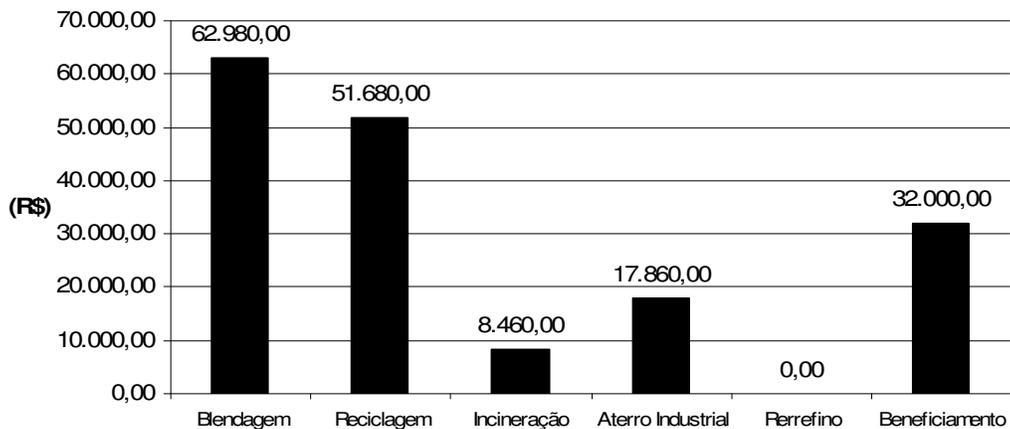


Gráfico 8 – Custos de transporte para a instância 1.2

O gráfico 9 apresenta os custos de destinação para a instância 1.2.

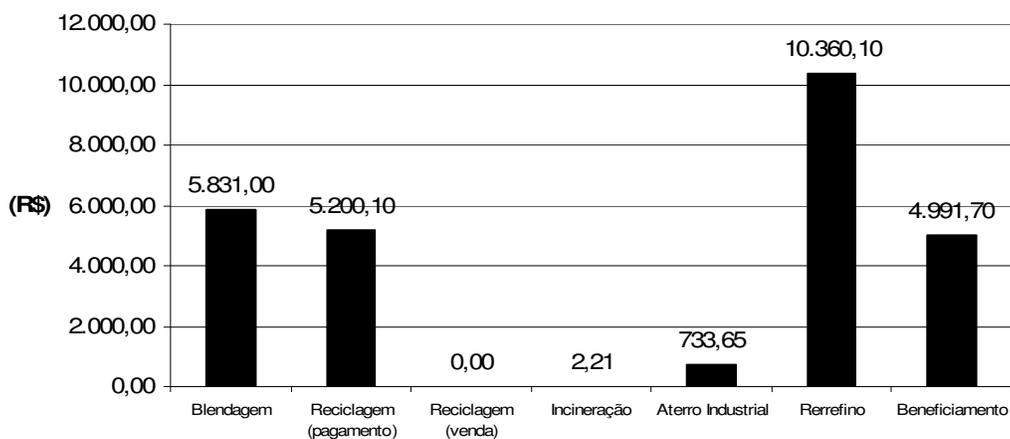


Gráfico 9 – Custos de destinação para a instância 1.2

Com a remoção do processo fiscal Venda, na reciclagem, a receita obtida na venda dos resíduos foi nula.

4.4.2.4 Instância 1.3

Nesta instância, houve a remoção do processo fiscal Doação, com isso, as empresas “Destino C” (Blendagem) e “Destino D” (Reciclagem) foram removidas. O volume da capacidade da empresa “Destino C” foi distribuído entre empresas da Blendagem e o volume da capacidade da empresa “Destino D” foi distribuído entre as empresas da Reciclagem. Comparando com a instância 1.0, as mudanças ocorridas nos destinos finais Blendagem e Reciclagem são descritas nas figuras 23 e 24.

A figura 23 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 1.3.

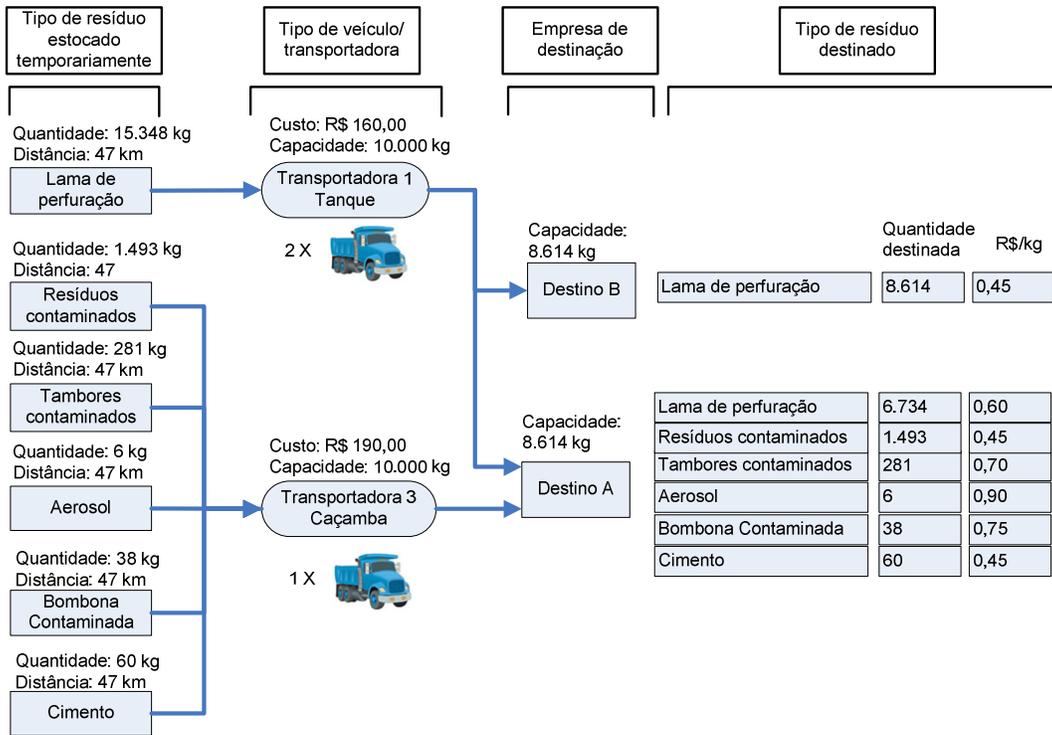


Figura 23 – Destino Final Blendagem– Instância 1.3

A figura 24 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 1.3.

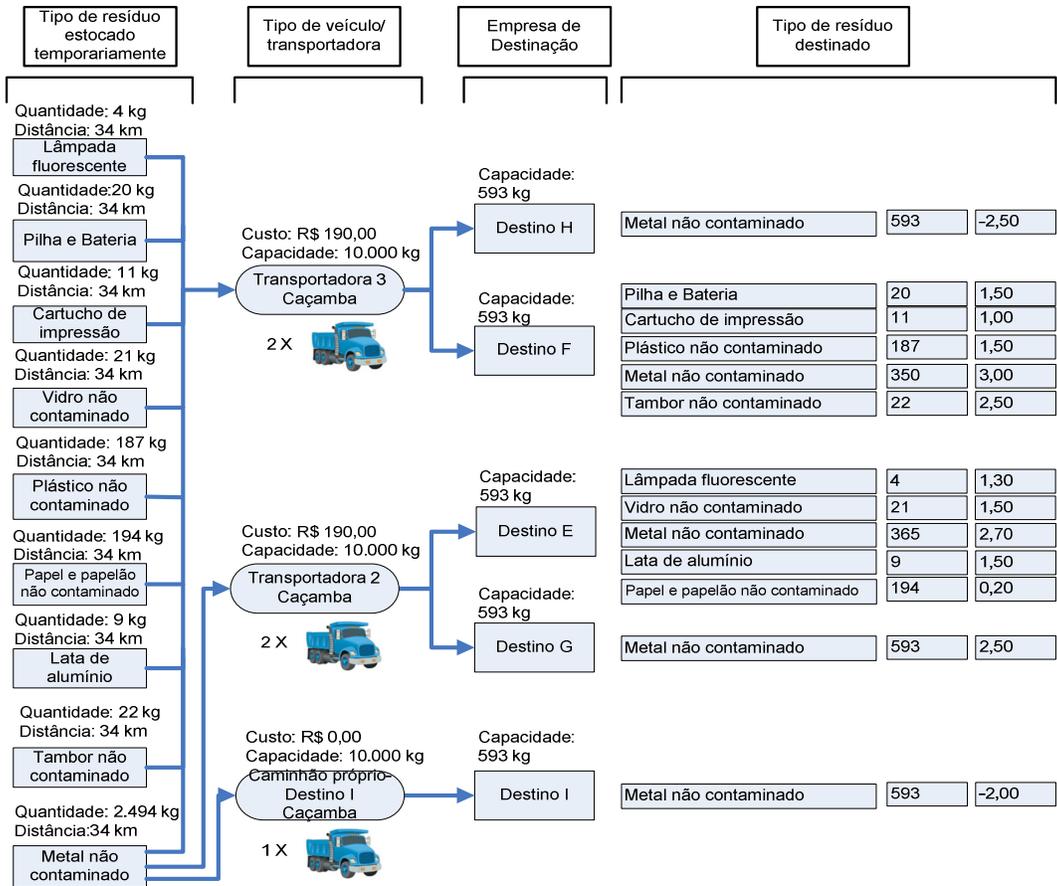


Figura 24 – Destino Final Reciclagem – Instância 1.3

O gráfico 10 apresenta os custos de transporte para a instância 1.3.

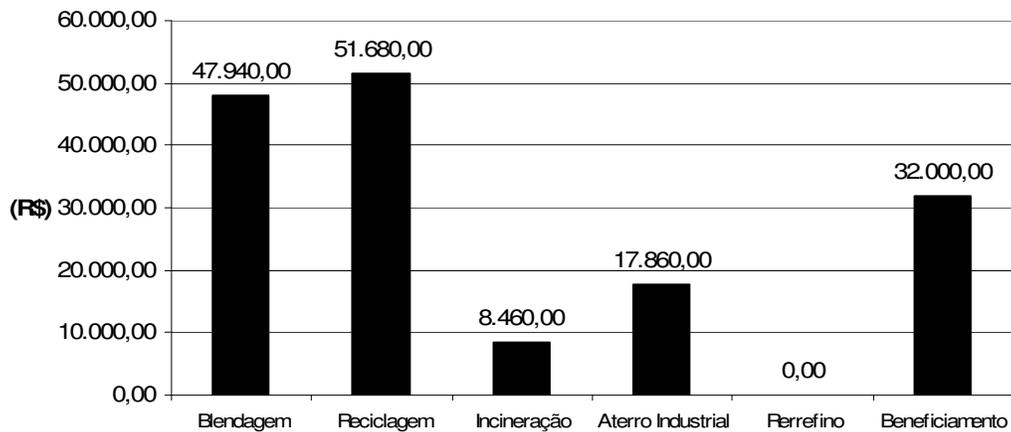


Gráfico 10 – Custos de transporte para a instância 1.3

O gráfico 11 apresenta os custos de destinação para a instância 1.3.

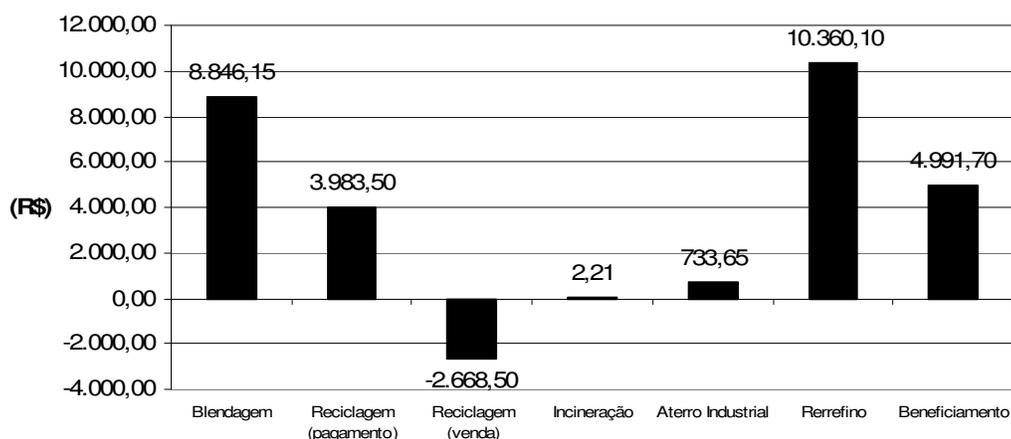


Gráfico 11 – Custos de destinação para a instância 1.3

Comparando os custos obtidos entre as instâncias 1.0 e 1.1, o aumento de 50% na capacidade dos destinos finais Rerrefino e Beneficiamento, realizado na instância 1.1, gerou uma redução no custo de contratação de um caminhão-tanque, reduzindo os custos de transporte em 50%, referente ao destino final Beneficiamento, embora exista um aumento de R\$ 10.360,00 para R\$ 12.689,00 nos custos de destinação para o Rerrefino.

Comparando os custos obtidos entre as instâncias 1.0 e 1.2, com a remoção das empresas “Destino H” e “Destino I”, referentes ao processo fiscal Venda, houve uma redução de R\$ 64.600,00 para R\$ 51.680,00 nos custos de transporte para o destino final Reciclagem, devido a redução na contratação de dois caminhões-caçamba. O custo de destinação para a Reciclagem aumentou de R\$ 3.185,70 para R\$ 5.200,10.

O custo total obtido para a instância 1.3 foi o menor para este grupo de instâncias e o custo total para a instância 1.0 foi o mais elevado. Com a remoção das empresas “Destino C” e “Destino D”, referentes ao processo fiscal Doação, comparado a instância 1.0, o custo de transporte para o destino final Blendagem reduziu de R\$ 62.980,00 para R\$ 47.940,00 e para Reciclagem reduziu de R\$ 64.600,00 para R\$ 51.680,00, entretanto os custos de destinação para Blendagem aumentaram de R\$ 5.831,00 para R\$ 8.846,15 e para Reciclagem foi de R\$ 3.185,00 para R\$ 3.983,50.

Comparando os custos obtidos pelas instâncias 2.0 e 2.1, houve uma pequena diferença entre os custos de destinação, referentes ao resíduo metal não contaminado. A mudança significativa ocorreu nos custos entre os destinos finais Rerrefino e

Beneficiamento. Com o aumento de 50% na capacidade das empresas de destinação, houve uma redução na contratação de três caminhões-tanque, gerando uma redução de 50% nos custos de transporte para o destino final Beneficiamento, diminuindo de R\$ 96.000,00 para R\$ 48.000,00.

Na comparação realizada entre os resultados obtidos entre as instâncias 2.0 e 2.2, os custos totais foram os maiores, comparado as demais instâncias desse grupo. Houve uma redução no custo de transporte para o destino final Reciclagem, referente a redução na contratação de um caminhão-caçamba embora o custo total de destinação para o destino final Reciclagem aumentou de R\$ 4.136,70 para R\$ 22.578,90.

Na comparação entre as instâncias 2.0 e 2.3, houve a redução na contratação de um caminhão-caçamba, reduzindo os custos de transporte, sendo de R\$ 64.600,00 para R\$ 51.680,00, embora os custos totais de destinação da Reciclagem tenham aumentado de R\$ 4.136,00 para R\$ 5.732,30.

Os custos obtidos na instância 3.1 foram os menores em relação a este grupo de instâncias.

Comparando os custos obtidos pelas instâncias 3.0 e 3.1, houve uma redução de 50% nos custos de Transporte para o Destino Final Beneficiamento. Em relação aos custos de destinação, houve um acréscimo de R\$ 89.842,90 para R\$ 124.223,00 em relação ao Destino Final Rerrefino e uma redução de R\$ 43.274,70 para R\$ 22.500,00 referente ao Destino Final Beneficiamento, devido a redução na contratação de 5 veículos no transporte de resíduos para a empresa “Destino O”.

Comparando os custos obtidos entre as instâncias 3.0 e 3.2, houve um acréscimo nos custos referentes ao Destino Final Reciclagem, que foi de R\$ 19.960,10 para R\$ 40.853,80, mostrando que as empresas com processo fiscal Venda, geram um impacto significativo nos custos de destinação. A instância 3.2 gerou o maior custo total referente a este horizonte de planejamento.

Na comparação entre as instâncias 3.0 e 3.3, o custo de transporte para o Destino Final Reciclagem sofreu uma redução de R\$ 51.680,00 para R\$ 38.760,00, fato devido à redução na contratação de um caminhão-caçamba, pois a empresa “Destino D” foi descartada nesta solução, embora tenha ocorrido um aumento significativo nos custos de destinação no Destino Final Blendagem, sendo de R\$ 51.000,00 para R\$ 78.345,90.

Para o Destino Final Reciclagem, houve aumento nos custos de destinação, para o processo fiscal pagamento, subindo de R\$ 19.960,10 para R\$ 26.921,60 e no processo fiscal venda, um aumento na receita de R\$ 25.743,50 para R\$ 30.422,00.

5 Conclusões e trabalhos futuros

O trabalho apresentado nesta dissertação aborda o gerenciamento de resíduos de sondas de perfuração *offshore*, com base na análise de custos nas etapas de movimentação e destinação de resíduos. O trabalho leva em consideração uma variedade de processos fiscais adotados pelas empresas de destinação de resíduos bem como diferentes modalidades de custeio da movimentação de resíduos, já que as empresas de destinação podem possuir ou não seus próprios veículos, havendo ou não a necessidade na contratação dos mesmos. O estudo de caso abordado nessa dissertação tratou com dados reais e arbitrados de uma operação de perfuração *offshore*.

As instâncias geradas tiveram o propósito de gerar diferentes cenários para destacar alternativas de destinação aos resíduos, dentro de diferentes horizontes de planejamento.

O modelo matemático de programação inteira mista é fundamental, pois uma pessoa teria dificuldades para tratar o número elevado de possibilidades para os conjuntos associados ao problema, tais como a quantidade de tipos de resíduos, quantidade de empresas de transporte de resíduos que podem ser ou não contratadas, quantidade de empresas de destinação de resíduos que podem ser ou não contratadas, os custos relativos a cada elemento destes conjuntos e o limite de capacidade adotada em cada empresa de destino final. As variáveis adotadas no problema abordado possuem características distintas, as variáveis de fluxo são reais e determinam a quantidade de resíduo movimentado desde o terminal de apoio marítimo até os destinos finais e as variáveis inteiras determinam a frota de veículos usada em compatibilidade com o tipo de resíduo transportado.

Os resultados obtidos demonstram que a diversidade de situações pode aumentar ou reduzir os custos totais obtidos, isso pode ser observado pelo aumento ou redução na contratação de veículos, a variação na capacidade dos destinos finais e os valores praticados na contratação das empresas de transporte e destinação de resíduos.

Os resultados apresentados nas instâncias 1.3, 2.1 e 3.1 mostraram que os custos totais foram os menores em cada horizonte de planejamento, devido a redução dos custos parciais de transporte, relacionados a contratação de veículos.

Como sugestão de trabalhos futuros tem-se a alteração no escopo do trabalho com o aumento no número de decisões, adicionando elementos tais como a

programação das viagens dos navios de apoio marítimo, associando a chegada de cada tipo de resíduo a valores tais como volume e valor agregado ao resíduo. Os estoques adotados nos terminais de apoio marítimo também podem dar relevante contribuição a programação de movimentação e destinação de resíduos, pois tratando de horizontes de planejamento diferentes, há um custo associado no estoque destes resíduos e o tempo que leva até ser removido do terminal de apoio marítimo.

A abrangência do estudo pode ser maior e alcançar outros objetivos além da indústria do petróleo, tais como a indústria têxtil, na construção civil como a movimentação e destinação de refugo de obra, movimentação e destinação de peças e sucatas de veículos no final de vida útil, entre outras.

6 Referências Bibliográficas

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Resíduos Sólidos – Classificação, NBR 10.004, São Paulo, 2004

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Transporte Terrestre de Resíduos, NBR 13.221, São Paulo, 2005

BALLOU, R. H., Logística Empresarial: transportes, administração de materiais e distribuição física, Editora Atlas, São Paulo, 1993

BOWERSOX, D. J., CLOSS, D. J., Logística Empresarial: O processo de integração da cadeia de suprimento, Editora Atlas, São Paulo, 2001

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Diário Oficial da União, 3 de agosto de 2010.

CLM (Council of Logistics Management), Reuse and recycling reverse logistics opportunities. Illinois, Council of Logistics Management, 1993

Conselho Nacional do Meio Ambiente, Resolução nº 362, de 23 de junho de 2005. Estabelece novas diretrizes para o recolhimento e destinação de óleo lubrificante usado ou contaminado. Diário Oficial da União, 25 de junho de 2005, Seção 01, páginas 128, 129 e 130, Edição Número 121

COSTA, L., R., O Problema de Localização Capacitado em Dois Níveis e sua aplicação ao Planejamento de Logística Reversa, Tese D.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2009

COSTA, L., R., GALVÃO, R., D., Localização em Logística Reversa: Modelos e Algoritmos para um Problema Capacitado em Dois Níveis, Minicurso apresentado no XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 2008

COSTA, L. M. G., Logística Reversa: Um Estudo de Caso sobre a Reciclagem de Embalagens de PET Utilizando Simulação, Dissertação M.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2004

DONATO, V., Logística Verde: Uma Abordagem Sócio-Ambiental, Rio de Janeiro, Editora Ciência Moderna, 2008

FANDEL, G., Optimal Program Planning in Joint Production, Essays on Production Theory and Planning, Springer, Berlin, 130-148, 1988

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

GUÉRET, C., PRINS, C., SEVAUX, M., Applications of Optimization with Xpress-MP, Paris, Dash Optimization, 2000

GUSMÃO, A. C. F., DE MARTINI, L. C., Gestão Ambiental na Indústria, Rio de Janeiro, Editora SMS Digital, 2009

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J., Introdução a Pesquisa Operacional, São Paulo, Editora McGraw-Hill, 2006

HU, T., SHEU, J., HUANG, K. A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes. Transportation Research Part E, 38, 457-473, 2002

JAYARAMAN, V., PIRKUL, H., Planning and Coordination of Production and Distribution Facilities for Multiple Commodities, European Journal of Operational Research, 133, 394-408, 2001

KOOPMANS, T., C., Analysis of production as an efficient combination of activities, Proceedings of a conference, New York, London, 1951

LEITE, P.R., Logística reversa: meio ambiente e competitividade. São Paulo, Prentice Hall, 2003

LENSTRA, J., KAN, A. R., Complexity of Vehicle Routing and Scheduling Problems, Networks 11 (2), 221-227, 1981

LIMA, R., G., C.; FERREIRA, O. M., Resíduos Industriais – Métodos de Tratamento e Análise de Custos, Goiânia, 2007, Disponível em: <<http://www.ucg.br/ucg/prope/cpgss/ArquivosUpload/36/file/RES%C3%8DDUOS%20INDUSTRIAIS%20%20M%C3%89TODOS%20DE%20TRATAMENTO%20E%20AN%C3%81LISE%20DE%20CUSTOS.pdf>>, Acessado em novembro de 2010

LORA, E. S., Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte, Brasília, DF, ANEEL, 2000

MAROUN, C. A. Manual de Gerenciamento de Resíduos: Guia de procedimento passo a passo. Sistema FIRJAN. Rio de Janeiro, 2006

NOTA TÉCNICA CGPEG/DILIC/IBAMA Nº 08/08, 2008, Disponível em: <<http://www.ibama.org.br/licenciamento>>, Acessado em agosto de 2009.

NTC - Associação Nacional do Transporte Rodoviário de Cargas. Manual de Cálculo de Custos e Formação de Preços do Transporte rodoviário de Cargas. São Paulo, 2001, Disponível em: <<http://www.guiadotrc.com.br/pdf/FILES/MANUAL.pdf>>, Acessado em outubro de 2010

PATIN, S. A., Environmental impact of the offshore oil and gas industry, EcoMonitor Publishing, 1999

PERROTTA, B. A., Contribuição Metodológica para o Planejamento de Transporte Rodoviário de Resíduos Sólidos Comerciais e Industriais com o Uso de Tecnologia SIG - Estudo de Caso na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, Dissertação M. Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2007

POKHAREL, S., MUTHA, A., Perspectives in reverse logistics: A review. Resources, Conservation and Recycling, 53, 175-182, 2009

RIBEIRO, D. V., MORELLI, M. R., Resíduos Sólidos: problema ou oportunidade ?, Rio de Janeiro, Interciência, 2009

ROGERS, D. S., TIBBEN-LEMBKE, R., An Examination of Reverse Logistics Practices, Journal of Business Logistics, v. 22, n.2, p. 129-148, 2001

SCHAFFEL, S. B., A Questão Ambiental na Etapa da Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil, Rio de Janeiro, Dissertação M.Sc., UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil, 2002

SCHULTMANN, F., ZUMKELLER, M., RENTZ, O., Modeling Reverse Logistic tasks within closed-loop supply chains: An example from the automotive industry, European Journal of Operational Research, 171, 1033-1050, 2006

SPENGLER, T., PURCHET, H., PENKUHN, T., RENTZ, O., Environmental Integrated Production and Recycling Management, European Journal of Operational Research, 97, 308-326, 1997

HS&E DEPARTAMENT, 2006 Environmental Report for U.K. Activity, Shell U.K. Limited, 2006

THOMAS, J. E., Fundamentos de Engenharia do Petróleo, 2ª Edição, Editora Interciência, Rio de Janeiro, 2004

7 Apêndice

7.1 Custos de destinação

A tabela 12 mostra os custos de destinação para o destino final blendagem.

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Madeira não contaminada	Destino C	0,00
Lama de perfuração		0,00
Bombona Contaminada		0,00
Resíduos contaminados		0,00
Aerosol		0,00
Tambores contaminados		0,00
Cimento		0,00
Lama de perfuração	Destino B	0,45
Resíduos contaminados		0,60
Tambores contaminados		0,90
Madeira não contaminada		0,50
Aerosol		0,50
Bombona Contaminada		0,70
Cimento	0,55	
Lama de perfuração	Destino A	0,60
Aerosol		0,90
Tambores contaminados		0,70
Bombona Contaminada		0,75
Resíduos contaminados		0,45
Cimento		0,45
Madeira não contaminada	0,60	

Tabela 12 - Custos de Destinação para Blendagem

A tabela 13 mostra os custos de destinação para o destino final reciclagem.

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Lata de alumínio	Destino E	1,50
Vidro		1,50
Lâmpada Fluorescente		1,30
Madeira não contaminada		3,00
Plástico		2,00
Pilha e bateria		2,50
Papel e papelão		0,20
Cartucho de impressão		1,50

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Tambor não contaminado		3,00
Metal		2,70
Metal	Destino I	-2,00
Cartucho de impressão		-1,50
Tambor não contaminado		-2,50
Papel e papelão		-1,00
Vidro		-3,00
Lata de alumínio		-2,00
Lâmpada Fluorescente		-0,80
Madeira não contaminada		-2,00
Plástico		-2,00
Pilha e bateria		-2,50
Papel e papelão		Destino F
Vidro	2,00	
Metal	3,00	
Plástico	1,50	
Tambor não contaminado	2,50	
Lata de alumínio	3,00	
Pilha e bateria	1,50	
Madeira não contaminada	2,50	
Lâmpada Fluorescente	2,00	
Cartucho de impressão	1,00	
Cartucho de impressão	Destino D	
Pilha e bateria		0,00
Vidro		0,00
Lâmpada Fluorescente		0,00
Metal		0,00
Plástico		0,00
Madeira não contaminada		0,00
Lata de alumínio		0,00
Papel e papelão		0,00
Tambor não contaminado		0,00
Lâmpada Fluorescente		Destino H
Madeira não contaminada	-3,00	
Lata de alumínio	-2,50	
Pilha e bateria	-2,00	
Tambor não contaminado	-3,00	
Plástico	-1,50	
Cartucho de impressão	-1,00	
Metal	-2,50	
Vidro	-2,50	

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Papel e papelão		-0,60
Metal	Destino G	2,50
Plástico		2,50
Pilha e bateria		1,50
Cartucho de impressão		3,00
Papel e papelão		0,50
Lata de alumínio		3,00
Lâmpada Fluorescente		2,00
Vidro		2,00
Madeira não contaminada		2,50
Tambor não contaminado		3,50

Tabela 13 - Custos de Destinação para Reciclagem

A tabela 14 mostra os custos de destinação para o destino final incineração.

Resíduo	Empresa de Destino final	Custo de Destinação
Resíduos infectocontagiosos	Destino K	2,00

Tabela 14 - Custos de Destinação para Incineração

A tabela 15 mostra os custos de destinação para o destino final aterro industrial.

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Resíduos não recicláveis	Destino J	0,35
Lodo residual		0,52
Resíduo alimentar		0,52
Madeira não contaminada		0,52

Tabela 15 - Custos de Destinação para o Aterro Industrial

A tabela 16 mostra os custos de destinação para o destino final rerrefino.

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Resíduo oleoso	Destino L	1,20
Resíduo oleoso	Destino M	0,98

Tabela 16 - Custos de Destinação para o Rerrefino

A tabela 17 mostra os custos de destinação para o destino final beneficiamento.

Resíduo	Empresa de Destino final	R\$/kg
Resíduo oleoso	Destino N	0,45
Resíduo oleoso	Destino O	0,60

Tabela 17 - Custos de Destinação para o Beneficiamento

7.2 Custos de Transporte

A tabela 18 mostra os custos de transporte das empresas transportadoras.

Empresa Transportadora	Tipo de veículo	R\$/caminhão	Lotação (kg)
Transportadora 1	tanque	160,00	10.000
	caçamba	200,00	10.000
	furgão	100,00	500
Transportadora 2	tanque	175,00	10.000
	caçamba	190,00	10.000
	furgão	90,00	500
Transportadora 3	tanque	180,00	10.000
	caçamba	190,00	10.000
	furgão	95,00	500
Caminhão próprio (Destino I)	tanque	0,00	10.000
	caçamba	0,00	10.000
Caminhão próprio (Destino L)	tanque	0,00	10.000
Caminhão próprio (Destino M)	tanque	0,00	10.000

Tabela 18 – Custos de Transporte referentes as empresas transportadoras

7.3 Resultados

7.3.1 Instância 1.0

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 208.770,00.

A tabela 19 mostra os resultados para blendagem da instância 1.0.

Destinação-Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	3.862	
Lama de perfuração	Destino B	5.743	
Lama de perfuração	Destino C	5.743	
Resíduos contaminados	Destino A	1.493	
Tambores contaminados	Destino A	281	
Aerosol	Destino A	6	
Bombona Contaminada	Destino A	38	
Cimento	Destino A	60	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	1
Transportadora 1	tanque	Destino B	1

Transportadora 1	tanque	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 19 – Resultados para Blendagem – Instância 1.0

A tabela 20 mostra os resultados para reciclagem da instância 1.0.

Destinação-Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	4	
Pilha e bateria	Destino F	20	
Cartucho de impressão	Destino F	11	
Vidro	Destino E	21	
Plástico	Destino F	187	
Papel e papelão	Destino E	194	
Metal	Destino E	266	
Metal	Destino F	274	
Metal	Destino H	472	
Metal	Destino I	494	
Metal	Destino G	494	
Metal	Destino D	494	
Tambor não contaminado	Destino H	22	
Lata de alumínio	Destino E	9	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino F	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 20 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.0

A tabela 21 mostra os resultados para incineração da instância 1.0.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	1.3	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 21 – Resultados para Incineração – Instância 1.0

A tabela 22 mostra os resultados para aterro industrial da instância 1.0.

Destinação-Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	655	
Lodo residual	Destino J	22	
Resíduo alimentar	Destino J	50	
Madeira não contaminada	Destino J	898	
Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 22 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.0

A tabela 23 mostra os resultados para rerrefino da instância 1.0.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	4.751	
Resíduo oleoso	Destino M	4.754	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	1
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	1

Tabela 23 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.0

A tabela 24 mostra os resultados para beneficiamento da instância 1.0.

Destinação – Beneficiamento			
Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade	
Resíduo oleoso	Destino N	4.754	
Resíduo oleoso	Destino O	4.754	
Transporte – Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	1
Transportadora 1	tanque	Destino O	1

Tabela 24 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.0

A tabela 25 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 1.0.

Custos parciais de transporte para a instância 1.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	62.980,00
Reciclagem	64.600,00

Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	32.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 1.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	5.831,00
Reciclagem (pagamento)	3.185,70
Reciclagem (venda)	-2.234,00
Incineração	2,21
Aterro Industrial	733,65
Rerrefino	10.360,10
Beneficiamento	4.991,70

Tabela 25– Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.0

7.3.2 Instância 1.1

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 193.317,00.

A tabela 26 mostra os resultados para blendagem da instância 1.1.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	3.862	
Lama de perfuração	Destino B	5.743	
Lama de perfuração	Destino C	5.743	
Resíduos contaminados	Destino A	1.493	
Tambores contaminados	Destino A	281	
Aerosol	Destino A	6	
Bombona Contaminada	Destino A	38	
Cimento	Destino A	60	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	1
Transportadora 1	tanque	Destino B	1
Transportadora 1	tanque	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 26 – Resultados para Blendagem – Instância 1.1

A tabela 27 mostra os resultados para reciclagem da instância 1.1.

Destinação-Reciclagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente	Destino E	4

Pilha e bateria	Destino F	20	
Cartucho de impressão	Destino F	11	
Vidro	Destino E	21	
Plástico	Destino F	187	
Papel e papelão	Destino E	194	
Metal	Destino E	266	
Metal	Destino F	274	
Metal	Destino H	472	
Metal	Destino I	494	
Metal	Destino G	494	
Metal	Destino D	494	
Tambor não contaminado	Destino H	22	
Lata de alumínio	Destino E	9	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino F	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 27 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.1

A tabela 28 mostra os resultados para incineração da instância 1.1.

Destinação – Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	1.3	
Transporte – Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 28 – Resultados para Incineração – Instância 1.1

A tabela 29 mostra os resultados para aterro industrial da instância 1.1.

Destinação-Aterro Industrial		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo não reciclável	Destino J	655
Lodo residual	Destino J	22
Resíduo alimentar	Destino J	50
Madeira não contaminada	Destino J	898

Transporte - Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 29 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.1

A tabela 30 mostra os resultados para rerrefino da instância 1.1.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	4.751	
Resíduo oleoso	Destino M	7.131	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio Destino L	tanque	Destino L	1
Caminhão Próprio Destino M	tanque	Destino M	1

Tabela 30 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.1

A tabela 31 mostra os resultados para beneficiamento da instância 1.1.

Destinação – Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	7.131	
Transporte – Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	1

Tabela 31 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.1

A tabela 32 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 1.1.

Custos parciais de transporte para a instância 1.1	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	62.980,00
Reciclagem	64.600,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	16.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 1.1	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	5.831,00

Reciclagem (pagamento)	3.185,70
Reciclagem (venda)	-2.234,00
Incineração	2,21
Aterro Industrial	733,65
Rerrefino	12.689,60
Beneficiamento	3.208,95

Tabela 32 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.1

7.3.3 Instância 1.2

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 200.099,00.

A tabela 33 mostra os resultados para blendagem da instância 1.2.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	3.862	
Lama de perfuração	Destino B	5.743	
Lama de perfuração	Destino C	5.743	
Resíduos contaminados	Destino A	1.493	
Tambores contaminados	Destino A	281	
Aerosol	Destino A	6	
Bombona Contaminada	Destino A	38	
Cimento	Destino A	60	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	1
Transportadora 1	tanque	Destino B	1
Transportadora 1	tanque	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 33 – Resultados para Blendagem – Instância 1.2

A tabela 34 mostra os resultados para reciclagem da instância 1.2.

Destinação-Reciclagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente	Destino E	4
Pilha e bateria	Destino F	20
Cartucho de impressão	Destino F	11
Vidro	Destino E	21
Plástico	Destino F	187
Papel e papelão	Destino E	194
Metal	Destino E	513
Metal	Destino F	499

Metal	Destino G	741	
Metal	Destino D	741	
Tambor não contaminado	Destino F	22	
Lata de alumínio	Destino E	9	
Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino F	1
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1

Tabela 34 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.2

A tabela 35 mostra os resultados para incineração da instância 1.2.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	1.3	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 35 – Resultados para Incineração – Instância 1.2

A tabela 36 mostra os resultados para aterro industrial da instância 1.2.

Destinação - Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	655	
Lodo residual	Destino J	22	
Resíduo alimentar	Destino J	50	
Madeira não contaminada	Destino J	898	
Transporte - Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 36 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.2

A tabela 37 mostra os resultados para rerrefino da instância 1.2.

Destinação – Rerrefino		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo oleoso	Destino L	4.751
Resíduo oleoso	Destino M	4.754

Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	1
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	1

Tabela 37 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.2

A tabela 38 mostra os resultados para beneficiamento da instância 1.2.

Destinação – Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	4.754	
Resíduo oleoso	Destino O	4.754	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	1
Transportadora 1	tanque	Destino O	1

Tabela 38 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.2

A tabela 39 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 1.2.

Custos parciais de transporte para a instância 1.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	62.980,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	32.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 1.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	5.831,00
Reciclagem (pagamento)	5.200,10
Reciclagem (venda)	0,00
Incineração	2,21
Aterro Industrial	733,65
Rerrefino	10.360,10
Beneficiamento	4.991,70

Tabela 39 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.2

7.3.4 Instância 1.3

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 184.189,00.

A tabela 40 mostra os resultados para blendagem da instância 1.3.

Destinação-Blendagem			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lama de perfuração		Destino A	6.734
Lama de perfuração		Destino B	8.614
Resíduos contaminados		Destino A	1.493
Tambores contaminados		Destino A	281
Aerosol		Destino A	6
Bombona Contaminada		Destino A	38
Cimento		Destino A	60
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	1
Transportadora 1	tanque	Destino B	1
Transportadora 3	caçamba	Destino A	1

Tabela 40 – Resultados para Blendagem – Instância 1.3

A tabela 41 mostra os resultados para reciclagem da instância 1.3.

Destinação-Reciclagem			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente		Destino E	4
Pilha e bateria		Destino F	20
Cartucho de impressão		Destino F	11
Vidro		Destino E	21
Plástico		Destino F	187
Papel e papelão		Destino E	194
Metal		Destino E	365
Metal		Destino F	350
Metal		Destino H	593
Metal		Destino I	593
Metal		Destino G	593
Tambor não contaminado		Destino F	22
Lata de alumínio		Destino E	9
Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino F	1

Transportadora 3	caçamba	Destino H	1
Transportadora 2	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 41 – Resultados para Reciclagem – Instância 1.3

A tabela 42 mostra os resultados para incineração da instância 1.3.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo infectocontagioso		Destino K	1.3
Transporte-Incineração			
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 42 – Resultados para Incineração – Instância 1.3

A tabela 43 mostra os resultados para aterro industrial da instância 1.3.

Destinação - Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo não reciclável		Destino J	655
Lodo residual		Destino J	22
Resíduo alimentar		Destino J	50
Madeira não contaminada		Destino J	898
Transporte - Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	caçamba	Destino J	1

Tabela 43 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 1.3

A tabela 44 mostra os resultados para rerrefino da instância 1.3.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo oleoso		Destino L	4.751
Resíduo oleoso		Destino M	4.754
Transporte-Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio Destino L	tanque	Destino L	1
Caminhão Próprio Destino M	tanque	Destino M	1

Tabela 44 – Resultados para Rerrefino – Instância 1.3

A tabela 45 mostra os resultados para beneficiamento da instância 1.3.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo oleoso		Destino N	4.754
Resíduo oleoso		Destino O	4.754
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	1
Transportadora 1	tanque	Destino O	1

Tabela 45 – Resultados para Beneficiamento – Instância 1.3

A tabela 46 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 1.3.

Custos parciais de transporte para a instância 1.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	47.940,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	32.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 1.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	8.846,15
Reciclagem (pagamento)	3.983,50
Reciclagem (venda)	-2.668,50
Incineração	2,21
Aterro Industrial	733,65
Rerrefino	10.360,10
Beneficiamento	4.991,70

Tabela 46 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 1.3

7.3.5 Instância 2.0

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 424.360,00.

A tabela 47 mostra os resultados para blendagem da instância 2.0.

Destinação – Blendagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lama de perfuração	Destino A	16.760
Lama de perfuração	Destino B	24.920
Lama de perfuração	Destino C	24.920
Resíduos contaminados	Destino A	6.480

Tambores contaminados	Destino A	1.221	
Aerosol	Destino A	26	
Bombona Contaminada	Destino A	167	
Cimento	Destino A	261	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	2
Transportadora 1	tanque	Destino B	3
Transportadora 1	tanque	Destino C	3
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 47 – Resultados para Blendagem – Instância 2.0

A tabela 48 mostra os resultados para reciclagem da instância 2.0.

Destinação – Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	18	
Pilha e bateria	Destino F	86	
Cartucho de impressão	Destino F	48	
Vidro	Destino E	93	
Plástico	Destino F	812	
Papel e papelão	Destino E	843	
Metal	Destino E	1.151	
Metal	Destino F	1.193,4	
Metal	Destino H	2.144	
Metal	Destino I	2.047,6	
Metal	Destino G	2.144	
Metal	Destino D	2.144	
Tambor não contaminado	Destino I	96,4	
Lata de alumínio	Destino E	39	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino F	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 48 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.0

A tabela 49 mostra os resultados para incineração da instância 2.0.

Destinação – Incineração

Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	6	
Transporte – Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 49 – Resultados para Incineração – Instância 2.0

A tabela 50 mostra os resultados para aterro industrial da instância 2.0.

Destinação – Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	2.844	
Lodo residual	Destino J	96	
Resíduo alimentar	Destino J	215	
Madeira não contaminada	Destino J	3.897	
Transporte – Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 50 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.0

A tabela 51 mostra os resultados para rerrefino da instância 2.0.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	20.625	
Resíduo oleoso	Destino M	20.627	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	3
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	3

Tabela 51 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.0

A tabela 52 mostra os resultados para beneficiamento da instância 2.0.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	20.627	
Resíduo oleoso	Destino O	20.627	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos

Transportadora 1	tanque	Destino N	3
Transportadora 1	tanque	Destino O	3

Tabela 52 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.0

A tabela 53 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 2.0.

Custos parciais de transporte para a instância 2.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	138.180,00
Reciclagem	64.600,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	96.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 2.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	25.306,80
Reciclagem (pagamento)	13.832,90
Reciclagem (venda)	-9.696,20
Incineração	10,20
Aterro Industrial	3.183,56
Rerrefino	44.964,5
Beneficiamento	21.658,4

Tabela 53 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.0

7.3.6 Instância 2.1

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 379.438,00.

A tabela 54 mostra os resultados para blendagem da instância 2.1.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	16.760	
Lama de perfuração	Destino B	24.920	
Lama de perfuração	Destino C	24.920	
Resíduos contaminados	Destino A	6.480	
Tambores contaminados	Destino A	1.221	
Aerosol	Destino A	26	
Bombona Contaminada	Destino A	167	
Cimento	Destino A	261	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	2
Transportadora 1	tanque	Destino B	3

Transportadora 1	tanque	Destino C	3
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 54 – Resultados para Blendagem – Instância 2.1

A tabela 55 mostra os resultados para reciclagem da instância 2.1.

Destinação – Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	18	
Pilha e bateria	Destino F	86	
Cartucho de impressão	Destino F	48	
Vidro	Destino E	93	
Plástico	Destino F	812	
Papel e papelão	Destino E	843	
Metal	Destino E	1.151	
Metal	Destino F	1.097	
Metal	Destino H	2.144	
Metal	Destino I	2.144	
Metal	Destino G	2.144	
Metal	Destino D	2.144	
Tambor não contaminado	Destino F	96.4	
Lata de alumínio	Destino E	39	
Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino F	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 55 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.1

A tabela 56 mostra os resultados para incineração da instância 2.1.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	6	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 56 – Resultados para Incineração – Instância 2.1

A tabela 57 mostra os resultados para aterro industrial da instância 2.1.

Destinação-Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	2.844	
Lodo residual	Destino J	96	
Resíduo alimentar	Destino J	215	
Madeira não contaminada	Destino J	3.897	
Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 57 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.1

A tabela 58 mostra os resultados para rerrefino da instância 2.1.

Destinação-Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	21.566	
Resíduo oleoso	Destino M	30.940	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	3
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	4

Tabela 58 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.1

A tabela 59 mostra os resultados para beneficiamento da instância 2.1.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	30.000	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	3

Tabela 59 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.1

A tabela 60 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 2.1.

Custos parciais de transporte para a instância 2.1	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	138.180,00
Reciclagem	64.600,00

Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	48.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 2.1	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	25.306,80
Reciclagem (pagamento)	13.784,70
Reciclagem (venda)	-9.648,00
Incineração	10,20
Aterro Industrial	3.183,56
Rerrefino	56.200,4
Beneficiamento	13.500,00

Tabela 60 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.1

7.3.7 Instância 2.2

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 429.882,00.

A tabela 61 mostra os resultados para blendagem da instância 2.2.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	16.760	
Lama de perfuração	Destino B	24.920	
Lama de perfuração	Destino C	24.920	
Resíduos contaminados	Destino A	6.480	
Tambores contaminados	Destino A	1.221	
Aerosol	Destino A	26	
Bombona Contaminada	Destino A	167	
Cimento	Destino A	261	
Transporte-Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	2
Transportadora 1	tanque	Destino B	3
Transportadora 1	tanque	Destino C	3
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 61 – Resultados para Blendagem – Instância 2.2

A tabela 62 mostra os resultados para reciclagem da instância 2.2.

Destinação-Reciclagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente	Destino E	18
Pilha e bateria	Destino F	86
Cartucho de impressão	Destino F	48

Vidro	Destino E	93	
Plástico	Destino F	812	
Papel e papelão	Destino E	843	
Metal	Destino E	2.222	
Metal	Destino F	2.172	
Metal	Destino G	3.215	
Metal	Destino D	3.215	
Tambor não contaminado	Destino F	96.4	
Lata de alumínio	Destino E	39	
Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino F	1
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1

Tabela 62 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.2

A tabela 63 mostra os resultados para incineração da instância 2.2.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	6	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 63 – Resultados para Incineração – Instância 2.2

A tabela 64 mostra os resultados para aterro industrial da instância 2.2.

Destinação-Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	2.844	
Lodo residual	Destino J	96	
Resíduo alimentar	Destino J	215	
Madeira não contaminada	Destino J	3.897	
Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 64 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.2

A tabela 65 mostra os resultados para rerrefino da instância 2.2.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	20.625	
Resíduo oleoso	Destino M	20.627	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	3
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	3

Tabela 65 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.2

A tabela 66 mostra os resultados para beneficiamento da instância 2.2.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	20.627	
Resíduo oleoso	Destino O	20.627	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	3
Transportadora 1	tanque	Destino O	3

Tabela 66 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.2

A tabela 67 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 2.2.

Custos parciais de transporte para a instância 2.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	138.180,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	96.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 2.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	25.306,80
Reciclagem	22.578,90
ReciclagemNEG	0,00
Incineração	10,20
Aterro Industrial	3.183,56
Rerrefino	44.964,50
Beneficiamento	21.658,40

Tabela 67 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.2

7.3.8 Instância 2.3

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 411.079,00.

A tabela 68 mostra os resultados para blendagem da instância 2.3.

Destinação-Blendagem			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lama de perfuração		Destino A	29.222
Lama de perfuração		Destino B	37.378
Resíduos contaminados		Destino A	6.480
Tambores contaminados		Destino A	1.221
Aerosol		Destino A	26
Bombona Contaminada		Destino A	167
Cimento		Destino A	261
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	3
Transportadora 1	tanque	Destino B	4
Transportadora 3	caçamba	Destino A	1

Tabela 68 – Resultados para Blendagem – Instância 2.3

A tabela 69 mostra os resultados para reciclagem da instância 2.3.

Destinação – Reciclagem			
Tipo de Resíduo		Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente		Destino E	18
Pilha e bateria		Destino F	86
Cartucho de impressão		Destino F	48
Vidro		Destino E	93
Plástico		Destino F	812
Papel e papelão		Destino E	843
Metal		Destino E	1.579
Metal		Destino F	1.625,4
Metal		Destino H	2.572
Metal		Destino I	2.475,6
Metal		Destino G	2.572
Tambor não contaminado		Destino I	96,4
Lata de alumínio		Destino E	39
Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino F	1
Transportadora 3	caçamba	Destino H	1
Transportadora 2	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1

Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1
------------------------------	---------	-----------	---

Tabela 69 – Resultados para Reciclagem – Instância 2.3

A tabela 70 mostra os resultados para incineração da instância 2.3.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	6	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 70 – Resultados para Incineração – Instância 2.3

A tabela 71 mostra os resultados para aterro industrial da instância 2.3.

Destinação - Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	2.844	
Lodo residual	Destino J	96	
Resíduo alimentar	Destino J	215	
Madeira não contaminada	Destino J	3.897	
Transporte - Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	caçamba	Destino J	1

Tabela 71 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 2.3

A tabela 72 mostra os resultados para rerrefino da instância 2.3.

Destinação-Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	20.625	
Resíduo oleoso	Destino M	20.627	
Transporte-Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	3
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	3

Tabela 72 – Resultados para Rerrefino – Instância 2.3

A tabela 73 mostra os resultados para beneficiamento da instância 2.3.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	20.627	
Resíduo oleoso	Destino O	20.627	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	3
Transportadora 1	tanque	Destino O	3

Tabela 73 – Resultados para Beneficiamento – Instância 2.3

A tabela 74 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 2.3.

Custos parciais de transporte para a instância 2.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	123.140,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	96.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 2.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	38.390,10
Reciclagem (pagamento)	17.354,50
Reciclagem (venda)	-11.622,20
Incineração	10,20
Aterro Industrial	3.183,56
Rerrefino	44.964,50
Beneficiamento	21.658,40

Tabela 74 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 2.3

7.3.9 Instância 3.0

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 666.869,00.

A tabela 75 mostra os resultados para blendagem da instância 3.0.

Destinação – Blendagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lama de perfuração	Destino A	40.000
Lama de perfuração	Destino B	50.000
Lama de perfuração	Destino C	43.071
Resíduos contaminados	Destino A	9.479
Resíduos contaminados	Destino C	3.468
Tambores contaminados	Destino C	2.440

Madeira não contaminada	Destino C	3.019	
Aerosol	Destino C	53	
Bombona Contaminada	Destino C	333	
Cimento	Destino A	521	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	4
Transportadora 1	tanque	Destino B	5
Transportadora 1	tanque	Destino C	5
Transportadora 3	caçamba	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 75 – Resultados para Blendagem – Instância 3.0

A tabela 76 mostra os resultados para reciclagem da instância 3.0.

Destinação – Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	36	
Pilha e bateria	Destino G	172	
Cartucho de impressão	Destino E	96	
Vidro	Destino E	186	
Plástico	Destino E	1.623	
Papel e papelão	Destino E	1.683	
Metal	Destino E	746	
Metal	Destino H	4.506	
Metal	Destino I	5.387	
Metal	Destino G	5.408	
Metal	Destino D	5.580	
Tambor não contaminado	Destino I	193	
Lata de alumínio	Destino E	77	
Madeira não contaminada	Destino H	1.074	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 76 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.0

A tabela 77 mostra os resultados para incineração da instância 3.0.

Destinação – Incineração

Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	12	
Transporte – Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 77 – Resultados para Incineração – Instância 3.0

A tabela 78 mostra os resultados para aterro industrial da instância 3.0.

Destinação - Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	5.683	
Lodo residual	Destino J	193	
Resíduo alimentar	Destino J	430	
Madeira não contaminada	Destino J	3.694	
Transporte - Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 78 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.0

A tabela 79 mostra os resultados para rerrefino da instância 3.0.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	41.211	
Resíduo oleoso	Destino M	41.214	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	5
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	5

Tabela 79 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.0

A tabela 80 mostra os resultados para beneficiamento da instância 3.0.

Destinação – Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	41.214	
Resíduo oleoso	Destino O	41.214	
Transporte – Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos

Transportadora 1	tanque	Destino N	5
Transportadora 1	tanque	Destino O	5

Tabela 80 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.0

A tabela 81 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 3.0.

Custos parciais de transporte para a instância 3.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	246.280,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,0
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	160.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 3.0	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	51.000,00
Reciclagem (pagamento)	19.960,10
Reciclagem (venda)	25.743,50
Incineração	20,40
Aterro Industrial	4.233,89
Rerrefino	89.842,90
Beneficiamento	43.274,70

Tabela 81 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.0

7.3.10 Instância 3.1

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 600.474,00.

A tabela 82 mostra os resultados para blendagem da instância 3.1.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	40.000	
Lama de perfuração	Destino B	50.000	
Lama de perfuração	Destino C	43.071	
Resíduos contaminados	Destino A	9.479	
Resíduos contaminados	Destino C	3.468	
Tambores contaminados	Destino C	2.440	
Madeira não contaminada	Destino C	3.019	
Aerosol	Destino C	53	
Bombona Contaminada	Destino C	333	
Cimento	Destino A	521	
Transporte – Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos

Transportadora 1	tanque	Destino A	4
Transportadora 1	tanque	Destino B	5
Transportadora 1	tanque	Destino C	5
Transportadora 3	caçamba	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 82 – Resultados para Blendagem – Instância 3.1

A tabela 83 mostra os resultados para reciclagem da instância 3.1.

Destinação-Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	36	
Pilha e bateria	Destino G	172	
Cartucho de impressão	Destino E	96	
Vidro	Destino E	186	
Plástico	Destino E	1.623	
Papel e papelão	Destino E	1.683	
Metal	Destino E	746	
Metal	Destino H	4.506	
Metal	Destino I	5.387	
Metal	Destino G	5.408	
Metal	Destino D	5.580	
Tambor não contaminado	Destino I	193	
Lata de alumínio	Destino E	77	
Madeira não contaminada	Destino H	1.074	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino H	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 83 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.1

A tabela 84 mostra os resultados para incineração da instância 3.1.

Destinação – Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	12	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 84 – Resultados para Incineração – Instância 3.1

A tabela 85 mostra os resultados para aterro industrial da instância 3.1.

Destinação-Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	5.683	
Lodo residual	Destino J	193	
Resíduo alimentar	Destino J	430	
Madeira não contaminada	Destino J	3.694	
Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 85 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.1

A tabela 86 mostra os resultados para rerrefino da instância 3.1.

Destinação – Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	53.032	
Resíduo oleoso	Destino M	61.821	
Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	6
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	7

Tabela 86 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.1

A tabela 87 mostra os resultados para beneficiamento da instância 3.1.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	50.000	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	5

Tabela 87 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.1

A tabela 88 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 3.1.

Custos parciais de transporte para a instância 3.1	
Tipo de Tratamento	R\$

Blendagem	246.280,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	80.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 3.1	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	51.000,00
Reciclagem (pagamento)	19.960,10
Reciclagem (venda)	-25.743,50
Incineração	20,40
Aterro Industrial	4.233,89
Rerrefino	124.223,00
Beneficiamento	22.500,00

Tabela 88 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.1

7.3.11 Instância 3.2

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 713.506,00.

A tabela 89 mostra os resultados para blendagem da instância 3.2.

Destinação – Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	40.000	
Lama de perfuração	Destino B	50.000	
Lama de perfuração	Destino C	43.071	
Resíduos contaminados	Destino A	9.479	
Resíduos contaminados	Destino C	3.468	
Tambores contaminados	Destino C	2.440	
Madeira não contaminada	Destino C	3.019	
Aerosol	Destino C	53	
Bombona Contaminada	Destino C	333	
Cimento	Destino A	521	
Transporte-Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	4
Transportadora 1	tanque	Destino B	5
Transportadora 1	tanque	Destino C	5
Transportadora 3	caçamba	Destino C	1
Transportadora 2	caçamba	Destino A	1

Tabela 89 – Resultados para Blendagem – Instância 3.2

A tabela 90 mostra os resultados para reciclagem da instância 3.2.

Destinação-Reciclagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lâmpada Fluorescente	Destino E	36	
Pilha e bateria	Destino F	172	
Cartucho de impressão	Destino F	96	
Vidro	Destino E	186	
Plástico	Destino F	1.623	
Papel e papelão	Destino E	1.683	
Metal	Destino E	4.887	
Metal	Destino G	8.370	
Metal	Destino D	8.370	
Tambor não contaminado	Destino F	193	
Lata de alumínio	Destino E	77	
Madeira não contaminada	Destino F	1.074	
Transporte – Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino F	1
Transportadora 3	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino D	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1

Tabela 90 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.2

A tabela 91 mostra os resultados para incineração da instância 3.2.

Destinação-Incineração			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo infectocontagioso	Destino K	12	
Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 91 – Resultados para Incineração – Instância 3.2

A tabela 92 mostra os resultados para aterro industrial da instância 3.2.

Destinação-Aterro Industrial			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo não reciclável	Destino J	5.683	
Lodo residual	Destino J	193	
Resíduo alimentar	Destino J	430	
Madeira não contaminada	Destino J	3.694	
Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino J	1

Tabela 92 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.2

A tabela 93 mostra os resultados para rerrefino da instância 3.2.

Destinação-Rerrefino			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino L	41.211	
Resíduo oleoso	Destino M	41.214	
Transporte-Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	5
Caminhão Próprio (Destino M)	tanque	Destino M	5

Tabela 93 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.2

A tabela 94 mostra os resultados para beneficiamento da instância 3.2.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	41.214	
Resíduo oleoso	Destino O	41.214	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	5
Transportadora 1	tanque	Destino O	5

Tabela 94 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.2

A tabela 95 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 3.2.

Custos parciais de transporte para a instância 3.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	246.280,00
Reciclagem	51.680,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	160.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 3.2	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	51.000,00
/Reciclagem (pagamento)	40.853,80
Reciclagem (venda)	0,00

Incineração	20,40
Aterro Industrial	4.233,89
Rerrefino	89.842,90
Beneficiamento	43.274,70

Tabela 95 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.2

7.3.11 Instância 3.3

Para esta instância, o custo total foi de R\$ 683.577,00.

A tabela 96 mostra os resultados para blendagem da instância 3.3.

Destinação-Blendagem			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Lama de perfuração	Destino A	54.495	
Lama de perfuração	Destino B	78.576	
Resíduos contaminados	Destino A	12.947	
Tambores contaminados	Destino A	2.440	
Madeira não contaminada	Destino A	3.706	
Aerosol	Destino A	53	
Bombona Contaminada	Destino A	333	
Cimento	Destino A	521	
Transporte-Blendagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino A	6
Transportadora 1	tanque	Destino B	8
Transportadora 3	caçamba	Destino A	2

Tabela 96 – Resultados para Blendagem – Instância 3.3

A tabela 97 mostra os resultados para reciclagem da instância 3.3.

Destinação-Reciclagem		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Lâmpada Fluorescente	Destino E	36
Pilha e bateria	Destino G	172
Cartucho de impressão	Destino E	96
Vidro	Destino E	186
Plástico	Destino E	1.623
Papel e papelão	Destino E	1.683
Metal	Destino E	2.291
Metal	Destino H	6.309
Metal	Destino I	6.503
Metal	Destino G	6.524
Tambor não contaminado	Destino I	193
Lata de alumínio	Destino E	77
Madeira não contaminada	Destino H	387

Transporte-Reciclagem			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 3	caçamba	Destino H	1
Transportadora 2	caçamba	Destino G	1
Transportadora 2	caçamba	Destino E	1
Caminhão Próprio (Destino I)	caçamba	Destino I	1

Tabela 97 – Resultados para Reciclagem – Instância 3.3

A tabela 98 mostra os resultados para incineração da instância 3.3.

Destinação-Incineração		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo infectocontagioso	Destino K	12

Transporte-Incineração			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	furgão	Destino K	1

Tabela 98 – Resultados para Incineração – Instância 3.3

A tabela 99 mostra os resultados para aterro industrial da instância 3.3.

Destinação-Aterro Industrial		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo não reciclável	Destino J	5.683
Lodo residual	Destino J	193
Resíduo alimentar	Destino J	430
Madeira não contaminada	Destino J	3.694

Transporte-Aterro Industrial			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 2	caçamba	Destino J	1

Tabela 99 – Resultados para Aterro Industrial – Instância 3.3

A tabela 100 mostra os resultados para rerrefino da instância 3.3.

Destinação – Rerrefino		
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)
Resíduo oleoso	Destino L	41.211
Resíduo oleoso	Destino M	41.214

Transporte – Rerrefino			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Caminhão Próprio (Destino L)	tanque	Destino L	5
Caminhão Próprio	tanque	Destino M	5

(Destino M)			
-------------	--	--	--

Tabela 100 – Resultados para Rerrefino – Instância 3.3

A tabela 101 mostra os resultados para beneficiamento da instância 3.3.

Destinação-Beneficiamento			
Tipo de Resíduo	Empresa de Destinação	Quantidade (kg)	
Resíduo oleoso	Destino N	41.214	
Resíduo oleoso	Destino O	41.214	
Transporte-Beneficiamento			
Empresa Transportadora	Tipo de Veículo	Destinação do veículo	Quant. veículos
Transportadora 1	tanque	Destino N	5
Transportadora 1	tanque	Destino O	5

Tabela 101 – Resultados para Beneficiamento – Instância 3.0

A tabela 102 mostra os custos parciais de transporte e destinação para instância 3.3.

Custos parciais de transporte para a instância 3.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	246.280,00
Reciclagem	38.760,00
Incineração	8.460,00
Aterro Industrial	17.860,00
Rerrefino	0,00
Beneficiamento	160.000,00
Custos parciais de destinação para a instância 3.3	
Tipo de Tratamento	R\$
Blendagem	78.345,90
Reciclagem (pagamento)	26.921,60
Reciclagem (venda)	-30.422,00
Incineração	20,40
Aterro Industrial	4.233,89
Rerrefino	89.842,90
Beneficiamento	43.274,70

Tabela 102 – Custos de Transporte e Destinação – Instância 3.3

7.4 Esquema das soluções para os horizontes de planejamento mensal e bimestral

7.4.1 Instância 2.0

Para este conjunto de instâncias o fluxo de resíduos foi planejado com periodicidade de 10,37 meses. As figuras abaixo compreendem os resultados obtidos para todos os tipos de destino final.

A figura 25 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 2.0.

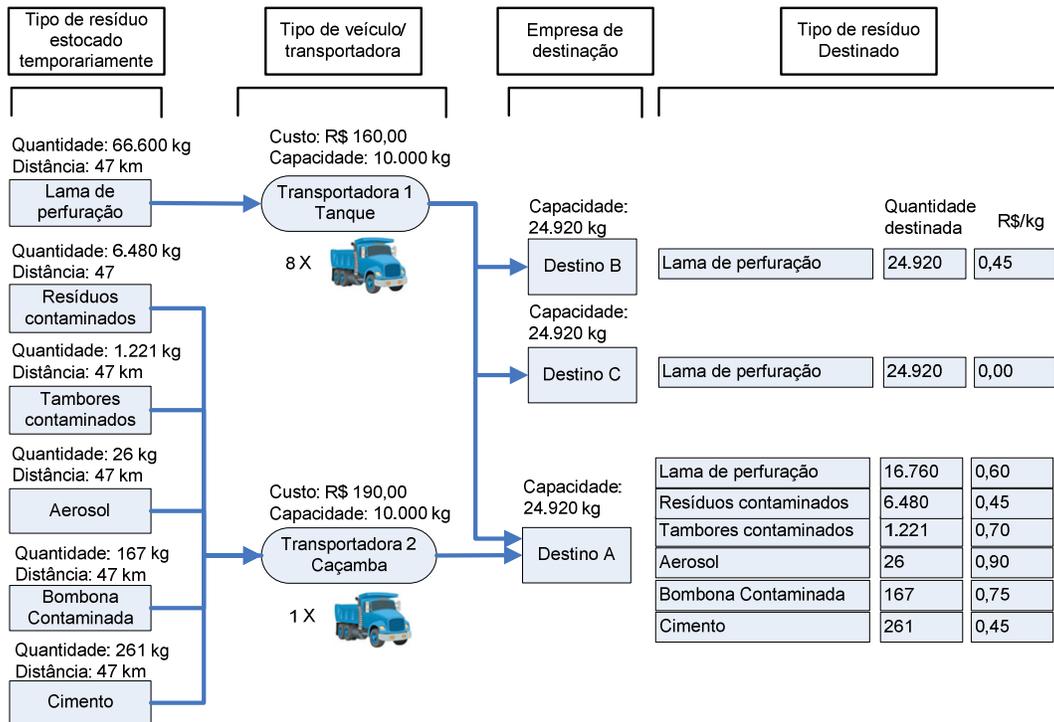


Figura 25 – Destino Final Blendagem– Instância 2.0

A figura 26 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 2.0.

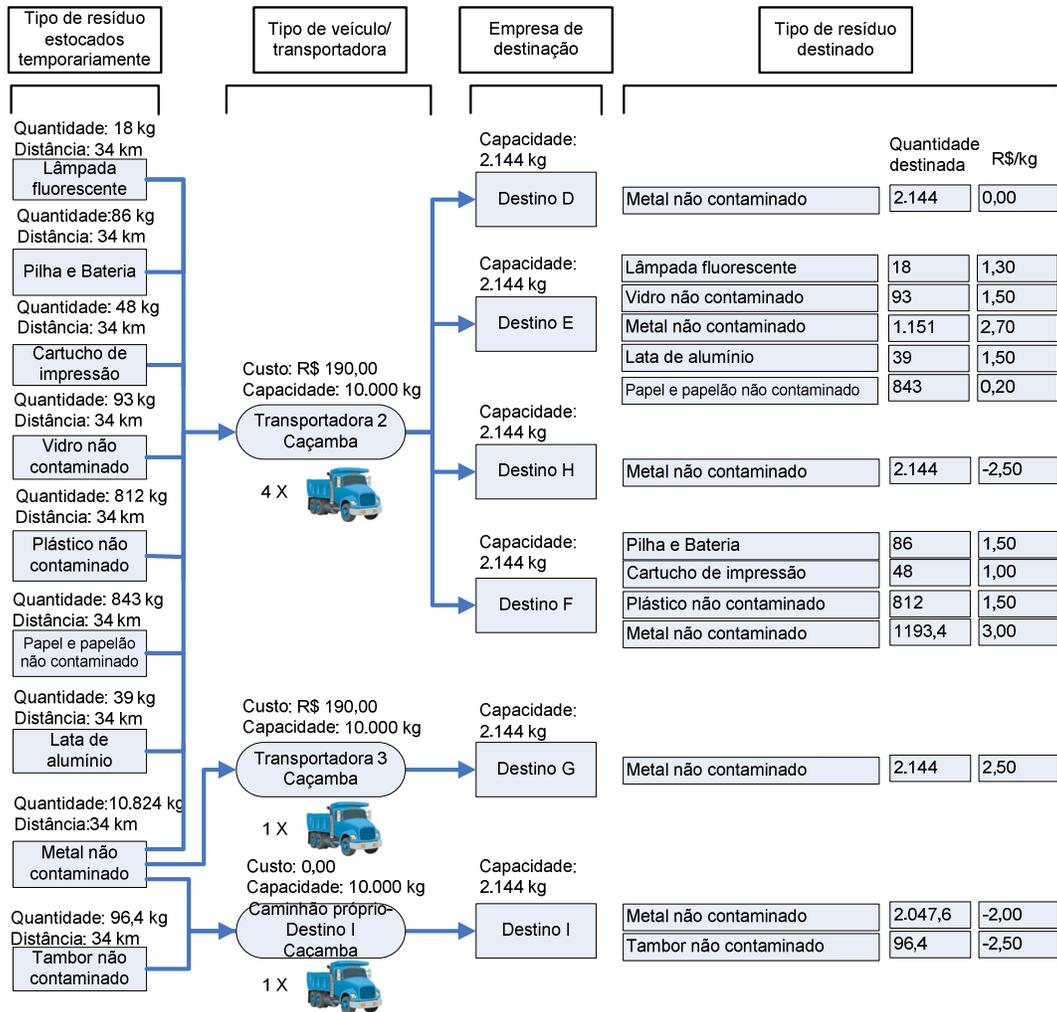


Figura 26 – Destino Final Reciclagem– Instância 2.0

A figura 27 apresenta a solução para o destino final aterro industrial para a instância 2.0

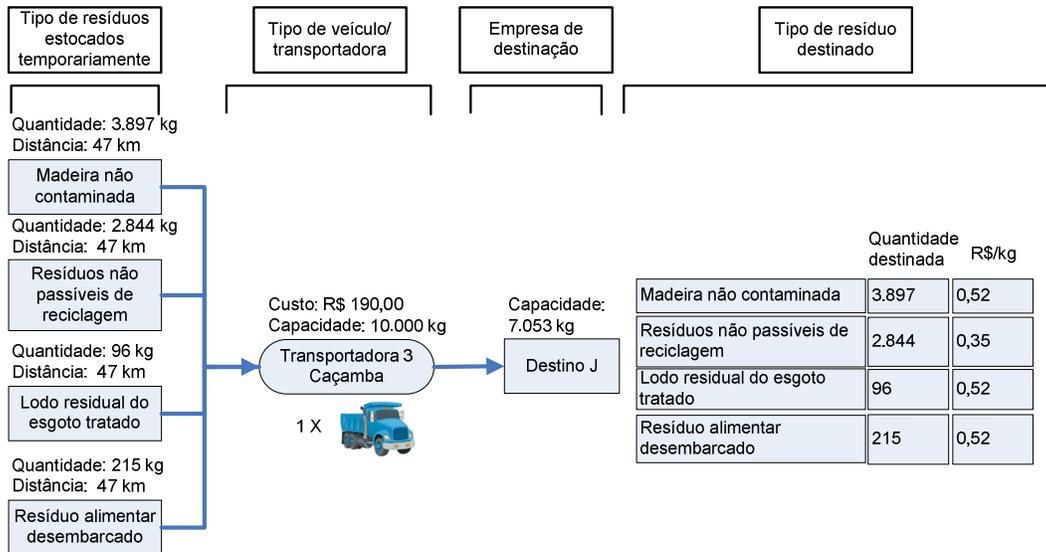


Figura 27 – Destino Final Aterro Industrial– Instância 2.0

A figura 28 apresenta a solução para o destino final incineração para a instância 2.0.

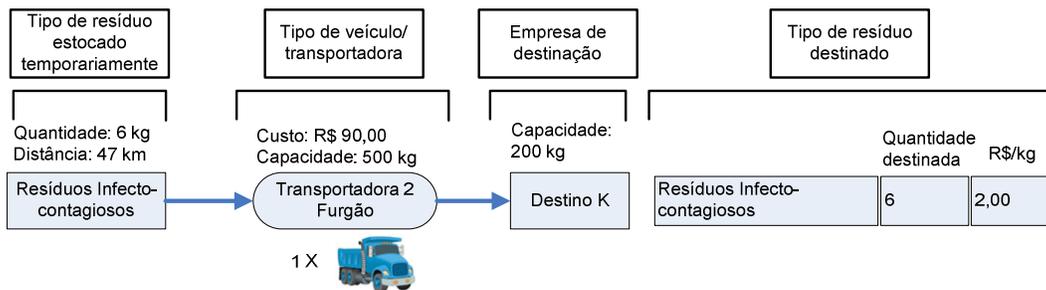


Figura 28 – Destino Final Incineração– Instância 2.0

A figura 29 apresenta a solução para os destinos finais rerrefino e beneficiamento para a instância 2.0.

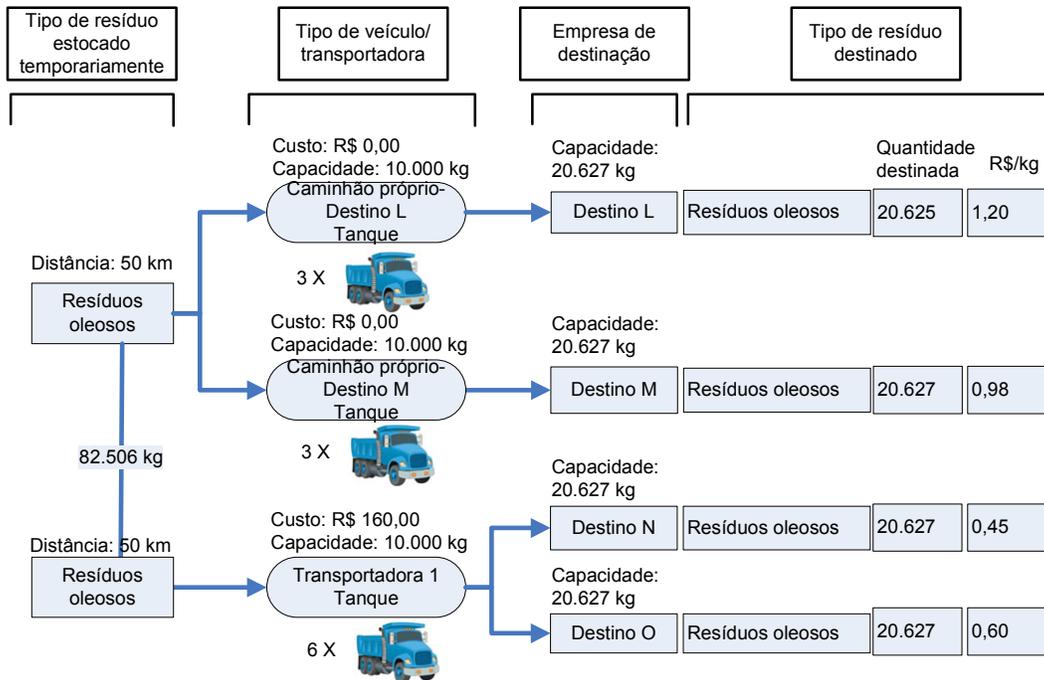


Figura 29 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento – Instância 2.0

O gráfico 12 apresenta os custos de transporte para a instância 2.0.

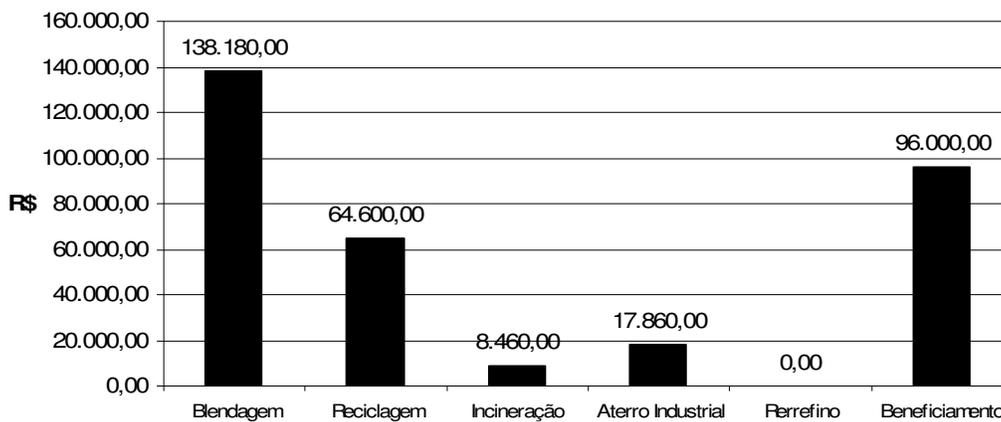


Gráfico 12 – Custos de transporte para a instância 2.0

O gráfico 13 apresenta os custos de destinação para a instância 2.0.

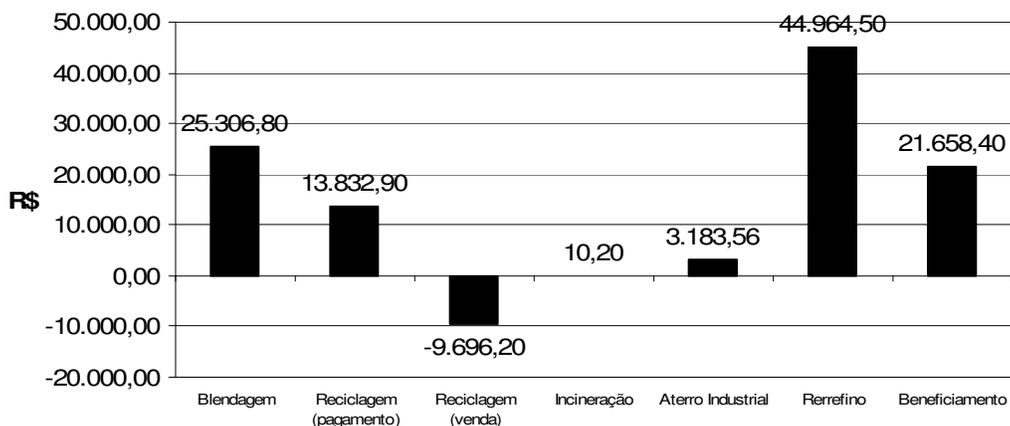


Gráfico 13 – Custos de destinação para a instância 2.0

7.4.2 Instância 2.1

Nesta instância, houve o aumento de 50% na capacidade nas empresas dos destinos finais Ferrefino e Beneficiamento, com isso, comparando com a instância 2.0, as mudanças ocorridas foram apenas nestes destinos finais.

A figura 30 apresenta a solução para os destinos finais ferrefino e beneficiamento, da instância 2.1.

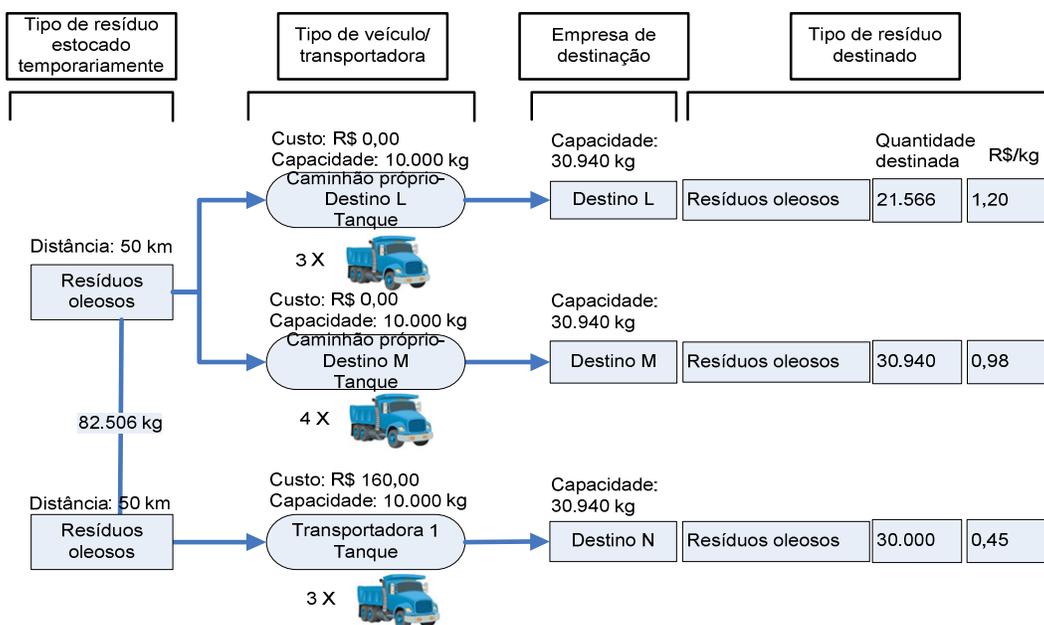


Figura 30 – Destinos Finais Ferrefino e Beneficiamento– Instância 2.1

O gráfico 14 apresenta os custos de transporte para a instância 2.1.

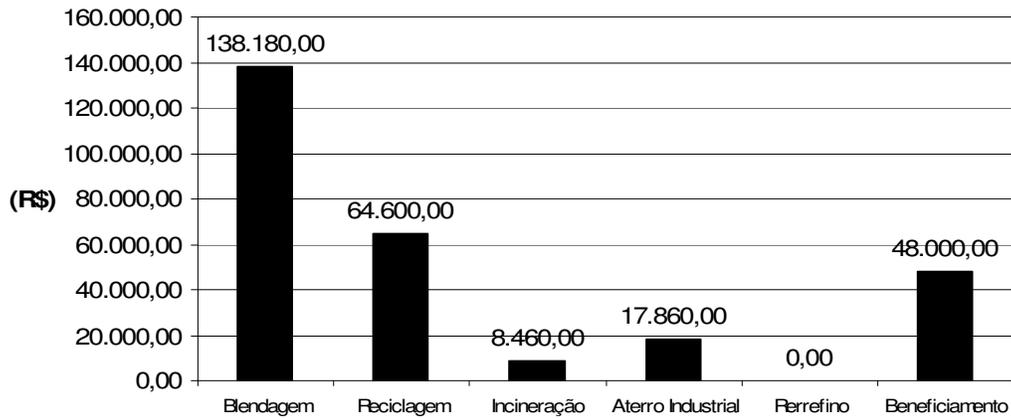


Gráfico 14 – Custos de transporte para a instância 2.1

O gráfico 15 apresenta os custos de destinação para a instância 2.1.

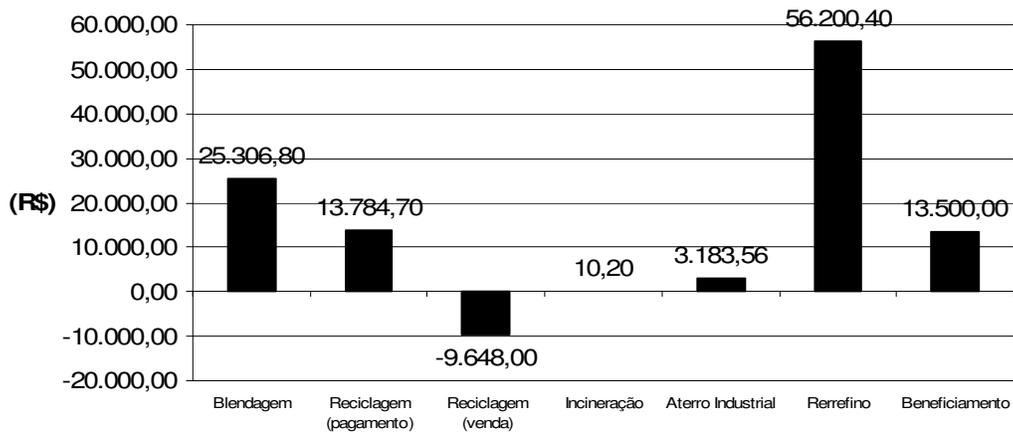


Gráfico 15 – Custos de destinação para a instância 2.1

7.4.3 Instância 2.2

Nesta instância, houve a remoção do processo fiscal Venda, com isso, as empresas “Destino H” e “Destino I” foram removidos. Por essa razão, o volume da capacidade foi distribuído para os destinos restantes. Comparando com a instância 2.0, as mudanças ocorridas foram no destino final Reciclagem.

A figura 31 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 2.2.

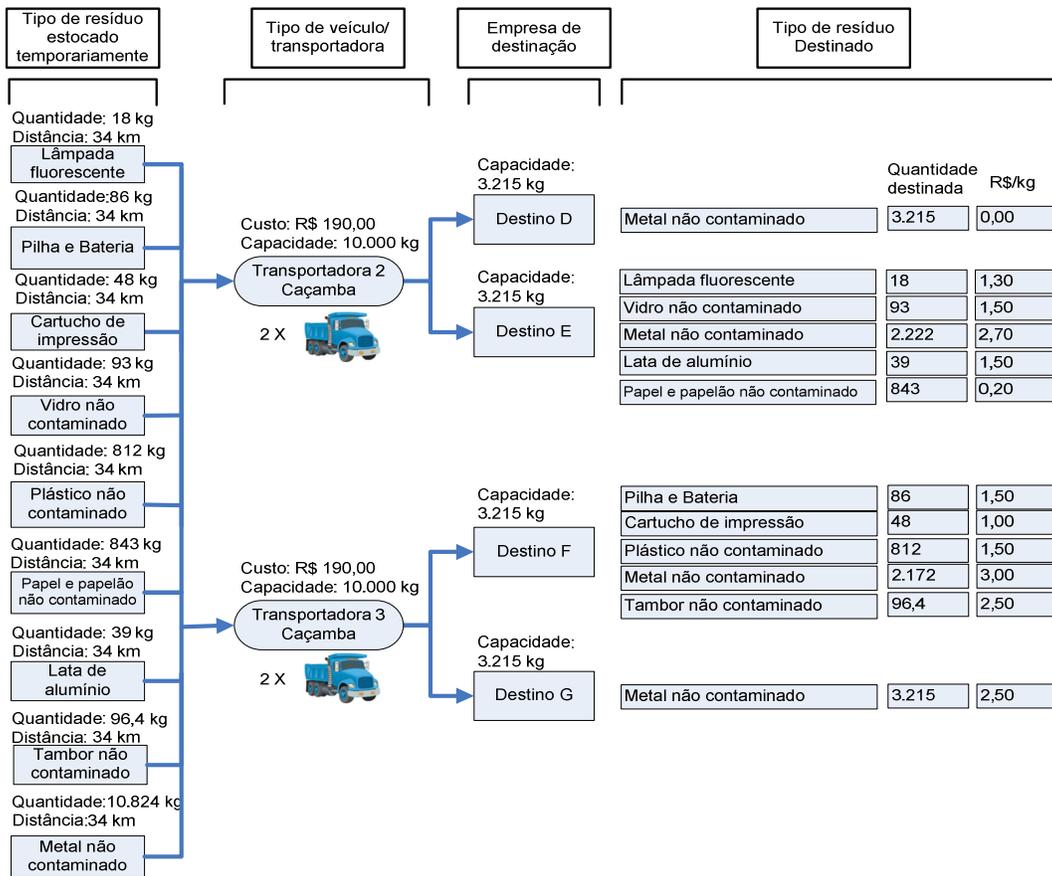


Figura 31 – Destino Final Reciclagem – instância 2.2

O gráfico 16 apresenta os custos de transporte para a instância 2.2.

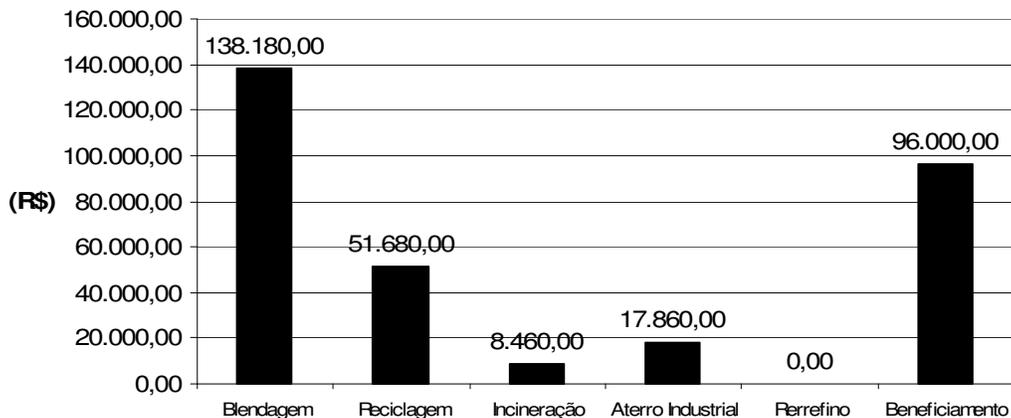


Gráfico 16 – Custos de transporte para a instância 2.2

O gráfico 17 apresenta os custos de destinação para a instância 2.2.

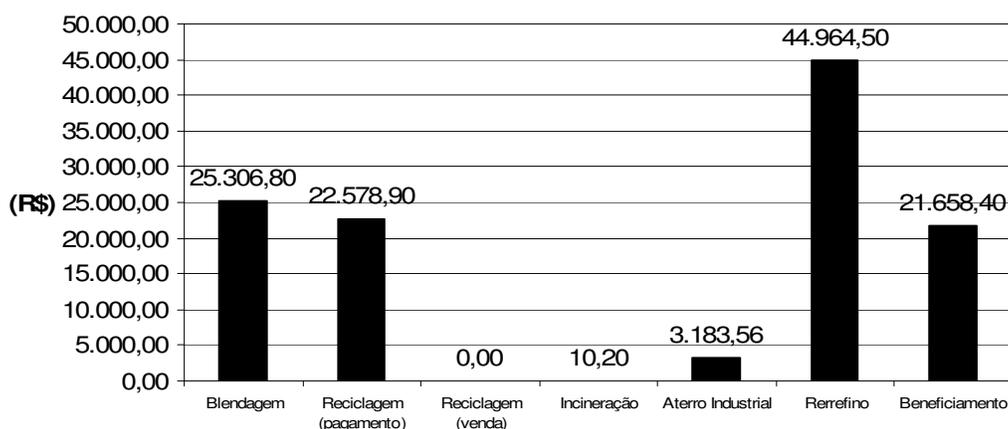


Gráfico 17 – Custos de destinação para a instância 2.2

7.4.4 Instância 2.3

Nesta instância, houve a remoção do processo fiscal doação, com isso, as empresas “Destino C” (Blendagem) e “Destino D” (Reciclagem) foram removidos. O volume da capacidade da empresa “Destino C” foi distribuído entre os destinos da Blendagem e o volume da capacidade da empresa “Destino D” foi distribuído entre as empresas da Reciclagem. Comparando com a instância 2.0, as mudanças ocorridas nos destinos finais Blendagem e Reciclagem são descritas nas figuras 34 e 35.

A figura 32 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 2.3.

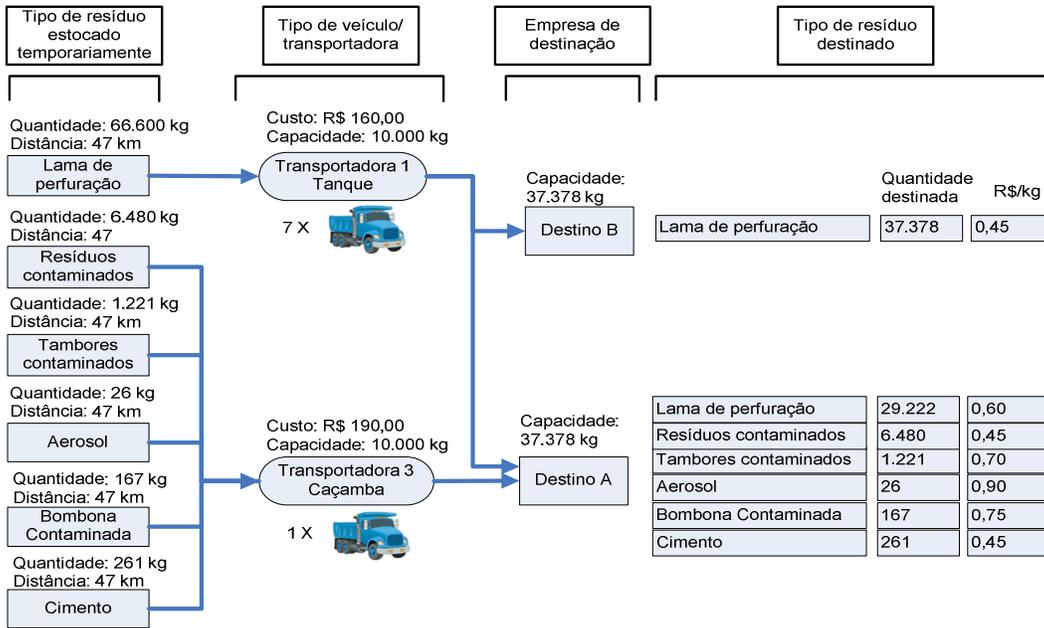


Figura 32 – Destino Final Blendagem– Instância 2.3

A figura 33 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 2.3.

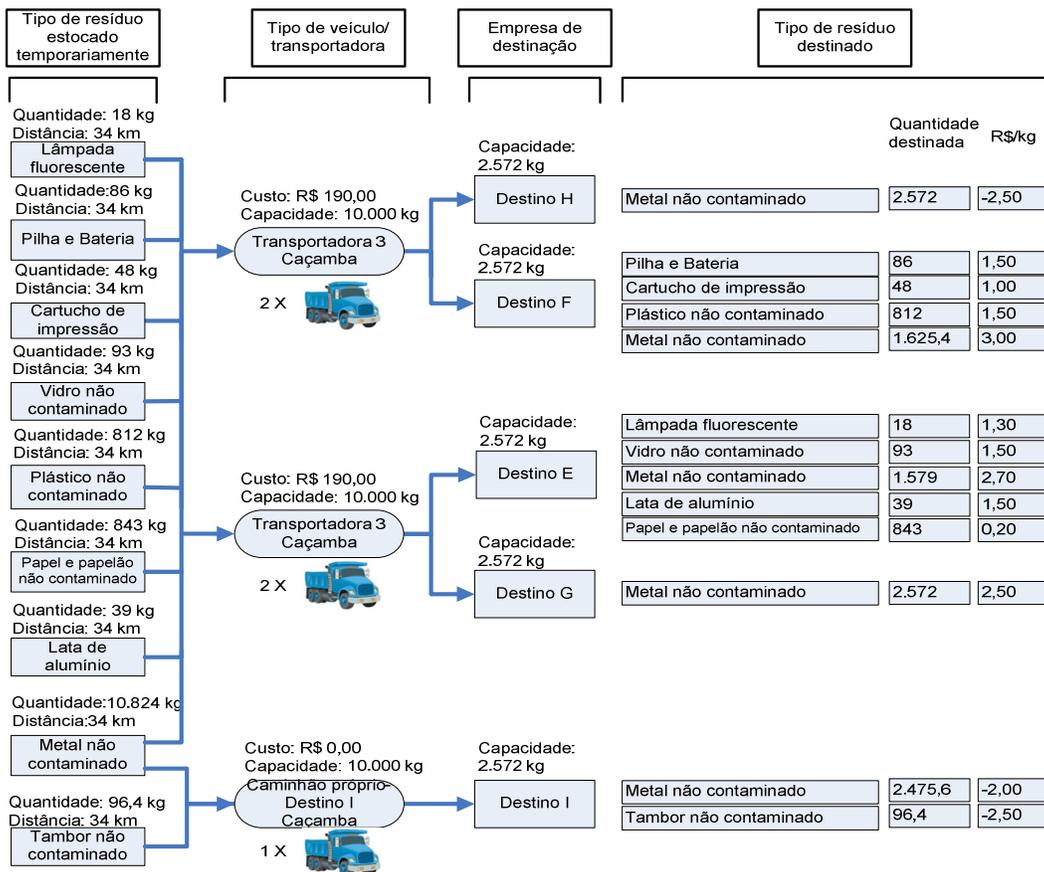


Figura 33 – Destino Final Reciclagem– Instância 2.3

O gráfico 18 apresenta os custos de transporte para a instância 2.3.

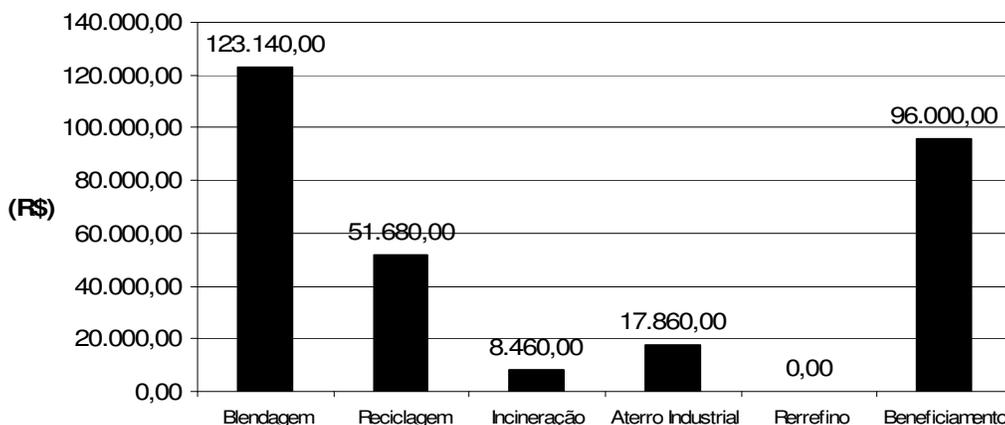


Gráfico 18 – Custos de transporte para a instância 2.3

O gráfico 19 apresenta os custos de destinação para a instância 2.3.

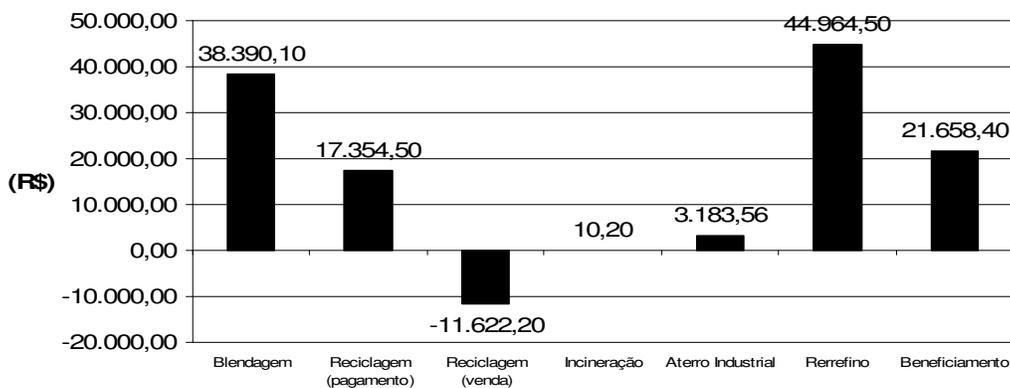


Gráfico 19 – Custos de destinação para a instância 2.3

7.4.5 Instância 3.0

Este conjunto de instâncias trata do fluxo de resíduos com horizonte de planejamento bimestral. Estas soluções compreendem os resultados obtidos em todos os tipos de destinação final. A figura 34 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 3.0.

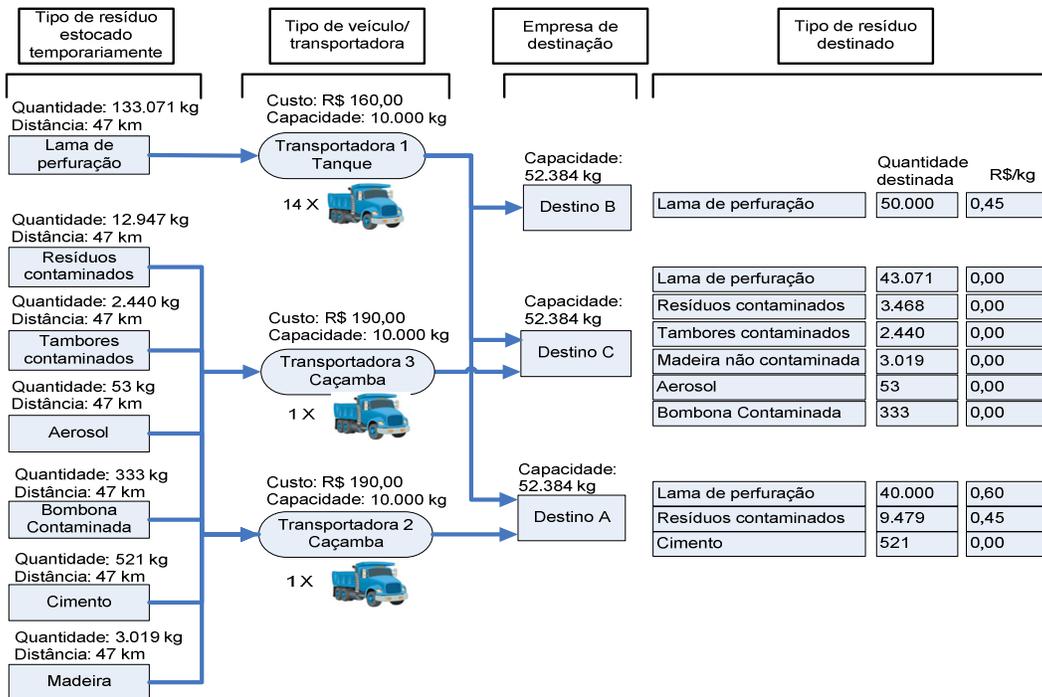


Figura 34 – Destino Final Blendagem– Instância 3.0

A figura 35 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 3.0.

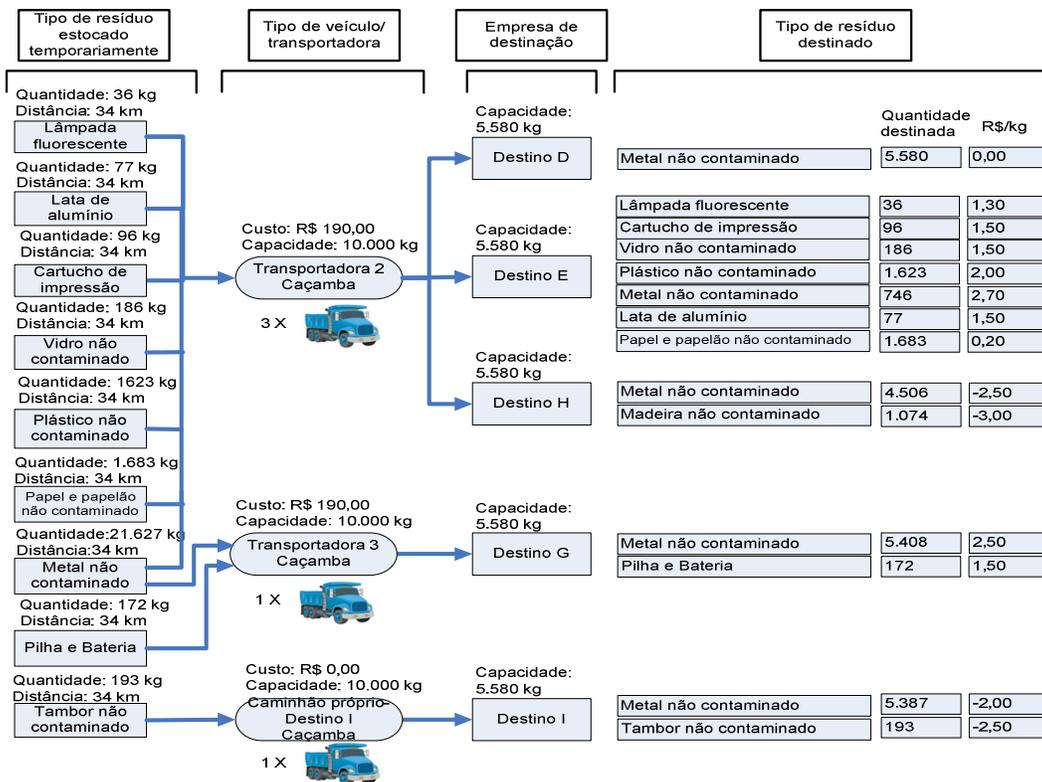


Figura 35 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.0

A figura 36 apresenta a solução para o destino final aterro industrial para a instância 3.0.

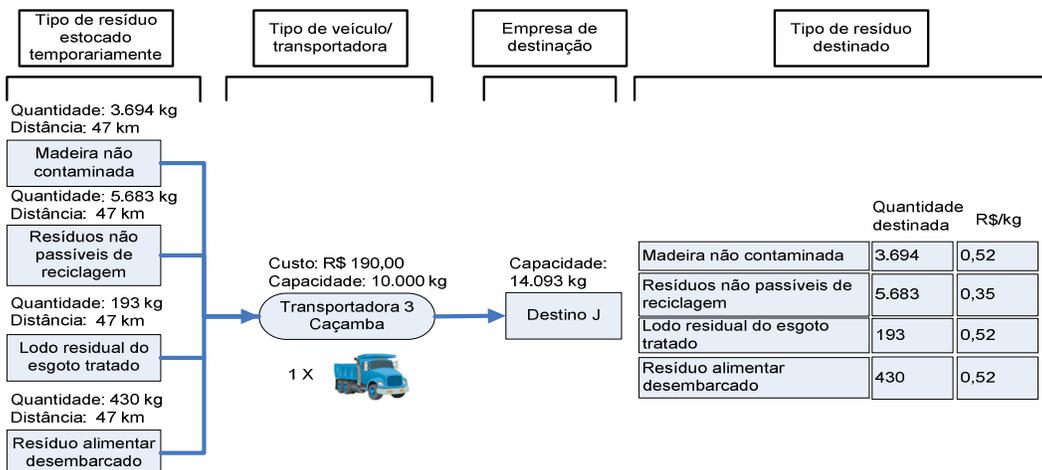


Figura 36 – Destino Final Aterro Industrial– Instância 3.0

A figura 37 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 3.0.

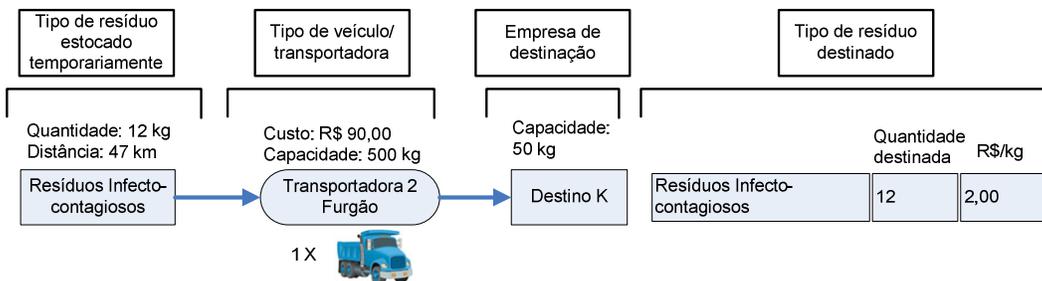


Figura 37 – Destino Final Incineração– Instância 3.0

A figura 38 apresenta a solução para os destinos finais rerrefino e beneficiamento para a instância 3.0.

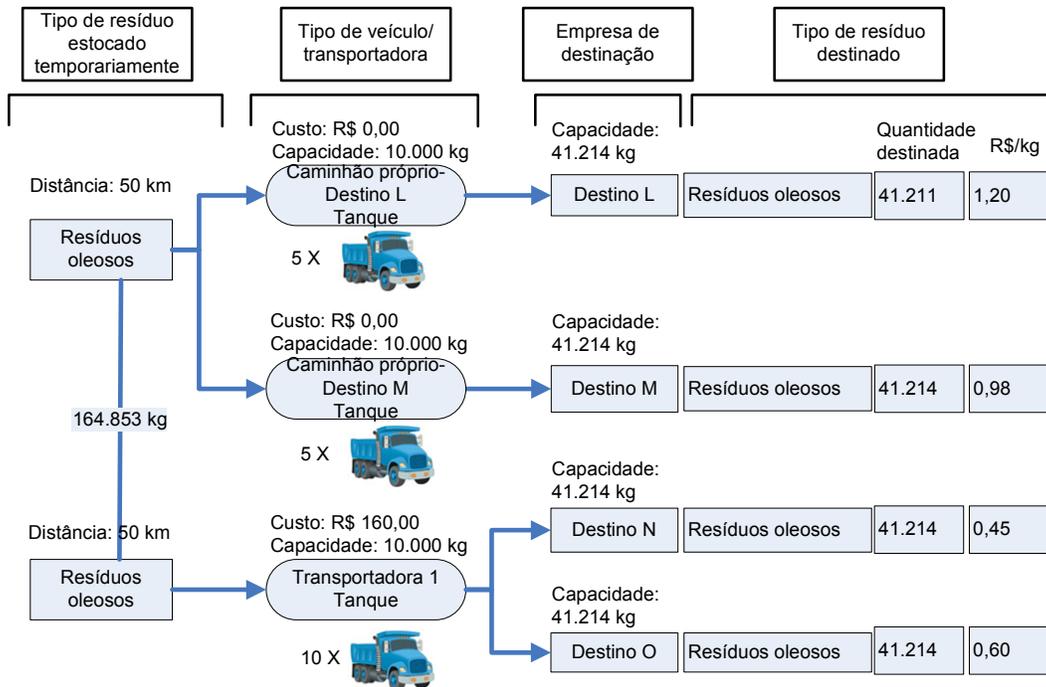


Figura 38 – Destinos Finais Rerrefino e Beneficiamento– Instância 3.0

O gráfico 20 apresenta os custos de transporte para a instância 3.0.

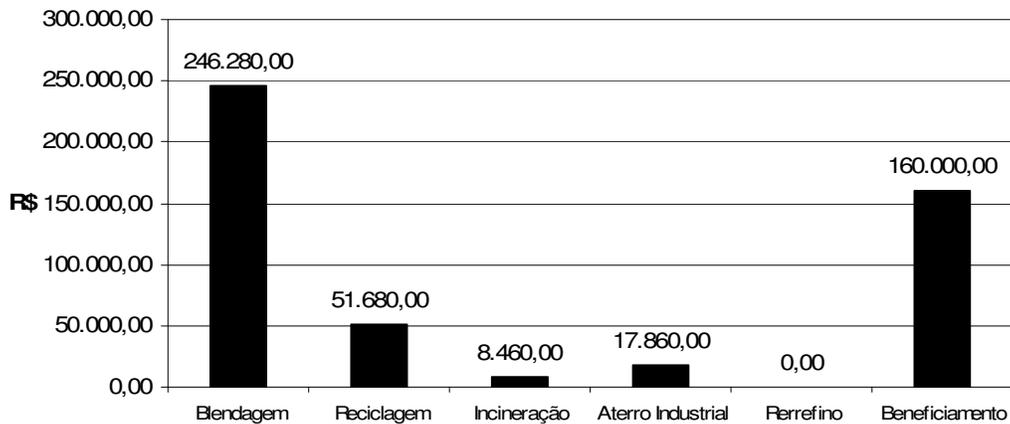


Gráfico 20 – Custos de transporte para a instância 3.0

O gráfico 21 apresenta os custos de destinação para a instância 3.0.

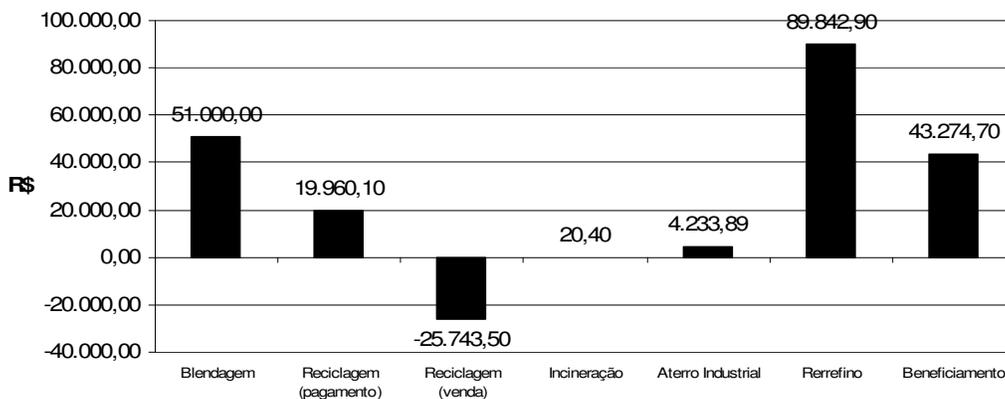


Gráfico 21 – Custos de destinação para a instância 3.0

7.4.6 Instância 3.1

Nesta instância, houve o aumento de 50% na capacidade dos destinos finais Rerrefino e Beneficiamento, com isso, comparando com a instância 3.0, as mudanças ocorridas foram nos destinos finais Rerrefino e Beneficiamento.

A figura 39 apresenta a solução para os destinos finais rerrefino e beneficiamento para a instância 3.1.

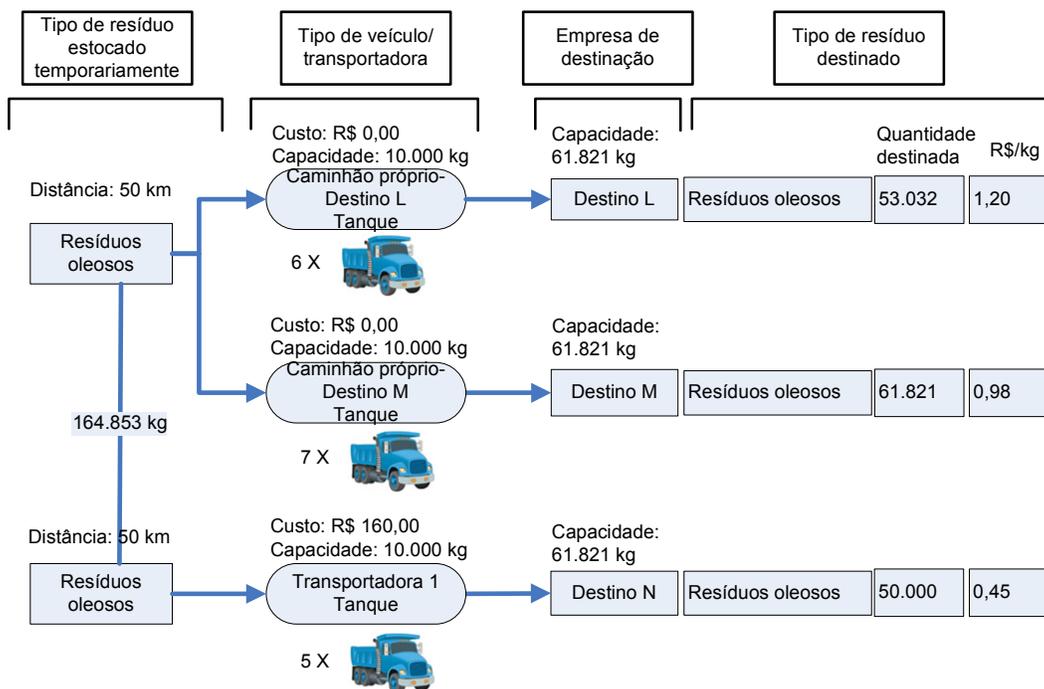


Figura 39 – Destino Final Rerrefino e Beneficiamento– Instância 3.1

O gráfico 22 apresenta os custos de transporte para a instância 3.1.

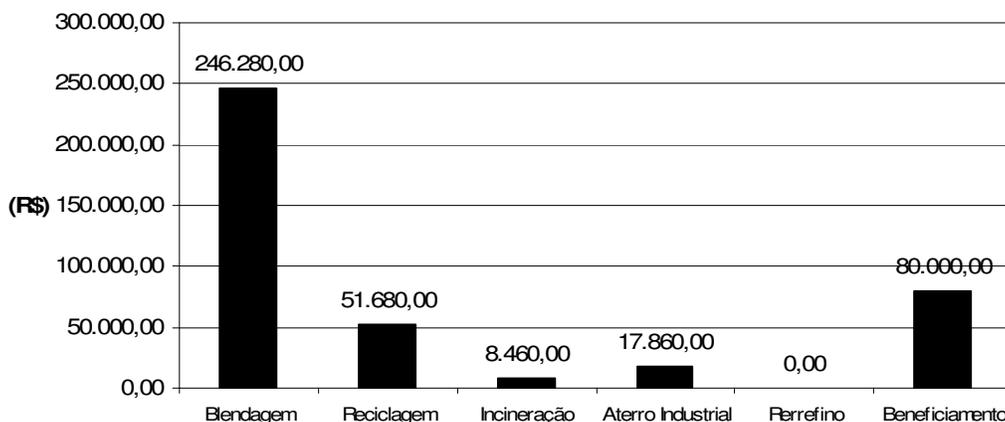


Gráfico 22 – Custos de transporte para a instância 3.1

O gráfico 23 apresenta os custos de destinação para a instância 3.1.

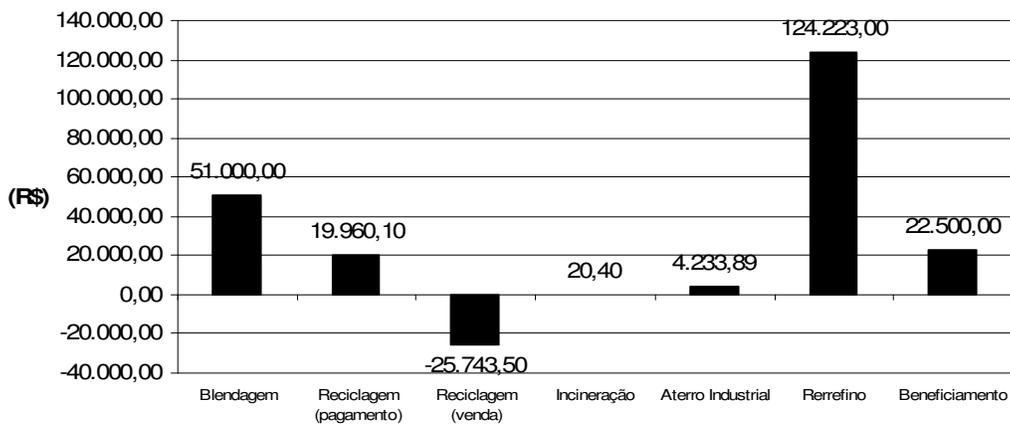


Gráfico 23 – Custos de destinação para a instância 3.1

7.4.7 Instância 3.2

Nesta instância, houve a remoção do processo fiscal venda, com isso, as empresas “Destino H” e “Destino I” foram removidas. Por essa razão, o volume da capacidade foi distribuído para os destinos restantes. Comparando com a instância 3.0, as mudanças ocorridas foram no destino final Reciclagem.

A figura 40 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 3.2.

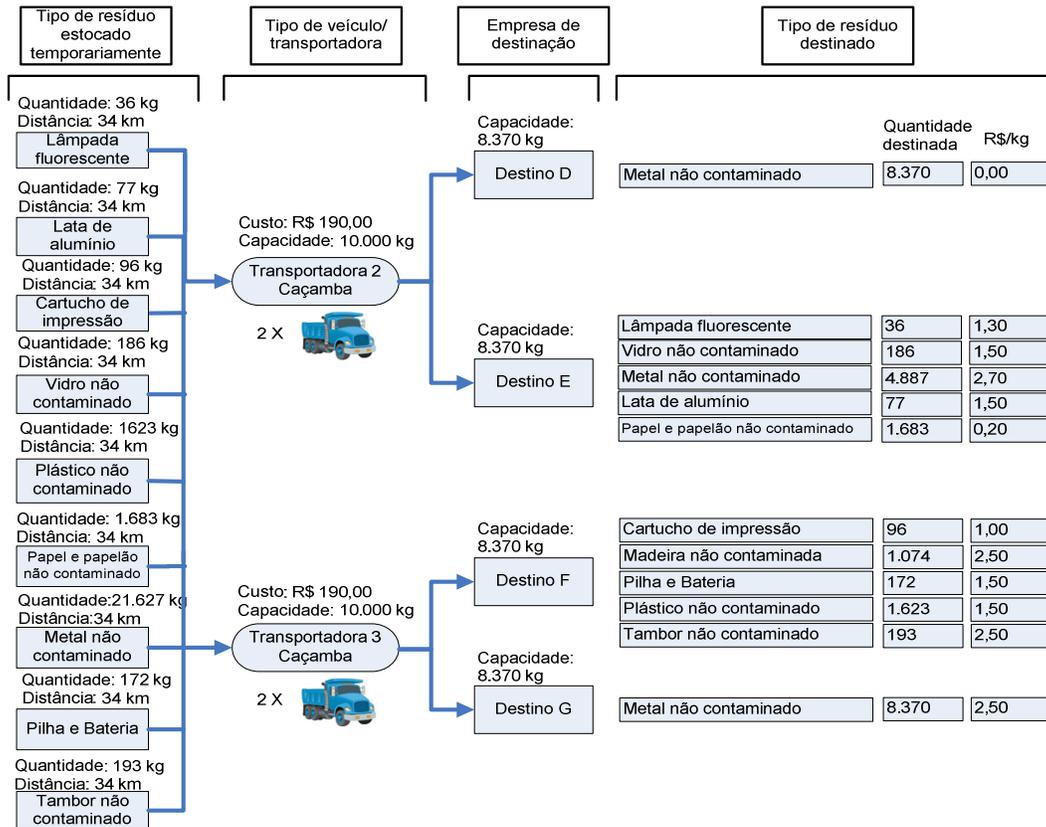


Figura 40 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.2

O gráfico 24 apresenta os custos de destinação para a instância 3.2.

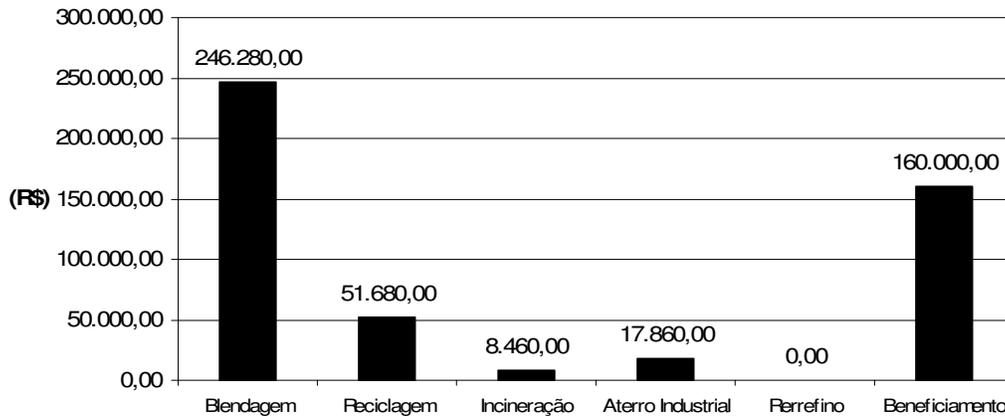


Gráfico 24 – Custos de transporte para a instância 3.2

O gráfico 25 apresenta os custos de destinação para a instância 3.2.

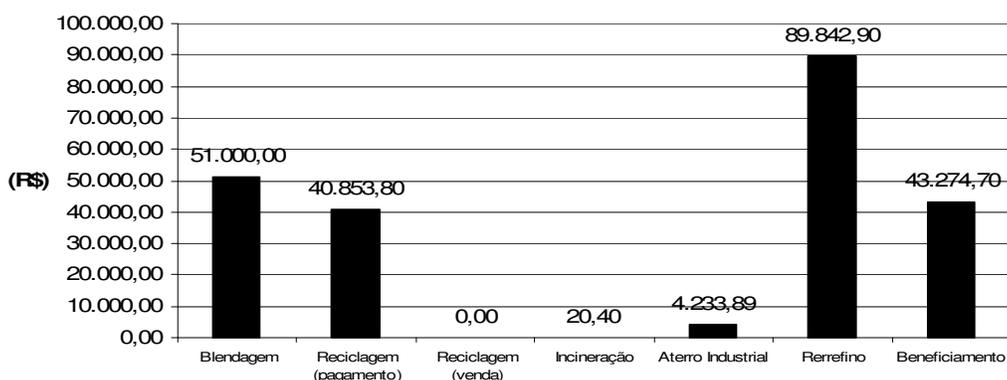


Gráfico 25 – Custos de destinação para a instância 3.2

7.4.8 Instância 3.3

Nesta instância, houve a remoção do processo fiscal doação, com isso, a empresa “Destino C” (Blendagem) e “Destino D” (Reciclagem) foram removidos. O volume da capacidade da empresa “Destino C” foi distribuído entre as outras empresas da Blendagem e o volume da capacidade da empresa “Destino D” foi distribuído entre as outras empresas da Reciclagem. Comparando com a instância 3.0, as mudanças são descritas nas figuras 43 e 44. A figura 41 apresenta a solução para o destino final blendagem para a instância 3.3.

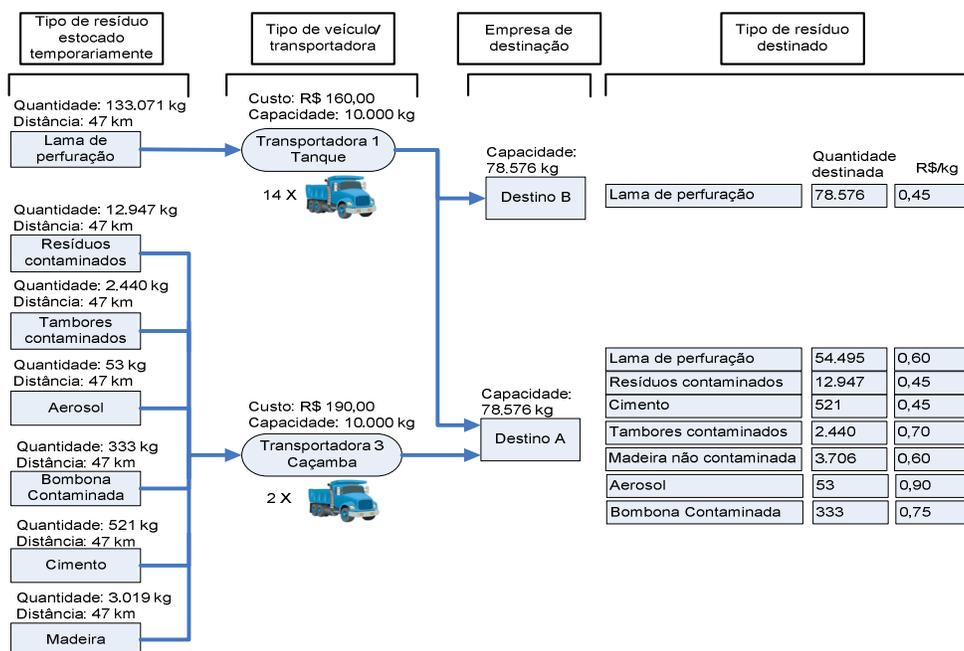


Figura 41 – Destino Final Blendagem– Instância 3.3

A figura 42 apresenta a solução para o destino final reciclagem para a instância 3.3.

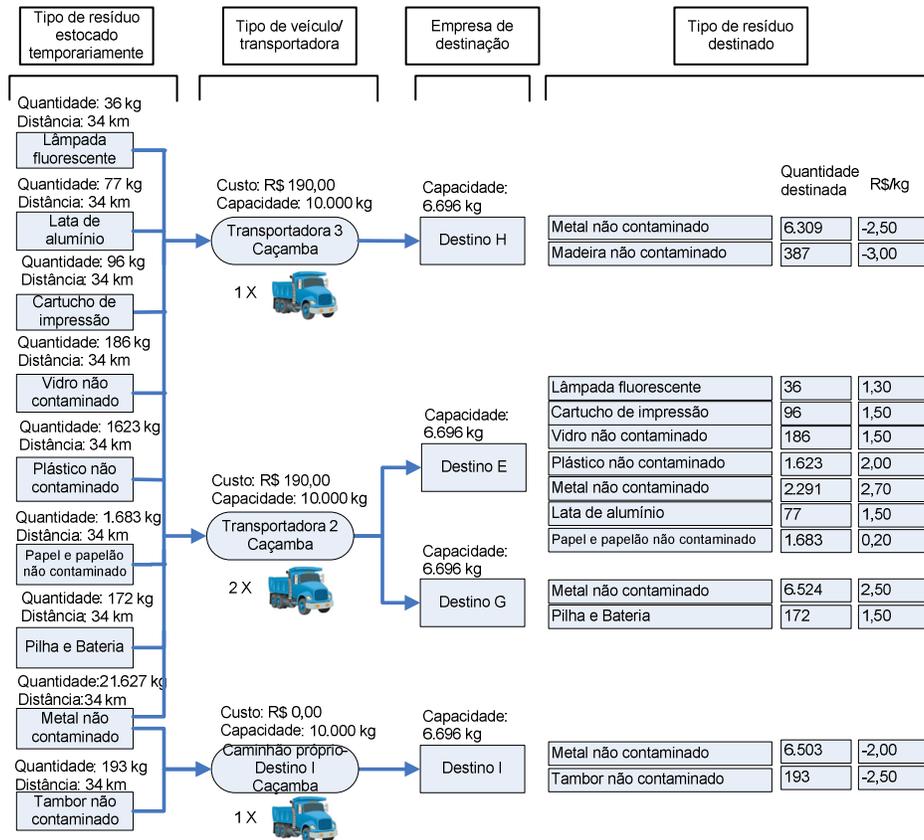


Figura 42 – Destino Final Reciclagem– Instância 3.3

O gráfico 26 apresenta os custos de transporte para a instância 3.3.

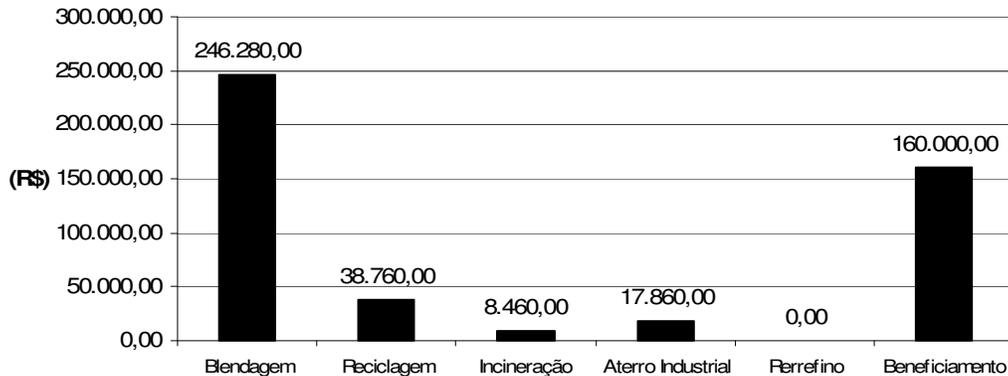


Gráfico 26 – Custos de transporte para a instância 3.3

O gráfico 27 apresenta os custos de destinação para a instância 3.3.

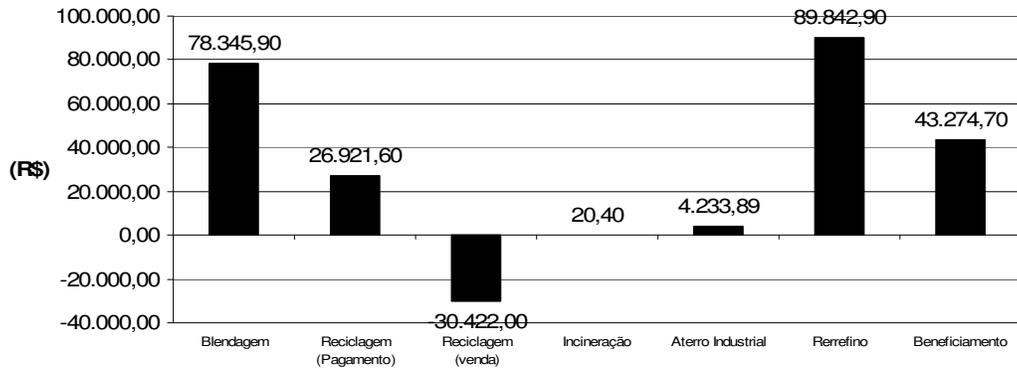


Gráfico 27 – Custos de destinação para a instância 3.3

7.5 Formulação do Modelo proposto de Programação Inteira Mista em Mosel

```
(!*****  
Esta é uma formulação proposta do modelo de Programação  
Inteira Mista  
  
Cristiano Oliveira de Souza - UFRJ - 2010  
*****!)
```

```
model "formulação_dissertacao"  
  uses "mmxprs", "mmodbc", "mmive", "mmsystem"
```

```
parameters  
  banco_de_dados = "mmodbc.odbc:debug:dados_dissertacao_20_coef_neg_instancia_bimestre_3.mdb"  
  ALG = 0  
end-parameters
```

```
declarations  
  
(!=====!)  
QUANTOLEO=164853 !QUANTIDADE DO RESIDUO OLEOSO  
QUANTMADEIRA=7787 ! QUANTIDADE DE MADEIRA  
(!=====!)
```

```
RESIDUO1 : set of string      !array com o nome dos residuos  
RESIDUO2 : set of string  
RESIDUO3 : set of string  
RESIDUO4 : set of string  
RESIDUO5 : set of string  
RESIDUO6 : set of string  
  
DESTINO1 : set of string     !array com o nome dos destinos  
DESTINO2 : set of string  
DESTINO3 : set of string  
DESTINO4 : set of string  
DESTINO5 : set of string  
DESTINO6 : set of string
```

```
TRANSPORT: set of string

TIPOCAMINHAO: set of string
CUSTOKM: real
CUSTOTRANSP: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO) of real
CAPTRANSP: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO) of real

QUANTBLENDAGEM: array(RESIDUO1) of real
DISTANCIA1: array(RESIDUO1) of real ! viagem percorrida pelo residuo 1 até o destino final
CUSTODESTINO1: array(RESIDUO1, DESTINO1) of real ! matriz de custo do destino1
DESTINOBLEND: dynamic array(DESTINO1) of real

QUANTRECICLAGEM: array(RESIDUO2) of real
CUSTODESTINO2: array(RESIDUO2, DESTINO2) of real
DISTANCIA2: array(RESIDUO2) of integer ! viagem percorrida pelo residuo até o destino final
DESTINOREC: dynamic array(DESTINO2) of real

QUANTINCINERA: array(RESIDUO3) of real
CUSTODESTINO3: array(RESIDUO3, DESTINO3) of real
DISTANCIA3: array(RESIDUO3) of real ! distância entre
DESTINOINC: dynamic array(DESTINO3) of real

QUANTATERRO: array(RESIDUO4) of real
CUSTODESTINO4: array(RESIDUO4, DESTINO4) of real
DISTANCIA4: array(RESIDUO4) of real ! distância entre
DESTINOATERRO: dynamic array(DESTINO4) of real

QUANTREREFINO: array(RESIDUO5) of real
CUSTODESTINO5: array(RESIDUO5, DESTINO5) of real
DISTANCIA5: array(RESIDUO5) of real ! distância entre
DESTINOREREFINO: dynamic array(DESTINO5) of real

QUANTBENEFICIAMENTO: array(RESIDUO6) of real
CUSTODESTINO6: array(RESIDUO6, DESTINO6) of real
DISTANCIA6: array(RESIDUO6) of real ! distância entre
DESTINOBENEFICIAMENTO: dynamic array(DESTINO6) of real
```

```

end-declarations

initializations from banco_de_dados

DESTINOBLEND as "DESTINOBLEND (DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOREC as "DESTINOREC (DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOINC as "DESTINOINC (DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOATERRO as "DESTINOATERRO (DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOREREFINO as "DESTINOREREFINO (DESTINO,CAPACIDADE) "
DESTINOBENEFICIAMENTO as "DESTINOBENEFICIAMENTO (DESTINO,CAPACIDADE) "

[CAPTRANSP,CUSTOTRANSP] as 'TRANSPORTADORA'

[QUANTBLENDAGEM, DISTANCIA1] as "BLENDAGEM"
[QUANTRECICLAGEM, DISTANCIA2] as "RECICLAGEM"
[QUANTINCINERA, DISTANCIA3] as "INCINERACAO"
[QUANTATERRO, DISTANCIA4] as "ATERRO"
[QUANTREREFINO, DISTANCIA5] as "REREFINO"

[QUANTBENEFICIAMENTO, DISTANCIA6] as "BENEFICIAMENTO"

CUSTODESTINO1
CUSTODESTINO2
CUSTODESTINO3
CUSTODESTINO4
CUSTODESTINO5
CUSTODESTINO6

CUSTOKM
end-initializations

declarations
fluxo1: array (RESIDUO1,DESTINO1) of mpvar
fluxo2: array (RESIDUO2,DESTINO2) of mpvar
fluxo3: array (RESIDUO3,DESTINO3) of mpvar
fluxo4: array (RESIDUO4,DESTINO4) of mpvar
fluxo5: array (RESIDUO5,DESTINO5) of mpvar
fluxo6: array (RESIDUO6,DESTINO6) of mpvar

```

```

qdcaminhao1: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO1, DESTINO1) of mpvar
qdcaminhao2: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO2, DESTINO2) of mpvar
qdcaminhao3: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO3, DESTINO3) of mpvar
qdcaminhao4: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO4, DESTINO4) of mpvar
qdcaminhao5: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO5, DESTINO5) of mpvar
qdcaminhao6: array(TRANSPORT, TIPOCAMINHAO, RESIDUO6, DESTINO6) of mpvar

end-declarations

!Modify Optimizer control parameter MIPRELSTOP
setparam("XPRS_MIPRELSTOP",0.0)

(!-----Função Objetivo-----
Deseja-se minimizar os custos de transporte e de destinação final,
para cada tipo de tratamento
=====!)

CUSTOTRANSPBLEND:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO1, d in DESTINO1) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA1(r)*qdcaminhao1(t,tc,r,d)
CUSTOTRANSREC:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA2(r)*qdcaminhao2(t,tc,r,d)
CUSTOTRANSINC:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA3(r)*qdcaminhao3(t,tc,r,d)
CUSTOTRANSATERRO:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA4(r)*qdcaminhao4(t,tc,r,d)
CUSTOTRANSREF:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA5(r)*qdcaminhao5(t,tc,r,d)
CUSTOTRANSBENEF:=sum(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6) CUSTOTRANSP(t,tc)*CUSTOKM*DISTANCIA6(r)*qdcaminhao6(t,tc,r,d)

CUSTODESTINOBLEND:=sum(r in RESIDUO1, d in DESTINO1) CUSTODESTINO1(r,d)*fluxo1(r,d)
CUSTODESTINOREC:=sum(r in RESIDUO2, d in DESTINO2|d="Dest_E" or d="Dest_F" or d="Dest_G" or d="Dest_D") CUSTODESTINO2(r,d)*fluxo2(r,d)
CUSTODESTINORECNEG:=sum(r in RESIDUO2, d in DESTINO2|d="Dest_H" or d="Dest_I") CUSTODESTINO2(r,d)*fluxo2(r,d)
CUSTODESTINOINC:=sum(r in RESIDUO3, d in DESTINO3) CUSTODESTINO3(r,d)*fluxo3(r,d)
CUSTODESTINOATERRO:=sum(r in RESIDUO4, d in DESTINO4) CUSTODESTINO4(r,d)*fluxo4(r,d)
CUSTODESTINOREF:=sum(r in RESIDUO5, d in DESTINO5) CUSTODESTINO5(r,d)*fluxo5(r,d)
CUSTODESTINOBENEF:=sum(r in RESIDUO6, d in DESTINO6) CUSTODESTINO6(r,d)*fluxo6(r,d)

TotCost:=CUSTOTRANSPBLEND+CUSTOTRANSREC+CUSTOTRANSINC+CUSTOTRANSATERRO+CUSTOTRANSREF+CUSTOTRANSBENEF+
CUSTODESTINOBLEND+CUSTODESTINOREC+CUSTODESTINORECNEG+CUSTODESTINOINC+CUSTODESTINOATERRO+CUSTODESTINOREF+CUSTODESTINOBENEF

```

```

(=====!)
!Limitação da capacidade dos destinos (R1) até (R6)
forall(d in DESTINO1) sum(r in RESIDUO1) fluxo1(r,d) <= DESTINOBLEND(d)
forall(d in DESTINO2) sum(r in RESIDUO2) fluxo2(r,d) <= DESTINOREC(d)
forall(d in DESTINO3) sum(r in RESIDUO3) fluxo3(r,d) <= DESTINOINC(d)
forall(d in DESTINO4) sum(r in RESIDUO4) fluxo4(r,d) <= DESTINOATERRO(d)
forall(d in DESTINO5) sum(r in RESIDUO5) fluxo5(r,d) <= DESTINOREREFINO(d)
forall(d in DESTINO6) sum(r in RESIDUO6) fluxo6(r,d) <= DESTINOBENEFICIAMENTO(d)

(=====!)

!Obriga que todo resíduo armazenado temporariamente, será transportado (R7) até (R12)
forall(r in RESIDUO1) sum(d in DESTINO1) fluxo1(r,d) >= QUANTBLENDAGEM(r)
forall(r in RESIDUO2) sum(d in DESTINO2) fluxo2(r,d) >= QUANTRECICLAGEM(r)
forall(r in RESIDUO3) sum(d in DESTINO3) fluxo3(r,d) >= QUANTINCINERA(r)
forall(r in RESIDUO4) sum(d in DESTINO4) fluxo4(r,d) >= QUANTATERRO(r)
forall(r in RESIDUO5) sum(d in DESTINO5) fluxo5(r,d) >= QUANTREFINO(r)
forall(r in RESIDUO6) sum(d in DESTINO6) fluxo6(r,d) >= QUANTBENEFICIAMENTO(r)

(=====!)

!!!!Distribuição de Madeira não contaminada para os tratamentos BLENDAGEM, RECICLAGEM E ATERRO INDUSTRIAL
(!R13!) forall(r in RESIDUO1*RESIDUO2*RESIDUO4) sum(d1 in DESTINO1) fluxo1(r,d1) + sum(d2 in DESTINO2) fluxo2(r,d2) +
sum(d4 in DESTINO4) fluxo4(r,d4) = QUANTMADEIRA

!!!!Distribuição de Resíduos Oleosos para tratamentos RERREFINO e BENEFICIAMENTO
(!R14!) forall(r in RESIDUO5*RESIDUO6) sum(d5 in DESTINO5) fluxo5(r,d5) + sum(d6 in DESTINO6) fluxo6(r,d6) = QUANTOLEO

(=====!)

(!*****BLENDAGEM*****!)
!leva RESÍDUOS LÍQUIDOS, Lama de perfuração, por caminhões do tipo TANQUE
(!R15!) forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO1 | r="Lama_de_perfuracao",d in DESTINO1)
sum(t in TRANSPORT | t="Transp_1" or t="Transp_3" or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao1(t,tc,r,d) >= fluxo1(r,d)

!leva RESÍDUOS SÓLIDOS por caminhões do tipo CAÇAMBA
(!R16!) forall(d in DESTINO1) sum(r in RESIDUO1 | r="Resíduos contaminados" or r="Tamb contaminados" or r="Madeira não contaminada" or
r="Aerosol" or r="Bomb Contaminada" or r="Cimento",tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT |t="Transp 1" or t="Transp 3"

```

```

or t="Transp_2") CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao1(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO1 | r="Residuos_contaminados" or r="Tamb_contaminados" or
r="Madeira_nao_contaminada" or r="Aerosol" or r="Bomb_Contaminada" or r="Cimento")fluxo1(r,d)

(!*****RECICLAGEM*****!)
!leva RESÍDUOS SÓLIDOS para RECICLAGEM por caminhões particulares do tipo CAÇAMBA
(!R17!) forall(d in DESTINO2|d="Dest_D" or d="Dest_E" or d="Dest_F" or d="Dest_G" or d="Dest_H")
sum(r in RESIDUO2 ,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3"
or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao2(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO2)fluxo2(r,d)

!leva RESÍDUOS SÓLIDOS para RECICLAGEM caminhão próprio-DESTINO I do tipo CAÇAMBA
(!R18!) forall(d in DESTINO2|d="Dest_I")sum(r in RESIDUO2 ,tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Dest_I")
CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao2(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO2)fluxo2(r,d)

(!*****INCINERACAO*****!)
!Nesta restrição, os RESÍDUOS SÓLIDOS para INCINERAÇÃO que serão transportados por caminhões particulares do tipo CAÇAMBA
(!R19!) forall(d in DESTINO3) sum(r in RESIDUO3,tc in TIPOCAMINHAO|tc="furgao",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3"
or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao3(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO3)fluxo3(r,d)

(!*****ATERRO INDUSTRIAL*****!)
!leva os RESÍDUOS SÓLIDOS para o ATERRO INDUSTRIAL que serão transportados por caminhões particulares do tipo CAÇAMBA
(!R20!) forall(d in DESTINO4) sum(r in RESIDUO4, tc in TIPOCAMINHAO|tc="cacamba",t in TRANSPORT| t="Transp_1" or t="Transp_3"
or t="Transp_2")CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao4(t,tc,r,d) >= sum(r in RESIDUO4)fluxo4(r,d)

(!*****RERREFINO*****!)
!leva o RESÍDUO OLEOSO para RERREFINO, transportados por caminhões próprios do DESTINO L do tipo TANQUE
(!R21!) forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO5, d in DESTINO5|d="Dest_L") sum(t in TRANSPORT| t="Dest_L")
CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao5(t,tc,r,d) >= fluxo5(r,d)

!leva o RESÍDUO OLEOSO para RERREFINO, transportados por caminhões próprios do DESTINO M do tipo TANQUE
(!R22!) forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO5, d in DESTINO5|d="Dest_M") sum(t in TRANSPORT| t="Dest_M")
CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao5(t,tc,r,d) >= fluxo5(r,d)

(!*****BENEFICIAMENTO*****!)
!leva o RESÍDUO OLEOSO para o BENEFICIAMENTO que serão transportados por caminhões particulares do tipo TANQUE
(!R23!) forall(tc in TIPOCAMINHAO| tc="tanque", r in RESIDUO6, d in DESTINO6) sum(t in TRANSPORT| t="Transp_1"
or t="Transp_3" or t="Transp_2") CAPTRANSP(t,tc)*qdcaminhao6(t,tc,r,d) >= fluxo6(r,d)

(!=====!)

```

```

(=====)
!/Integralidade (R24) até (R29)
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO1, d in DESTINO1) qdcaminhao1(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2) qdcaminhao2(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3) qdcaminhao3(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4) qdcaminhao4(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5) qdcaminhao5(t,tc,r,d) is_integer
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6) qdcaminhao6(t,tc,r,d) is_integer
(=====)

! Uncomment the following line to see the Optimizer log
setparam("XPRS_VERBOSE",true)

(=====)
!Algoritmos para realizar testes de velocidade na resolução do problema

case ALG of
1: do
    setparam("XPRS_CUTSTRATEGY", 0) ! Desabilita cortes automático
    setparam("XPRS_HEURSTRATEGY", 0) ! Desabilita heurísticas para MIP
    setparam("XPRS_PRESOLVE", 1) ! PRESOLVE habilitado
end-do

2: do
    setparam("XPRS_CUTSTRATEGY", 1) ! Sem cortes
    setparam("XPRS_HEURSTRATEGY", 1) ! Desabilita heurísticas para MIP
    setparam("XPRS_PRESOLVE", -1) ! Alternador do PRESOLVE em "off"
    setparam("XPRS_EXTRAROWS", 10) ! Reserva extra de linhas na matriz
    feastol:= getparam("XPRS_FEASTOL") ! Trabalhar com tolerância Zero
    setparam("zerotol", feastol*10) ! Definir Tolerância de comparação do Mosel
end-do

3: do
    setparam("XPRS_EXTRAROWS", 100) ! Limita o nº de cortes
end-do
end-case

(=====)

```

```

! Minimização dos custos
minimize(TotCost)

! Impressão da solução
writeln(" # Custo Total: ",getobjval)

writeln("\n-----Destinação-BLENDAGEM-----")
forall(r in RESIDUO1, d in DESTINO1)
  if(getsol(fluxo1(r,d))>0) then
    writeln(RESIDUO1(r), "->",":", DESTINO1(d),": ", getsol(fluxo1(r,d))," :: ")
  /writeln("-----")
  end-if
writeln("\n---Transporte-BLENDAGEM-(Cacamba e Tanque)---")

forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO1, d in DESTINO1)
  if(getsol(qdcaminhao1(t,tc,r,d))>0) then
    writeln(TRANSPORT(t), "->",TIPOCAMINHAO(tc),":",": Destino->",DESTINO1(d),":",":",getsol(qdcaminhao1(t,tc,r,d)),":::")
  /writeln("-----")
  end-if

writeln("\n-----Destinação-Reciclagem-----")
forall(r in RESIDUO2, d in DESTINO2)
  if(getsol(fluxo2(r,d))>0) then
    writeln(RESIDUO2(r), "->",":", DESTINO2(d),": ", getsol(fluxo2(r,d))," :: ")
  /writeln("-----")
  end-if

  writeln("\n-----Transporte-Reciclagem-(Cacamba)-----")
forall(t in TRANSPORT,tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO2, d in DESTINO2)
  if(getsol(qdcaminhao2(t,tc,r,d))>0) then
    writeln(TRANSPORT(t), "->",TIPOCAMINHAO(tc),":",": Destino->",DESTINO2(d),":",":",getsol(qdcaminhao2(t,tc,r,d)),":::")
  /writeln("-----")
  end-if

writeln("\n-----Destinação-Incineracao-----")
forall(r in RESIDUO3, d in DESTINO3)
  if(getsol(fluxo3(r,d))>0) then
    writeln(RESIDUO3(r), "->", DESTINO3(d),": ", getsol(fluxo3(r,d))," :: ")

```

```

/writeln("-----")
end-if

writeln("\n-----Transporte-Incineracao-(Cacamba)-----")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO3, d in DESTINO3)
if(getsol(qdcaminhao3(t,tc,r,d))>0) then
writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino->", DESTINO3(d), ":", getsol(qdcaminhao3(t,tc,r,d)), " :")
/writeln("-----")
end-if

writeln("\n-----Destinação-Aterro-----")
forall(r in RESIDUO4, d in DESTINO4)
if(getsol(fluxo4(r,d))>0) then
writeln(RESIDUO4(r), "->", DESTINO4(d), ": ", getsol(fluxo4(r,d)), " : ")
/writeln("-----")
end-if

writeln("\n-----Transporte-Aterro-(Cacamba)-----")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO4, d in DESTINO4)
if(getsol(qdcaminhao4(t,tc,r,d))>0) then
writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino->", DESTINO4(d), ":", getsol(qdcaminhao4(t,tc,r,d)), " :")
/writeln("-----")
end-if

writeln("\n-----Destinação-Rerrefino-----")
forall(r in RESIDUO5, d in DESTINO5)
if(getsol(fluxo5(r,d))>0) then
writeln(RESIDUO5(r), "->", DESTINO5(d), ": ", getsol(fluxo5(r,d)), " : ")
/writeln("-----")
end-if

writeln("\n-----Transporte-Rerrefino-(Tanque)-----")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO5, d in DESTINO5)
if(getsol(qdcaminhao5(t,tc,r,d))>0) then
writeln(TRANSPORT(t), "->", TIPOCAMINHAO(tc), ": Destino-> ", DESTINO5(d), ":", getsol(qdcaminhao5(t,tc,r,d)), " :")
/writeln("-----")
end-if

```

```

writeln("\n-----Transporte-Beneficiamento-(Tanque)-----")
forall(t in TRANSPORT, tc in TIPOCAMINHAO, r in RESIDUO6, d in DESTINO6)
if(getsol(qdcaminhao6(t,tc,r,d))>0) then
  writeln(TRANSPORT(t), "->",TIPOCAMINHAO(tc)," Destino-> ",DESTINO6(d),"::",getsol(qdcaminhao6(t,tc,r,d)),"::")
  /writeln("-----")
end-if

writeln("")
writeln("# CUSTOTRANSPBLEND: ",getsol(CUSTOTRANSPBLEND))
writeln("# CUSTOTRANSREC: ",getsol(CUSTOTRANSREC))
writeln("# CUSTOTRANSINC: ",getsol(CUSTOTRANSINC))
writeln("# CUSTOTRANSATERRO: ",getsol(CUSTOTRANSATERRO))
writeln("# CUSTOTRANSREF: ",getsol(CUSTOTRANSREF))
writeln("# CUSTOTRANSBENEF: ",getsol(CUSTOTRANSBENEF))
writeln("+ # # # # # # # # # # # # # # # #")
writeln("# CUSTODESTINOBLEND: ",getsol(CUSTODESTINOBLEND))
writeln("# CUSTODESTINOREC: ",getsol(CUSTODESTINOREC))
writeln("# CUSTODESTINORECNEG: ",getsol(CUSTODESTINORECNEG))
writeln("# CUSTODESTINOINC: ",getsol(CUSTODESTINOINC))
writeln("# CUSTODESTINOATERRO: ",getsol(CUSTODESTINOATERRO))
writeln("# CUSTODESTINOREF: ",getsol(CUSTODESTINOREF))
writeln("# CUSTODESTINOBENEF: ",getsol(CUSTODESTINOBENEF))

writeln("\n# Banco de dados: ",banco_de_dados)
end-model

```