

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA ESTRUTURAR UMA REDE  
LOGÍSTICA REVERSA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE COLETA,  
PROCESSAMENTO E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO  
CIVIL – O CASO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA**

**Assis Francisco Anastácio**

**Porto Alegre, 2003**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
MESTRADO PROFISSIONALIZANTE EM ENGENHARIA**

**PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA ESTRUTURAR UMA REDE  
LOGÍSTICA REVERSA DE DISTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA DE COLETA,  
PROCESSAMENTO E RECUPERAÇÃO DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO  
CIVIL – O CASO DO MUNICÍPIO DE CURITIBA**

**Assis Francisco Anastácio**

**Orientador: Professor Dr. Luiz Afonso dos Santos Senna**

**Banca Examinadora:**

**Profa. Denise Dal Molin, Dr.**

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, PhD.**

**Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.**

**Prof. Álvaro Gehlen de Leão, M.Eng.**

**Trabalho de conclusão do Curso de Mestrado Profissionalizante em Engenharia como  
requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia – modalidade  
Profissionalizante – Ênfase Logística.**

**Porto Alegre, 2003**

**Este Trabalho de Conclusão foi analisado e julgado adequado para a obtenção do título de Mestre em ENGENHARIA e aprovado em sua forma final pelo orientador e pelo coordenador do Mestrado Profissionalizante em Engenharia, Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.**

---

**Prof. Luiz Afonso dos Santos Senna, Dr.**

Orientador  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

---

**Prof<sup>a</sup>. Helena Beatriz Bettela Cybis**

Coordenadora  
Mestrado Profissionalizante em Engenharia  
Escola de Engenharia  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

BANCA EXAMINADORA

**Professora Denise Dal Molin, Dr.**  
PPGEC/UFRGS.

**Prof. Flávio Sanson Fogliatto, PhD.**  
PPGEP/UFRGS.

**Prof. Francisco José Kliemann Neto, Dr.**  
PPGEP/UFRGS.

**Prof. Álvaro Gehlen de Leão, M.Eng.**  
PPGEP/UFRGS.

Pela paciência e incentivo, dedico este trabalho  
as minhas filhas Julia e Mariana e a minha  
companheira Sônia.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho e em especial ao Professor Álvaro Gehlen de Leão e ao Engenheiro Oscar Ricardo M. Schmeisk.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	viii
LISTA DE QUADROS.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	x
LISTA DE REDUÇÕES.....	xi
Resumo.....	xiii
Abstract.....	xiv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Justificativa e Delimitação do Trabalho.....	2
1.2 Objetivos do Trabalho.....	3
1.3 Metodologia.....	3
1.4 Estrutura do Trabalho.....	5
2 LOGÍSTICA.....	7
2.1 Evolução, Atribuições e Decisões em Logística.....	7
2.2 O Ambiente e as Forças que Condicionam a Logística.....	10
2.3 Definição, Campo de Atuação e Principais Decisões em Logística Reversa.....	13
2.4 Fontes de Geração e Categorias dos Fluxos Reversos.....	16
2.5 As Redes de Distribuição Reversa.....	19
2.5.1 Redes Geridas pelo Setor Público.....	21
2.5.2 Redes Geridas pelo Setor Privado.....	21
2.5.3 Redes com Gerência Mista.....	23
2.6 Modelagem Matemática de Redes Logísticas.....	24
2.6.1 Programação Linear.....	25
2.6.2 Modelo de Transporte.....	26
2.6.3 Modelos de Localização.....	27
2.6.4 Modelo de Rede.....	28
2.6.5 Modelos de Previsão.....	29

2.7 Dificuldades Operacionais para Modelagem de Redes Logísticas Reversas de Distribuição.....	34
3 LOGÍSTICA REVERSA E SUSTENTABILIDADE.....	35
3.1 Legislação em Nível Internacional.....	35
3.2 Legislação Ambiental em Nível Federal, Estadual e Municipal.....	37
3.3 A Política Nacional de Resíduos Sólidos.....	40
3.4 Compatibilidade entre Sustentabilidade e Competitividade.....	43
3.5 Logística Reversa como Ferramenta para a Sustentabilidade.....	46
3.6 As Empresas e a Nova Visão Competitiva.....	48
4 O PROBLEMA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	53
4.1 Aproveitamento e Geração de Resíduos.....	53
4.2 Perfil dos Resíduos de Construção e Demolição – RCD.....	57
4.3 Quantidades Potenciais de Geração de Resíduos de Construção e Demolição.....	58
4.4 Adequação da Utilização do Reciclado de RCD.....	62
5 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA ESTRUTURAR UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	66
5.1 Caracterização dos Componentes da Rede.....	66
5.2 Definição das Quantidades de RCD Geradas.....	68
5.3 Aplicação do Modelo de Múltiplos Centros de Gravidade – MMCG.....	69
5.4 Critérios para Definição das Distâncias.....	70
5.5 Construção do Modelo de Rede Reversa de Resíduos – MRRR.....	71
5.6 Definição dos Custos.....	75
5.7 Dados para Aplicação do Modelo de Rede Reversa de Resíduos.....	76
6 APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA.....	78
6.1 O Processo de Coleta de RCD de Curitiba.....	78
6.2 Definição dos Nós da Rede.....	81
6.3 Definição das Quantidades de RCD Geradas.....	81
6.4 Aplicação do Modelo de Múltiplos Centros de Gravidade - MMCG.....	86

6.5 Definição das Distâncias entre as Instalações.....	90
6.6 Definição dos Custos.....	91
6.7 Aplicação do Modelo de Rede Reversa de Resíduos.....	92
6.8 Variação da Taxa de Envio para o Aterro Sanitário.....	94
6.9 Variação na Alíquota de Imposto.....	95
6.10 Variação na Taxa de Envio e Redução na Alíquota de Imposto em Conjunto.....	96
7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	98
7.1 Conclusões.....	98
7.2 Sugestões para Desenvolvidmentos Futuros.....	100
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102



**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 1:	Atribuições da Logística.....	9
FIGURA 2:	Questões a serem Respondidas no Projeto de Cadeia Logística.....	10
FIGURA 3:	A Influência do Ambiente Sobre Produção e Serviços Logísticos.....	12
FIGURA 4:	Fluxos Reversos na Cadeia de Suprimentos.....	18
FIGURA 5:	Cadeia Tradicional e Cadeia de Retornos.....	20
FIGURA 6:	Transporte em Rede.....	29
FIGURA 7:	Padrão Típico de Demanda Regular com Aleatoriedade, Tendência e Sazonalidade.....	30
FIGURA 8:	Taxa Interna de Retorno do Investimento em SGA – TIR.....	50
FIGURA 9:	Economia de Energia em MWh.....	52
FIGURA 10:	Elementos da Rede de Distribuição Reversa.....	66
FIGURA 11:	Distâncias do Centróide à Localização Ótima da Instalação.....	71
FIGURA 12:	Estrutura da Rede Reversa de Resíduos Genérica.....	72
FIGURA 13:	Fluxos dos RCD para Empresas que Possuem Estação de Transbordo.....	80
FIGURA 14:	Mapa com a Localização das Instalações.....	89

**LISTA DE QUADROS**

QUADRO 1:	Atividades Logística e Nível de Decisão.....	9
QUADRO 2:	Campo de Atuação da Logística Reversa.....	15
QUADRO 3:	Razões para Retorno de Produtos.....	17
QUADRO 4:	Principais Elementos Encontrados em Cada Rede.....	24
QUADRO 5:	Atividades Sujeitas a Licenciamento.....	38
QUADRO 6:	Impactos da Lei 12.493/99.....	38
QUADRO 7:	Impactos da Legislação Municipal de Curitiba sobre as Atividades Logísticas.....	39
QUADRO 8:	Impactos Logísticos Por Tipo de Resíduo .....	42
QUADRO 9:	Atividades Comuns de Logística Reversa.....	47
QUADRO 10:	Conseqüências das Atividades de LR para a Sustentabilidade.....	47
QUADRO 11:	Aplicação de Escórias de Cinzas Volantes na Europa.....	55
QUADRO 12:	Aplicação dos Agregados Reciclados.....	64
QUADRO 13:	Viabilidade de Produção das Classes de Reciclados no Brasil.....	65
QUADRO 14:	Coordenadas das Zonas de Consumo.....	90
QUADRO 15:	Variação do Custo Total e da Base Ótima em Função da Redução da Taxa de Envio para o Aterro Sanitário.....	95
QUADRO 16:	Impactos da Variação de Impostos Sobre a Solução Inicial.....	96

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1:	Fluxo de Caixa do Investimento.....	51
TABELA 2:	Geração de Resíduos por Habitantes.....	59
TABELA 3:	Geração de Resíduos em Alguns Municípios de São Paulo.....	59
TABELA 4:	Estimativa de Entulho por Unidade de Serviço.....	60
TABELA 5:	Estimativa de Entulho por Metro Quadrado de Piso Construído.....	61
TABELA 6:	Impacto de RCD por Metro Quadrado de Piso Construído.....	61
TABELA 7:	Massa Específica dos RCD.....	69
TABELA 8:	Correção do Impacto dos Grandes Empreendimentos na Série Histórica.....	82
TABELA 9:	Critério de Escolha do Modelo para as Previsões.....	83
TABELA 10:	Exemplo de Seqüência de Cálculos para o Ano de 2002.....	84
TABELA 11:	Projeção dos Volumes por Tipo de Resíduo.....	85
TABELA 12:	Localização das Instalações de Transbordo sem Considerar Restrições..	86
TABELA 13:	Localização das Instalações de Transbordo Considerando Restrições.....	87
TABELA 14:	Localização das Instalações de Reciclagem sem Considerar Restrições...	88
TABELA 15:	Localização das Instalações de Reciclagem Considerando Restrições.....	88
TABELA 16:	Distâncias entre os Nós da Rede.....	90
TABELA 17:	Custos Fixos das Instalações.....	91
TABELA 18:	Custos Variáveis.....	91
TABELA 19:	Parâmetros Utilizados no MRRR para a Rede de RCD.....	93
TABELA 20:	Fluxos entre os Diversos Nós da Rede de RCD.....	94
TABELA 21	Relação entre Redução na Alíquota de Imposto e Redução na Taxa de Envio para o Aterro.....	97

## LISTA DE REDUÇÕES

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas  
ACERTAR – Associação dos Transportadores de Resíduos de Curitiba e Região  
AMBEV – Companhia de Bebidas da América  
CDC – Código de Defesa do Consumidor  
CEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente  
CLM – Council of Logistics Management  
CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente  
CNI – Confederação Nacional da Indústria  
EDI – Eletronic Data Interchange  
EUA – Estados Unidos da América do Norte  
IAP – Instituto Ambiental do Paraná  
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais  
IBDF – Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal  
IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba  
ITB – Instalações de Transbordo  
ITR – Instalações de Reciclagem  
LINDO – Linear Interactive and Discrete Optimizer  
LR – Logística Reversa  
MMA – Ministério do Meio Ambiente  
MMCG – Modelo de Múltiplos Centros de Gravidade  
MRC – Marketing Relacionado à Causas  
MRRR – Modelo de Rede Reversa de Recuperação  
MTR – Manifesto de Transporte de Resíduos  
OMC – Organização Mundial do Comércio  
ONU – Organização das Nações Unidas  
PET – Polietileno Tereftalado  
PEV – Posto de Entrega Voluntária

PROCEL – Programa de Conservação de Energia

PVC – Cloreto de Polivinila

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

REVLOG – International European Group in Reverse Logistics

SEMA – Secretaria Especial de Meio Ambiente

SEMAN – Secretaria de Meio Ambiente da Presidência da República

SESP – Serviço Especial de Saúde Pública

SGA – Sistema de Gestão Ambiental

SISNAMA – Sistema Nacional de Meio Ambiente

SMMA – Secretaria Municipal de Meio Ambiente

SUDEPE – Superintendência de Desenvolvimento da Pesca

SUDHEVA – Superintendência da Borracha

URPV – Unidade de Recuperação de Pequenos Volumes

ZCT – Zona Central de Tráfego

## Resumo

ANASTÁCIO, Assis Francisco. **Proposta de uma sistemática para estruturar uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil** – o caso do município de Curitiba. Porto Alegre, 2003. 109 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, 2003.

O objetivo principal deste trabalho é elaborar uma sistemática para estruturar uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil. O trabalho foi estruturado em três partes, sendo que na primeira parte elaborou-se uma introdução geral à logística e à logística reversa em particular, definindo uma estrutura de suporte ao estudo de caso e às conclusões do trabalho; na segunda parte procurou-se vincular a logística reversa à sustentabilidade; e na terceira parte elaborou-se uma sistemática para a rede de distribuição, definindo os dados a serem utilizados na aplicação dos modelos, fazendo análises e tirando conclusões a respeito dos resultados obtidos e indicando possíveis desenvolvimentos futuros para o trabalho. Para a formatação da rede desenvolveu-se o modelo de rede reversa de recuperação de resíduos – MRRR, baseado em programação linear inteira mista. Para aplicação do MRRR ao caso dos resíduos de construção e demolição – RCD no município de Curitiba, definiu-se instalações de transbordo e de reciclagem candidatas, através da aplicação de um modelo de localização de múltiplos centros de gravidade – MMCG. Como nós fixos da rede foram considerados as zonas de consumo e de geração, os mercados secundários de recicláveis e recicladores e o aterro sanitário. Os dados para formatação da rede foram gerados pelo MRRR. Como produtos deste trabalho tem-se a sistemática, que pode ser aplicada para a estruturação de redes similares, e a formatação da rede reversa para os resíduos de construção e demolição em Curitiba. Como conclusão, entre outras, verificou-se que a redução da alíquota de imposto pode ser utilizada como incentivo à melhoria da qualidade do resíduo gerado.

Palavras-Chave: Logística Reversa, Resíduos de Construção e Demolição, Modelo de Rede Reversa de Resíduos.

## Abstract

ANASTÁCIO, Assis Francisco. **Proposta de uma sistemática para estruturar uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil – o caso do município de Curitiba.** Porto Alegre, 2003. 109 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFRGS, 2003.

The main goal of this work is planning a method to build up a reverse logistics network of distribution for a collection, processing and recovering system for waste from civil construction. The work was divided into three parts, in the first part was made an introduction to logistics and to reverse logistics in particular form as framework to support the case study and conclusions of the work; in the second part was linked the reverse logistics with the sustainability; and in the third part was made a method to the distribution network, defining the data to be used in the application of models; making analyses and taking conclusions on the results obtained and pointing possible future investigations for this work. To plan the network was made a reverse model network waste recover – MRRR, supported in integer linear programming. To apply MRRR in the case of waste of construction and demolition – WCD - in Curitiba, were defined possible overflow facilities and recycling facilities running model of multiples gravity centers – MMGC. The production and consumption zone, the secondary market of recyclable and recyclers and the landfill are the fixed nodes in the network. The data for constructing the network were produced from MRRR. As products form this work there are the method that can be used in planning of similar network, and a framework for the reverse network to waste of construction and demolition in Curitiba. As one of conclusions, was verified that the reduction in tax can be used to increase the quality of waste collected.

Key-Words: Reverse Logistics, Waste of Construction and Demolition, Reverse Network of Waste Model.

## 1. INTRODUÇÃO

As atividades de transporte, estoque e comunicação iniciaram-se antes mesmo da existência de um comércio ativo entre regiões vizinhas. Hoje, as empresas devem realizar essas mesmas atividades como uma parte essencial de seus negócios, com o fim de prover seus clientes com bens e serviços que eles desejam. Os investimentos em logística, na maioria dos casos, estão focados no fluxo direto das empresas para o mercado, visando diminuir o hiato entre a produção e a demanda, a fim de que os consumidores satisfaçam as suas necessidades de forma personalizada, atendendo aspectos de local de entrega, tamanho de lote e forma de embalagem (BALLOU, 1993).

Vários fatores têm contribuído para o estabelecimento de uma política que vise não somente o fluxo direto de materiais, mas também o fluxo reverso destes materiais. O movimento de valorização do consumidor, aliado às regulamentações governamentais, aumentou o nível de exigência e as possibilidades de ação do público com relação a bens e serviços de má qualidade. Outro fator que age como impulsionador dos fluxos reversos é a elevação da sensibilidade ecológica, sendo que esta preocupação vem aumentando junto com o crescimento da população, da industrialização e da velocidade de inovação em termos de novos produtos com utilização de mais matéria-prima e maior produção de resíduos.

A geração crescente de resíduos de construção e demolição nos grandes centros tem causado vários problemas relacionados às questões ambientais. Este trabalho se propõe a estabelecer uma sistemática para estruturar uma rede logística reversa de resíduos da construção civil, e o resultado final apresenta uma seqüência a ser seguida para a estruturação da rede, possibilitando a análise de impactos sobre a solução ótima de uma alteração na alíquota de imposto, da melhoria da qualidade dos resíduos gerados nos canteiros de obra e do impacto simultâneo destas duas alterações. A sistemática proposta visa localizar instalações de transbordo e de reciclagem dentro de uma rede com nós fixos, estabelecendo os fluxos entre estes nós e a configuração de custo total mínimo. A aplicação ao caso dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba procura validar e ilustrar a sistemática proposta, estabelecendo uma estrutura de rede adequada às condições do município.



## 1.1 JUSTIFICATIVA E DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Em um mundo onde os recursos naturais e as instalações de disposição final de resíduos são finitos, a recuperação de produtos e materiais usados é a chave para suportar o crescimento da população e os incrementos nos níveis de consumo (FLEISCHMANN, 2001). Por um longo tempo, as preocupações com a recuperação de produtos estiveram focadas nas perdas internas e sobras dos processos de produção, que eram tratadas como problemas de engenharia e, em menor escala, nas preocupações com o *marketing* relacionado com questões de pós-venda (produtos com defeito e assistência técnica). Somente num passado recente a necessidade de investigar os aspectos logísticos envolvendo o reuso e a reciclagem vem sendo reconhecida.

O conhecimento da logística continua a crescer e, ao lado deste crescimento, um grande interesse em logística reversa tem sido despertado. Muitas organizações, que não demonstravam muito interesse e não gastavam muita energia no gerenciamento e entendimento da logística reversa, começam a prestar atenção ao assunto. As empresas especializadas em gerenciamento de fluxos de retorno experimentam um grande crescimento na demanda por seus serviços e as companhias líderes estão reconhecendo o valor estratégico de terem um sistema de gerenciamento de logística reversa (ROGERS, 1998).

Com o crescimento da população, o problema dos resíduos vem se tornando oneroso e complexo em função dos grandes volumes gerados nos centros urbanos. Os resíduos de construção e demolição provocam importantes impactos ambientais, principalmente através da proliferação de animais indesejados e dos problemas causados aos corpos d'água. Assoreamento, enchentes e poluição, devido à disposição irregular destes materiais, são alguns destes problemas; além disso, a disposição dos resíduos de construção e demolição em aterros regulares, demanda grandes áreas de terra que estão cada vez mais escassas e distantes dos centros urbanos, encarecendo os custos de disposição. A construção de uma rede reversa que permita o reaproveitamento desses resíduos contribuirá para a solução do problema, reduzindo as disposições clandestinas de resíduos de construção e demolição e a demanda por aterro sanitário para estes materiais.

Dentro do campo de atuação da logística reversa, encontram-se as seguintes atividades principais: estudo de localização de plantas, planejamento da produção e controle de estoques, sistemas e tecnologias de informação, estudo dos canais reversos de distribuição, estudo das oportunidades oriundas da legislação de gerenciamento de resíduos, reuso direto de produtos, remanufatura, reparo, reciclagem e estudo da destinação dos materiais recolhidos (THE INTERNATIONAL WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS – REVLOG, 2000). Este trabalho tratará da logística reversa, abordando as suas diversas atividades, mas está enfocado principalmente nas atividades de localização de instalações e na reciclagem de materiais.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como objetivo principal elaborar uma sistemática para estruturação de uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil e, como objetivos secundários os seguintes:

- Realizar uma revisão do estado da arte em logística reversa, com ênfase particular na modelagem matemática dos problemas avaliados;
- Aplicar e validar a sistemática proposta no município de Curitiba;
- Analisar os impactos diferenciados, proporcionados por alterações da política de impostos e da taxa de envio dos resíduos para aterro sanitário, sobre os custos totais de uma rede logística reversa de distribuição de resíduos da construção civil.

## 1.3 METODOLOGIA

Através de uma revisão bibliográfica construiu-se uma estrutura teórica de sustentação ao trabalho, buscando dentro da logística e, mais especificamente, dentro da logística reversa, a fundamentação necessária. A pesquisa foi realizada em materiais já publicados como livros, artigos, teses, dissertações e materiais disponíveis na *internet*.

O projeto da rede deverá definir que instalações de transbordo e que instalações de reciclagem deverão estar capacitadas; além disso, deverá apresentar solução para as seguintes questões: que zona de geração deverá enviar para que instalação de transbordo e em que quantidade, que instalação de transbordo deverá enviar para que instalação de reciclagem e em que quantidade, que instalação de transbordo deverá atender que mercado de recicláveis e recicladores e em que quantidade, quais quantidades deverão ser enviadas das instalações de transbordo para o aterro sanitário e, que instalação de reciclagem deverá atender que zona de consumo e em que quantidade.

O método de pesquisa utilizado é o método da pesquisa operacional, atendendo às seguintes qualidades: i) foco primário na tomada de decisão, ii) avaliação baseada no critério de eficiência econômica, iii) confiança num modelo matemático e, iv) submissão ao processamento de um computador eletrônico (WAGNER, 1986). Com relação ao primeiro critério, a decisão a ser tomada refere-se à localização de instalações de transbordo e de reciclagem dentro de uma rede de distribuição. Com relação ao segundo critério, a tomada de decisão deverá ser feita com base na rede de menor custo total. Com relação ao terceiro critério, será construído um modelo baseado em programação linear inteira mista. Com relação ao quarto critério, utilizar-se-á um *software* de otimização matemática para a solução do modelo elaborado.

Para a definição da configuração da rede elaborou-se o Modelo de Rede Reversa de Resíduos (MRRR) baseado em programação linear inteira mista, onde foram considerados os custos fixos e variáveis e as restrições. Este modelo incorpora na sua função objetivo um parâmetro  $\theta$ ), que se refere à alíquota de imposto incidente sobre as vendas. Nas suas restrições incorpora os parâmetros  $(\gamma_a)$ , que refere-se à taxa de envio de material para aterro sanitário,  $(\gamma_m)$  taxa de envio para o mercado de recicláveis e  $(\gamma_i)$  taxa de envio para as instalações de reciclagem de resíduos. A rede foi estruturada em cinco níveis assim definidos: as zonas de geração e consumo, as instalações de transbordo - ITB, os mercados de recicláveis e de recicladores, as instalações de reciclagem – ITR e as unidades de disposição final.

Para analisar os impactos diferenciados sobre os custos totais da rede, proporcionados pela variação da alíquota de imposto e da redução da taxa de envio para o aterro sanitário, será considerada a hipótese de que uma ação de redução de imposto, ou uma ação educativa

que melhore a qualidade dos resíduos da construção civil, ou a combinação das duas ações tem um impacto significativo na base ótima encontrada.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A dissertação foi organizada em sete capítulos. No primeiro capítulo foi elaborada uma introdução ao trabalho apresentando a justificativa e a delimitação do assunto, os objetivos principais e secundários a serem alcançados, a metodologia utilizada e a estrutura do trabalho. No segundo capítulo tratou-se da logística de uma forma geral fazendo uma breve descrição sobre a sua evolução, atribuições e decisões e apresentou-se o ambiente e as forças que condicionam o ambiente logístico atual. Ainda neste capítulo, apresentou-se a definição de logística reversa, o seu campo de atuação e suas principais decisões, foram descritas diversas redes reversas e tratou-se da modelagem matemática das redes e das dificuldades para sua aplicação em redes logísticas reversas de distribuição.

No terceiro capítulo tratou-se de relacionar a logística reversa com a sustentabilidade, fazendo uma breve revisão sobre a legislação, abordando aspectos da Política Nacional de Resíduos Sólidos, procurando a compatibilidade entre sustentabilidade e competitividade e apresentando a logística reversa como uma ferramenta de apoio às políticas ambientais. No quarto capítulo tratou-se do problema dos resíduos de construção civil, da geração e do aproveitamento destes resíduos, da composição dos resíduos de construção e demolição, das quantidades potenciais de geração de resíduos e da adequação da utilização do reciclado obtido a partir dos resíduos de construção e demolição.

No quinto capítulo estabeleceu-se uma sistemática para a estruturação de uma rede logística reversa para os resíduos da construção civil, definindo os principais passos desta sistemática e construindo um modelo de rede reversa de resíduos baseado em programação linear inteira mista. No sexto capítulo a sistemática elaborada foi aplicada ao caso dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba, localizando as instalações de transbordo e reciclagem da rede e apurando o seu custo total. Neste capítulo, também foi analisado o impacto sobre a solução ótima encontrada para a rede de uma melhoria na qualidade do resíduo gerado, de uma política de redução de impostos para os reciclados e da

combinação destes dois fatores. Finalmente, no capítulo sete, foram elaboradas as conclusões do trabalho e apresentadas sugestões para futuros desenvolvimentos.

## 2. LOGÍSTICA

Neste capítulo tratar-se-á da evolução dos conceitos de logística passando pelas suas atribuições e principais decisões. Será descrito o ambiente atual para a logística e as forças que condicionam e direcionam este ambiente. No campo da logística reversa serão apresentadas a sua definição, a sua área de atuação, as fontes que geram os fluxos de retorno e a descrição de diversos casos de redes reversas estabelecendo os elementos comuns entre estas redes. Encerrando o capítulo, serão abordadas algumas técnicas de pesquisa operacional aplicadas à logística e as dificuldades associadas à modelagem de redes logísticas reversas.

### 2.1 EVOLUÇÃO, ATRIBUIÇÕES E DECISÕES EM LOGÍSTICA

O conceito de logística vem, ao longo do tempo, sofrendo transformações e procurando incorporar aspectos de inovações tecnológicas e mudanças do foco das empresas, que atualmente, procura atender ao planejamento de longo prazo da organização em sua busca frenética por vantagens competitivas.

Ao longo do tempo, a logística seguiu muito vinculada à arte da guerra tratando do planejamento da infra-estrutura e de recursos (materiais e humanos), desde suas fontes, passando pelo seu processamento até sua distribuição. Somente num passado recente, mais precisamente após a segunda Grande Guerra, é que as organizações empresariais reconheceram a importância vital que o gerenciamento logístico poderia ter para a obtenção de vantagens competitivas (CHRISTOPHER, 1997). A logística, anteriormente identificada como a última fronteira para a redução de custos, posiciona-se agora como um importante diferencial competitivo, percebido cada vez mais como um elemento central para a melhoria na prestação de serviço aos clientes e consumidores finais (BALLOU, 2001).

Atualmente, o foco do negócio é o cliente, e o problema da logística é diminuir o hiato

entre a produção e a demanda, de forma que os consumidores tenham bens e serviços de forma adequada aos seus desejos, atendendo aspectos de local, tamanho de lote e embalagem (BALLOU, 1993). Além de estar focada no cliente, a logística moderna deve incorporar outros aspectos, tais como: embalagens vazias retornadas (dos pontos de entrega para os pontos de carregamento), produtos e componentes vendidos e devolvidos (dos pontos de entrega para os pontos iniciais de armazenagem e/ou manufatura) e produtos usados/consumidos a serem recauchutados, canibalizados, reciclados, reutilizados ou dispostos em depósitos ou aterros sanitários (DORNIER et al., 2000).

Para Kobayashi (2000), as atividades logísticas variam de acordo com os setores comerciais; todavia, em cada caso, servem para administrar de modo completo e coerente todos o fluxos de materiais, da entrada deles na empresa até sua saída. No caso de empresas manufatureiras, devem ser administradas todas as atividades que vão do abastecimento dos materiais até a entrega dos produtos acabados e, às vezes, até o pós-serviço e a recuperação dos produtos acabados e sucatas para reciclagem. As atividades logísticas propostas por Kobayashi (2000) são apresentadas na figura 1.

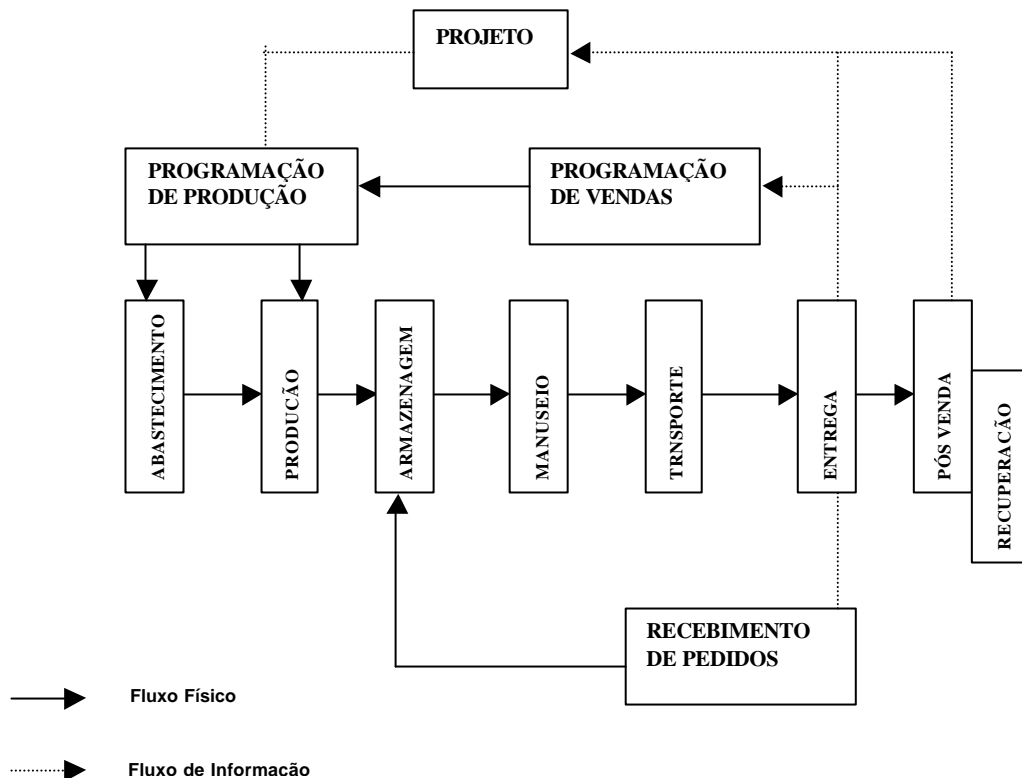


FIGURA 1 - Atribuições da logística

Fonte: Kobayashi (2000).

Na mesma linha, Ratliff (1996) aponta que a complexidade das questões logísticas sugere que não existe simplesmente uma melhor abordagem, uma melhor representação, um melhor modelo ou um melhor algoritmo para otimizar as decisões logísticas. Cada cadeia de suprimentos logísticas tem suas próprias características incorporando os negócios de transporte, distribuição, armazenagem, manuseio de materiais, gerenciamento de estoques e as interfaces entre manufatura e mercado.

As atividades a serem gerenciadas e que compõem a logística empresarial, variam de empresa para empresa, dependendo da estrutura organizacional, das diferenças de opinião sobre o que constitui a logística e da importância das atividades logísticas para suas operações. As atividades típicas de um sistema logístico, propostas pelo Council of Logistics Management (CLM), são: serviços ao cliente, previsão de vendas, comunicação de distribuição, controle de estoque, manuseio de materiais, processamento de pedidos, peças de reposição e serviços de suporte, seleção do local de planta e armazém, compras, embalagem, manuseio de mercadorias devolvidas, recuperação e descarte de sucatas, tráfego e transporte e armazenagem e estocagem (BALLOU, 2001).

Os níveis de decisão do planejamento logístico podem ser classificados em estratégico, tático e operacional. O nível estratégico é tomado como sendo de longo alcance com um horizonte de tempo maior que um ano; o nível tático envolve um período de tempo geralmente menor que um ano; o planejamento em nível operacional envolve a tomada de decisões de curtíssimo prazo com base em hora ou dia. O quadro 1 mostra as atividades vinculadas a cada nível de decisão.

QUADRO 1 - Atividades logísticas e níveis de decisão.

ATIVIDADE	NÍVEL DE DECISÃO		
	Estratégica	Tática	Operacional
Localização	-Número de Locais, Tamanho, e Localização	-Posicionamento dos Estoques	-Roteirização, Aceleração, e Despacho
Transportes	-Seleção de Modais	-Sazonalidade do Mix de Serviço -Estratégias de Rotas -Suprimento da Rede	-Quantidade e Tempo de Reabastecimento -Consolidação de Carga
Processamento de Pedidos	-Seleção e Projeto do Sistema de Colocação de Pedidos	-Regras de Prioridade para Pedidos dos Clientes	-Aceleração de Pedidos
Serviços ao Cliente	-Estabelecimento de Padrões;		
Armazenagem	-Lay Out, Seleção de Local -Projeto do Manuseio de Material	-Escolha Sazonal de Espaço -Alocação do Armazém -Estratégias de Separação de Pedidos	-Preenchimento de Pedidos -Separação de Pedidos
Compras	-Políticas	-Contratação e Seleção de Fornecedores	-Liberação de Pedidos

Fonte: Adaptado de Ballou (2001) e Ratliff (1996).



As decisões logísticas envolvem as áreas de fornecedores, manufatura e consumidores e estão relacionadas com instalações, áreas físicas e com fluxos de materiais e informações entre os diversos nós da rede (RATLIFF, 1996). A figura 2 apresenta na linha superior os nós da rede e as decisões relacionadas com áreas físicas e instalações. Na parte inferior a figura 2 apresenta os nós e as decisões ligadas aos arcos da rede, relacionadas com fluxos de materiais e informações.

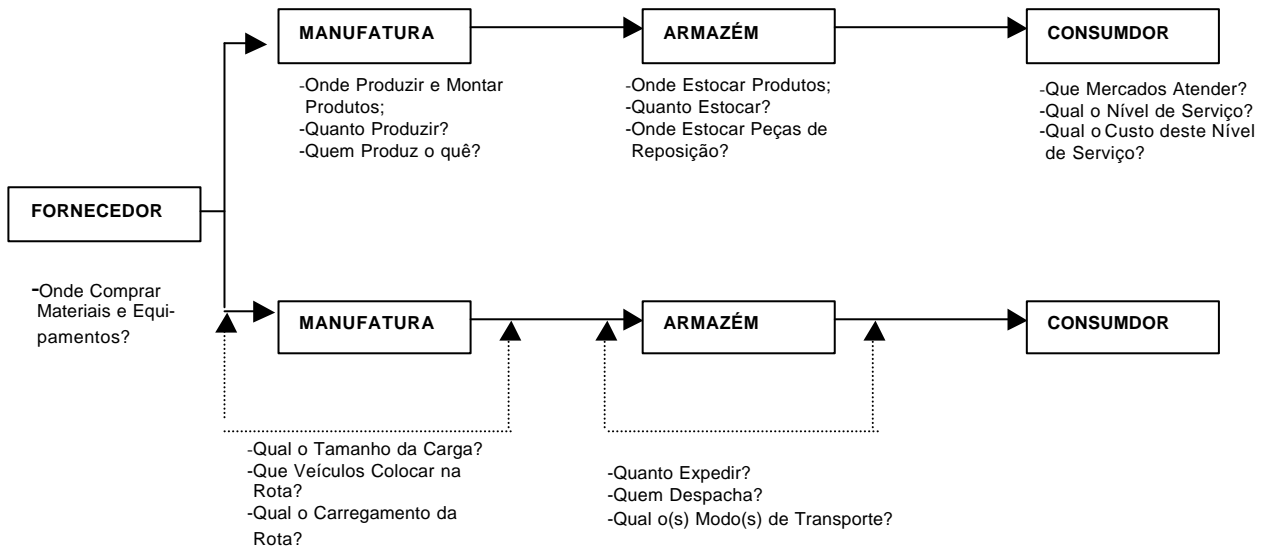


FIGURA 2 - Questões a serem respondidas no projeto de cadeia logística

Fonte: Ratliff (1996).

## 2.2 O AMBIENTE E AS FORÇAS QUE CONDICINAM A LOGÍSTICA

O ambiente logístico atual caracteriza-se, do ponto de vista externo, pelo fenômeno da globalização onde produtos são fabricados em vários pontos do globo, montados em outros e vendidos em terceiros, pela mudança da natureza da força de trabalho com a automação cada vez maior das atividades estruturadas, pelas tecnologias que, principalmente através da tecnologia de informação, lançam as organizações empresariais em um processo de inovação constante e pelas preocupações ambientais, que crescem junto com a população e a industrialização, sendo uma das principais questões a reciclagem dos resíduos sólidos (BALLOU, 1993).

Do ponto de vista interno, as empresas procuram focar-se na qualidade e no serviço, sendo que o segundo é o que representa o maior desafio para a logística. Outra característica é a terceirização, com as organizações procurando dedicar-se às suas especialidades e transferindo atividades periféricas, dentro de um conceito de cadeia de suprimentos, a outros parceiros (DORNIER et al., 2000).

O gerenciamento da cadeia de suprimentos assume um papel importante, uma vez que a concorrência deixa de ser entre empresas e passa a ser entre cadeias. Finalmente, outro aspecto importante do ambiente interno é definido pelas mudanças da forma de gerenciamento das organizações; de uma estrutura funcional tradicional passa-se a um gerenciamento por processos, onde o importante passa a ser o atendimento às demandas do cliente (CHRISTOPHER, 1999).

Os mercados são freqüentemente nacionais ou internacionais em escopo, ao passo que a produção pode ser concentrada relativamente em poucos pontos. As atividades logísticas fornecem a ponte entre o local de produção e os mercados que estão separados pelo tempo e pela distância (BALLOU, 2001). Neste ambiente, as empresas vitoriosas são aquelas que conseguem aumentar a taxa de inovação, lançar produtos e serviços mais rapidamente, atender a demanda com tempos de espera menores e conquistar maior confiabilidade.

Os custos logísticos vêm crescendo em importância em função dos seguintes pontos: a desregulamentação do transporte, o crescimento dos mercados globais, os serviços ao consumidor, o meio ambiente e a tecnologia. A desregulamentação do transporte tem como resultados maiores e complexas escolhas de custos, serviços logísticos e oportunidades para melhorar a operação dos negócios. Os serviços ao consumidor influenciam os custos, uma vez que a desregulamentação e os mercados globais, entre outros fatores, criam um ambiente mais competitivo. O meio ambiente e suas legislações têm significativas implicações na logística, impactando fundamentalmente a localização de instalações. Por último, a tecnologia, sendo que os seus avanços significam melhoria nas operações logísticas e um investimento contínuo em inovação (RATLIFF, 1996).

Para Dornier et al. (2000) quatro forças dirigem o ambiente de negócio: o mercado, a concorrência, a tecnologia e as regulamentações governamentais. O ambiente logístico é alterado através dos mercados que mudam sob a influência de produtos, das necessidades dos

clientes, das expectativas de serviços logísticos e das mudanças de localização geográfica e pela concorrência, que incita as companhias a modificarem suas cadeias logísticas de suprimentos de forma contínua. A tecnologia frequentemente oferece novos recursos; isso é verdade na área logística como em outras áreas da empresa. E as regulamentações governamentais que sempre têm impactos nas atividades logísticas, como por exemplo, na Europa, onde exige-se que os fabricantes recolham os materiais de embalagem de seus clientes.

A figura 3 mostra a influência dessas forças sobre o ambiente logístico e como elas afetam a produção logística e o fornecimento de serviço logístico.

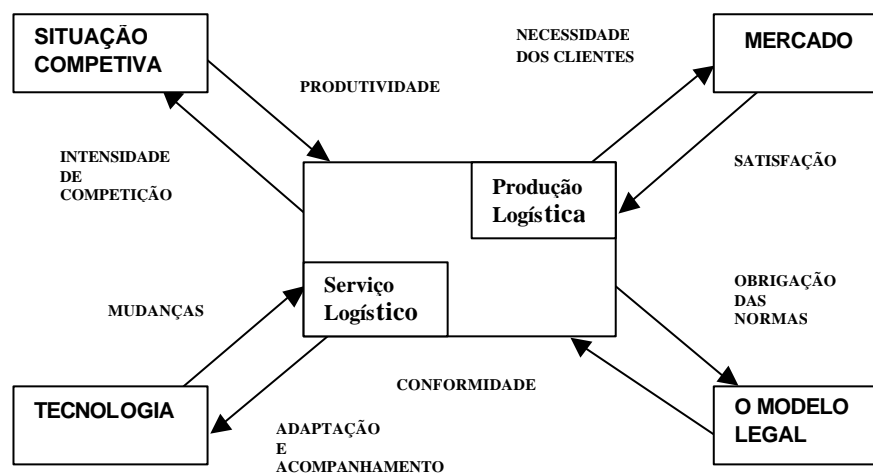


FIGURA 3 - A Influência do ambiente sobre produção e serviços logísticos

Fonte: Dornier et al.(2000).

Os investimentos em logística focam-se principalmente no fluxo das empresas para o mercado (fluxo direto). As preocupações para proteger o meio ambiente, conservar recursos e o crescimento da qualidade do serviço ao cliente vêm, ao longo do tempo, criando a necessidade de estabelecer e gerenciar fluxos reversos (do mercado de volta à empresa). Estes fluxos dão ênfase à reutilização, reembalagem, renovação ou disposição de artigos usados (DORNIER et al., 2000). Considera-se, também, que o desejo crescente de agradar o cliente e a concorrência geram fluxos de materiais retornados, com percentuais bastante relevantes das vendas totais para algumas indústrias.

Segundo uma pesquisa de infra-estrutura de varejo realizada pela Jupiter Media Metrix nos Estados Unidos, estima-se que o volume de devoluções feitas pelos consumidores

americanos no mercado de varejo *on line*, através da *internet*, totalizará 90 milhões de unidades de produtos em 2005. Isto representa, aproximadamente, 5,8 bilhões de dólares em um mercado que movimenta 36 bilhões de dólares, ou seja, em torno de 16 % do total.

De acordo com Ballou (1993), o mundo possui sofisticados canais para matérias-primas e produtos acabados, porém dá-se pouca atenção para a reutilização destes materiais após o seu consumo ou uso, em parte pelo pouco desenvolvimento dos canais de retorno, que ainda são menos eficientes dos que os canais de distribuição de produtos. Atualmente gera-se três milhões de toneladas de lixo domiciliar por dia no mundo e até o ano de 2025 esta quantidade deverá dobrar. Morrem cerca de 5,2 milhões de pessoas por ano em decorrência de doenças relacionadas ao lixo, sendo que as crianças são o grupo mais atingido. Com relação às tendências políticas de gestão destes resíduos, na Europa e nos Estados Unidos, tem-se: o banimento dos aterros sanitários, o desincentivo à geração de lixo, a reciclagem integral, a responsabilidade pós-consumo dos produtores, a reciclagem com geração e conservação de energia, a licença de funcionamento condicionada a um projeto de sustentabilidade, o incremento da coleta seletiva e normas rigorosas de disposição final em aterros (CALDERONI, 1997).

As políticas governamentais, a concorrência, as mudanças tecnológicas, e o mercado são forças que pressionam as empresas a considerarem os fluxos reversos no seu planejamento estratégico. Nesse quadro é possível vislumbrar possibilidades para a logística reversa, que podem ser fontes de vantagens competitivas, servirem como canal para a redução dos resíduos sólidos e possibilitarem fontes de matérias-primas que realimentam o processo de produção.

### 2.3 DEFINIÇÃO, CAMPO DE ATUAÇÃO E PRINCIPAIS DECISÕES EM LOGÍSTICA REVERSA

Não é exagero afirmar que os fluxos reversos existem desde que se iniciou o comércio de mercadorias. Sempre fez parte de qualquer tipo de contrato civilizado, explícito ou não, a troca de mercadorias com defeito ou danificadas, e esta prática concretiza um tipo de fluxo reverso.

As definições de logística reversa encontram-se entre dois extremos. De um lado tem-se a definição de Stock (1992), que está mais vinculada às questões do gerenciamento de materiais com risco para o meio ambiente, abordando os problemas de redução das fontes de fornecimento, problemas de reciclagem e problemas de coleta e disposição do lixo. No outro extremo tem-se a definição de Pholen (1992), que entende a logística reversa dentro de um circuito fechado de cadeia de suprimentos.

Entre estes dois extremos existem as definições de Rogers (1992) e de Fleischmann (2001), que procuram abordar tanto as questões ambientais, quanto as empresariais. Para eles a logística reversa deve tratar dos fluxos de matérias-primas, informações, estoque de matérias-primas e produtos acabados ou semi-acabados, do ponto de consumo para o ponto de origem objetivando a recuperação de valor ou para disposição final.

Uma definição de logística reversa que sirva aos objetivos deste trabalho deve incorporar os seguintes aspectos:

- a) Da produção e processamento de resíduos e atendimento à legislação;
- b) Dos fluxos secundários gerados em cadeias de suprimentos;
- c) Dos diversos tipos de retornos desde produtos de fim de uso, ou pós-consumo, passando por embalagens, incorporando os retornos gerados dentro da própria cadeia de suprimentos, produtos secundários e sobras de produção;
- d) Da possibilidade de informações desde as fontes primárias de geração até as manufaturas, as remanufaturas, as reparadoras ou os encarregados da destinação dos produtos oriundos dos fluxos reversos.

A definição de logística reversa apresenta por Leite (2003), atende a estes requisitos e é dada 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 de canais de distribuição reversos, agregando-lhes valor de diversas naturezas: econômico, ecológico, legal, logístico, de imagem corporativa, entre outros”.

O campo de atuação da logística reversa, de acordo com o THE INTERNATIONAL WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS – REVLOG (2000), pode ser dividido em três dimensões, sendo a primeira dimensão denominada área de planejamento e pesquisa, a segunda dimensão denominada de opções de recuperação e a terceira dimensão denominada grupo de produto.

A primeira dimensão incorpora as atividades de localização e redes de distribuição, de planejamento da produção e controle de estoque, de rastreamento de produtos, de análises econômicas e de verificação e acompanhamento dos impactos das legislações. A segunda dimensão incorpora as atividades relacionadas ao reuso direto de produtos, a reciclagem de materiais, ao reparo e reforma dos materiais retornados e à remanufatura. Finalmente a terceira dimensão, que está relacionada com os produtos nos canais reversos e incorpora as atividades de estudo de matérias-primas para estes mercados, de revenda de produtos em mercados secundários, de obtenção de peças de reposição para máquinas e equipamentos no mercado secundário e do recolhimento e disposição final de embalagens. O quadro 2 resume os aspectos principais dos campos de atuação da logística reversa.

QUADRO 2 – Campo de atuação da logística reversa

<b>Dimensão</b>	<b>Sub-Área</b>	<b>Atividades</b>
<b>Projeto e Pesquisa</b>	Distribuição	Localização e Redes de Distribuição.
	Planejamento da Produção e Controle de Estoque	Planejamento e Controle, Integração e Incertezas.
	Tecnologia da Informação	Rastreamento de Produto e Terceirização.
	Objetivos Econômicos	Projeto, Orçamentos, Análise Econômica.
	Integração dos Problemas de Logística Reversa	Verificação das Tendências e Impactos das Regulamentações.
<b>Opções de Recuperação</b>	Reuso Direto	Gerenciamento dos Produtos que não Recebem Reparos ou Atualizações.
	Reciclagem de Materiais	Transformação de Produto em Materiais que não Mantêm as Características Originais.
	Reparo	Execução de Reparos em Produtos que Terão Qualidade Menor que o Novo.
	Reforma	Atualização dos Produtos Usados para Recolocação no Mercado.
	Remanufatura	Desmontagem do Produto e Exame de Todas as Suas Partes.
<b>Produtos</b>	Material	Estudo de Matéria-Prima para Mercados Secundários.
	Bens de Consumo	Revenda em Mercado Secundário.
	Máquinas e Equipamentos	Prospecção de Peças de Reposição para o Mercado Secundário.
	Embalagens	Recolhimento e Disposição Final.

O grande problema comum a todas as atividades da logística reversa é como a organização deve transportar os produtos de onde eles não são desejados, de forma eficiente e eficaz, para onde eles possam ser processados, reusados e recuperados. As principais decisões para a área de logística reversa estão relacionadas com a definição dos pontos de entrada no canal reverso, a compactação do tempo de ciclo e de disposição, o sistema de informação em logística reversa, os retornos centralizados, a política de retorno zero, a remanufatura e a reforma, a recuperação de ativos, o gerenciamento financeiro e a terceirização da logística (ROGERS, 1998).

A definição dos pontos de entrada no canal reverso inclui também a necessidade de pessoal treinado para a operação de recebimento. A compactação do tempo de ciclo está relacionada com a habilidade de tomada de decisão a respeito do destino dos produtos recuperados. O sistema de informação para o fluxo reverso normalmente não é prioridade para as organizações, mas pode ser muito importante em casos de obrigatoriedade de recolhimento de produtos. A decisão relacionada a retorno centralizado, refere-se à escolha entre locais dedicados à separação, processamento e envio dos materiais, ou a distribuição destas atividades pelos vários pontos da rede. A política de retorno zero é operacionalizada através de um desconto que o fornecedor oferece ao seu cliente para que ele se responsabilize pela destinação dos produtos que sobram. As atividades de remanufatura e reforma envolvem também o reparo, a reciclagem e a canibalização de produtos. A recuperação de ativos está relacionada com as decisões a respeito dos produtos que devem retornar pelo canal reverso. O gerenciamento financeiro precisa definir, principalmente, a forma de rateio do custo dos fluxos reversos. Finalmente, as decisões relativas à terceirização dos serviços de logística reversa, que muitas empresas vêm adotando, devem ser tomadas.

## 2.4 FONTES DE GERAÇÃO E CATEGORIAS DOS FLUXOS REVERSOS

A vida de um produto, do ponto de vista logístico, não termina com sua entrega ao cliente. Após esta fase, os produtos tornam-se obsoletos, danificam-se, ou estragam e são levados aos seus pontos de origem para conserto ou descarte (BALLOU, 2001). De uma forma geral, as fontes de produtos retornados em suas diversas formas estão localizadas nos consumidores. Os fluxos são gerados através dos produtos que têm a sua vida útil esgotada e

que precisam ser recuperados em função de um interesse econômico da cadeia, ou por uma obrigação legal, e dos serviços de pós-venda que necessitam coletar esses produtos para recuperação, manutenção ou reparo.

A própria cadeia de produção gera fluxos de retorno, seja pela necessidade de recuperar produtos estocados em excesso nos armazéns, seja pela necessidade de recolher produtos que sofreram processo de obsolescência. Na área de produção existem os fluxos reversos gerados pela sobras de produção ou produtos sem qualidade-alvo, que são encaminhados para um reprocessamento ou para uma cadeia secundária. Rogers (1998), no quadro 3, estabelece uma padronização para os retornos e suas razões.

**QUADRO 3 – Razões para retorno de produtos**

<p><b>Serviço de Reparo e Pedidos</b></p> <p>Reparo na Fábrica          Serviços de Manutenção          Erro no Pedido do Agente          Erro no Pedido do Consumidor          Erro de Entrada no Sistema de Informação – SI          Erro na Entrega – Material Errado          Entrega Incompleta – Pedido Faltando          Quantidade Errada          Entrega Duplicada          Pedido em Duplicidade          Não Pedido          Partes Faltantes</p>	<p><b>Danificados ou Com Defeitos</b></p> <p>Embalagem Danificada          Obsoleto na Chegada          Não Produzido Corretamente</p> <p><b>Acordos Contratuais</b></p> <p>Excesso de Estoque          Ajuste de Estoque          Material Obsoleto – Prazo Vencido</p> <p><b>Outras</b></p> <p>Problemas de Peso          Danos na Entrega          Diversos</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Rogers (1998).

De acordo com Fleischmann (2001), os fluxos reversos podem ser classificados em cinco categorias, a saber: retornos de final de uso, retornos comerciais, retornos garantidos, sobras de produção e produtos secundários e embalagens. Mas antes do detalhamento desta classificação dois conceitos precisam ser esclarecidos. O primeiro trata da cadeia de suprimentos tradicional que incorpora o fornecedor, o fabricante, o atacadista/revendedor, o ponto de vendas e o consumidor, fazendo parte desta definição mais um elemento que é o reciclador. Na cadeia de suprimentos alternativa encontram-se os mesmos elementos, sendo que o fabricante passa a ser chamado de processador. Estas duas cadeias se estruturam e estabelecem pontos de contato entre os seus diversos elementos, conforme pode ser verificado na figura 4.

Os retornos de final de uso (este fluxo é tratado por Leite (1999) como fluxo de pós-consumo) referem-se aos produtos, que de alguma forma já foram utilizados pelo consumidor e retornam ao mercado através da cadeia de suprimentos alternativa, sendo comercializados



em diferentes formas ou estados, podendo ser utilizados diretamente (carros usados, equipamentos eletrônicos, etc.) ou como matéria-prima para a cadeia tradicional (sucatas, peças de reposição, etc.). Fleischmann (2001) inclui neste fluxo os retornos provenientes de arrendamento mercantil. Os retornos de final de uso são normalmente dirigidos pelas regulamentações governamentais e pela proteção de ativos sensíveis da produção industrial. Este fluxo tem como característica um tempo de retorno relativamente longo desde sua utilização primária até o retorno para a cadeia alternativa.

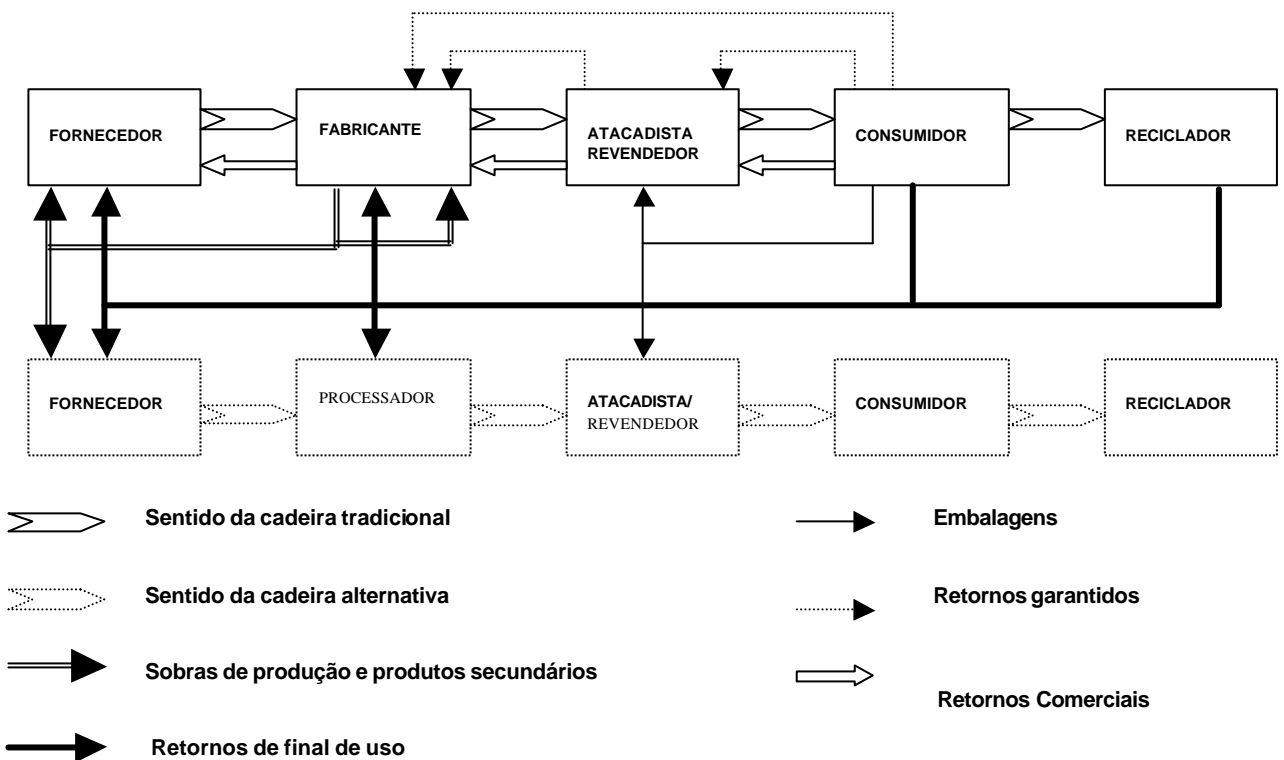


FIGURA 4 - Fluxos reversos na cadeia de suprimentos

Fonte: Fleischmann (2001).

Os fluxos reversos provenientes dos retornos comerciais representam a transferência de riscos financeiros entre os vários elementos da cadeia de suprimentos, e ocorrem na cadeia de suprimentos tradicional. Esta transferência de riscos depende do poder de negociação dos diferentes integrantes da cadeia, sendo que os riscos financeiros são maiores quanto maiores forem os riscos de obsolescência e mais curto for o ciclo de vida do produto. Estes fluxos incluem os produtos não utilizados e devolvidos por desistência, erro de especificação e comprados a mais. Os retornos comerciais ocorrem, normalmente, entre as partes da cadeia que estão em contato direto podendo, no entanto, ocorrer entre elementos que não estão em

contato direto como consumidor e fabricante ou atacadista/revendedor e fornecedor. A destinação desses produtos retornados pode ser a reincorporação ao estoque, a devolução para a parte anterior da cadeia ou a revenda para a cadeia alternativa. O incremento desses produtos com novos padrões pode ser mais uma alternativa. Como última opção tem-se a reciclagem ou a disposição final.

Os fluxos reversos de produtos com retorno garantido (este fluxo é tratado por Leite (1999) como fluxo de pós-venda), formam uma categoria de fluxo de materiais secundários, contrários à cadeia tradicional de suprimentos. Estes fluxos estão relacionados aos produtos com falhas que retornam ao seu local original, produtos danificados durante o manuseio englobando também os produtos recuperados em função de seguros contra acidentes. O reparo é a típica providência para estes produtos, podendo ainda ser comercializados na cadeia alternativa como sucata ou servirem de fonte para a retirada de peças. A última alternativa é a disposição final.

As sobras de produção e produtos fora de especificação são resultado de processos de mal dimensionados ou mal calibrados, este fluxo ocorre dentro da cadeia tradicional entre o fabricante e o fornecedor, ou na relação entre a cadeia alternativa e a cadeia tradicional, através do fornecedor da cadeia alternativa e o fornecedor ou fabricante da cadeia tradicional. São exemplos de produtos neste fluxo as aparas de papel e os produtos rejeitados pelo controle de qualidade. A destinação desses materiais pode ser, para o caso dos produtos fora de especificação, o retrabalho a fim de se encontrar a qualidade-alvo, e para as sobras de produção a reincorporação ao próprio processo produtivo.

Finalmente, as embalagens, que normalmente constituem um fluxo reverso fechado dentro da cadeia tradicional. São exemplos de embalagens os engradados, as garrafas retornáveis, os *pallets* e caixas reutilizáveis.

## 2.5 AS REDES DE DISTRIBUIÇÃO REVERSA

De uma forma geral, as redes de distribuição reversa se estruturam em torno de um mercado disponibilizador onde o recuperador de produtos usados atua como comprador, e um

mercado de reuso, onde o recuperador atua como vendedor (FLEISCHMANN, 2001). Enquanto passos específicos diferem-se nessa transação, os seguintes grupos de atividades parecem recorrentes nas redes de recuperação de produtos: coleta, inspeção e/ou separação, reprocessamento, disposição e redistribuição.

A figura 5 mostra esta estrutura de rede onde a inspeção/separação refere-se às operações que se destinam a tornar os produtos reutilizáveis de alguma forma e desta operação devem resultar as diferentes destinações para reuso ou disposição. O reprocessamento que compreende as atividades destinadas a transformar um produto usado em um produto reutilizável. A disposição é definida como opção para os produtos que não podem ser tecnicamente reutilizados, isto se aplica aos produtos rejeitados no processo de separação por necessidade de reparos excessivos, ou a produtos sem condições de serem recolocados no mercado. A disposição pode incluir as atividades de transporte, incineração e aterro sanitário. A redistribuição refere-se ao direcionamento dos produtos para um mercado potencial e transportá-los para os futuros usuários, podendo incluir transporte, vendas e armazenagem.

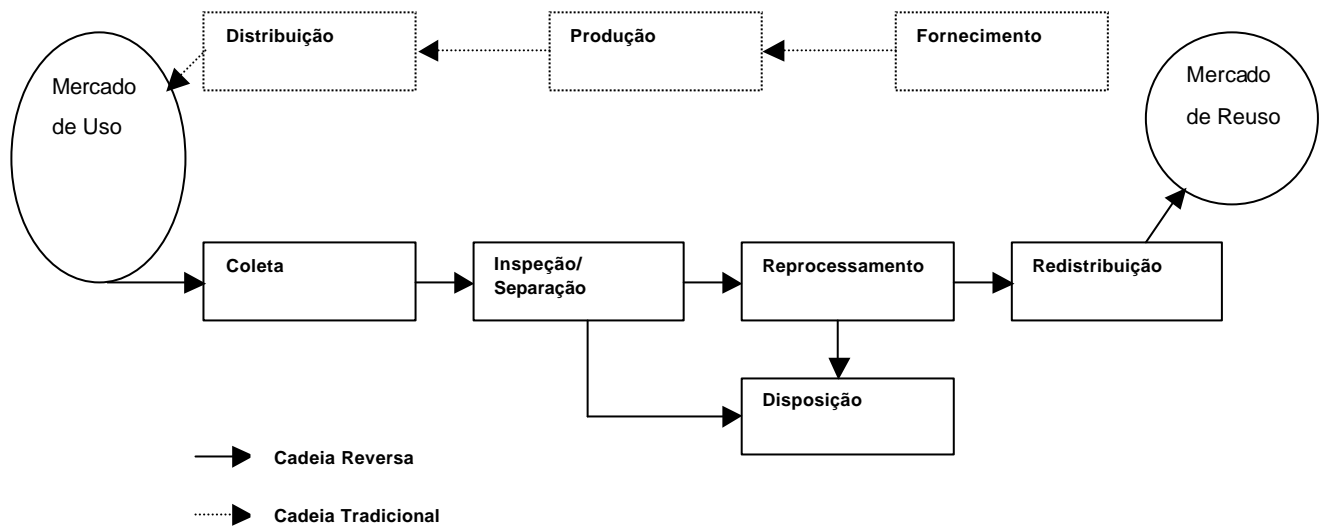


FIGURA 5 - Cadeia tradicional e cadeia de retornos

Fonte: Fleischmann (2001).

A seguir, tratar-se-á de vários casos de redes de distribuição reversa, com a finalidade de confirmar esses grupos de atividades, e estabelecer uma estrutura para a rede de recuperação de resíduos. As redes pesquisadas podem ser classificadas de acordo com as suas

formas de gestão podendo ser: redes geridas pelo setor público, redes geridas pela iniciativa privada e redes mistas com participação do setor público e do setor privado na sua gerência.

### 2.5.1 Redes geridas pelo setor público

Nesta categoria de rede encontra-se a rede de resíduos de construção e demolição de Belo Horizonte apresentada por Chenna (2001), que é gerida pelo município. Esta rede realiza a coleta, o transporte, a reciclagem, a comercialização de reciclados e a disposição final dos resíduos de construção e demolição. Os nós da rede são compostos pelas estações de reciclagem, pelas unidades de recebimento de pequenos volumes - URPV, pelas áreas de geração de resíduos, pelos aterros sanitários e pelas zonas de consumidores de reciclados.

Em Curitiba as atividades de coleta, transporte, separação, classificação, destinação final e comercialização dos resíduos sólidos com potencial para a reciclagem são gerenciadas pelo município. Estes resíduos são segregados nos pontos de geração, o que facilita as operações de separação e classificação. A rede de coleta seletiva de Curitiba é estruturada com os seguintes elementos: áreas de geração, unidade de reciclagem, consumidores e área de disposição final (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 2000).

No Programa de Coleta Seletiva de Lixo de Porto Alegre a coleta é feita por veículos coletores do município e por carroceiros ou carrinheiros. Existem unidades intermediárias para a entrega do material reciclável, onde os próprios moradores podem efetuar a entrega, que são chamados postos de entrega voluntários – PEV, se assemelhando neste aspecto com a rede de Belo Horizonte. A rede de coleta seletiva de Porto Alegre é composta pelas áreas de geração, postos de entrega voluntários, unidades de reciclagem, consumidores e aterros sanitários (PEREIRA, 1999).

### 2.5.2 Redes geridas pelo setor privado

Ryan (2000), com o objetivo de conectar fornecedores e compradores, propõe o estabelecimento de um mercado virtual para produtos eletrônicos de final de uso. Os potenciais participantes seriam encorajados a negociarem em um mercado *on line*, se eles percebessem que neste mercado as trocas seriam mais fáceis e/ou mais lucrativas do que no mercado convencional. É descrito um protótipo experimental para a fabricação de máquinas

de café, que são construídas usando-se peças de computadores usados. A rede do mercado virtual é composta pelos fabricantes que são consumidores de reciclados e fornecedores de recicláveis, instalações de reciclagem, áreas de geração, os locais de disposição final e os consumidores de produtos fabricados com reciclados.

Um estudo de caso sobre reciclagem de resíduos de construção e demolição na Holanda, com utilização do reciclado em larga escala em projetos de estrada e de infraestrutura em geral é apresentado por Barros (1998). O reciclado obtido é uma areia que é dividida em três categorias: areia limpa, que é usada sem restrição, areia meio-limpa, que tem utilização restrita a algumas aplicações; e areia poluída que, para ser utilizada, precisa ser limpa. A rede estudada é composta pelas companhias esmagadoras, que são responsáveis pela coleta, transporte e esmagamento dos resíduos; por depósitos regionais, que fazem a separação dos três tipos de areia; por instalações de tratamento, que fazem a limpeza da areia poluída e a destinação final do material não aproveitado para os aterros sanitários. Além destes elementos, fazem parte desta rede as áreas de geração e os pontos de demanda dos reciclados.

O artigo de Veerakamolmal (1998), na área de retorno de computadores, tem o objetivo de determinar o número de produtos a serem desmontados, em um período de tempo, para atender à demanda por vários componentes nos períodos de tempo subsequentes, de forma a minimizar os custos de desmontagem e disposição. A rede é modelada como uma cadeia de suprimentos, onde os produtos seguem em duas direções (uma cadeia reversa e uma cadeia direta). A rede proposta para computadores retornados é composta pelas plantas de montagem, instalações de desmontagem, instalações de reciclagem, locais de disposição final, os consumidores e as fontes de geração de resíduos.

Fleischmann (2001) propõe um modelo genérico de rede de recuperação considerando três níveis intermediários de instalações entre os mercados consumidores de produtos de reuso. Ele inclui os centros de desmontagem, onde as operações de inspeção e separação são feitas, as plantas de reprocessamento, que também podem fabricar produtos novos, e os armazéns de distribuição. Os materiais coletados podem ter duas destinações, uma para recuperação e outra para disposição final. O modelo genérico é composto por mercados consumidores, centros de desmontagem, plantas de reprocessamento, armazéns de distribuição e locais de disposição final.

Krikke (1997) trata de uma rede em um estudo piloto desenvolvido para a ROTEB, que é uma das maiores empresas na área de gerenciamento de resíduos sólidos na Holanda. A empresa atua em diversos ramos e tem interesse em se envolver no mercado de reciclagem, oferecendo esse serviço para vários tipos de resíduos. A atividade desta rede limita-se ao recolhimento de monitores de vídeo de microcomputadores. A rede apresentada no estudo piloto contempla os seguintes elementos: áreas de geração, instalações de desmontagem, unidades de processamento e locais de disposição final.

No artigo de Anuatti (1999) encontra-se uma rede teórica, a qual é composta por agentes recicladores ou provedores de serviços de reciclagem e por comercializadores de resíduos, os quais intermediam as transações entre produtores de resíduos e firmas de serviço de reciclagem. A rede teórica é composta pelos agentes recicladores, comercializadores de resíduos, fontes de geração e as unidades de disposição final.

### 2.5.3 Redes com gerência mista

Segundo Ferraz et al. (2001), a rede de distribuição reversa dos resíduos de construção e demolição no município de São Paulo se organiza em torno dos transportadores privados, que são autorizados pelo município e são responsáveis pela coleta, transporte e destinação final. O produto da coleta é encaminhado para um aterro sanitário, sendo que parte desta, por razões de custo, é consolidada em uma estação de transbordo, antes de seguir para o aterro. Nesta instalação de transbordo também é feita a segregação do material, e parte dele é encaminhado para reutilização e reciclagem. A rede apresentada é composta por aterro sanitário, estação de transbordo, consumidores e áreas de geração.

Segundo Xavier (2001) no município de Florianópolis o serviço de limpeza pública faz a coleta de 3% do total de entulho de construção sendo o restante coletado por empresas privadas ou por carreteiros. O entulho coletado pelas empresas particulares é disposto em aterro sanitário, ou em locais impróprios para este tipo de disposição (terrenos baldios, por exemplo), pois o município não possui instalação para reciclagem desse material. Esta rede é composta por áreas de geração e aterros sanitários.

O quadro 4 resume os principais elementos identificados em cada uma das redes apresentadas.

QUADRO 4 - Principais elementos encontrados em cada rede

Elementos	Chenna	Xavier	Ferraz	PMC	Pereira	Ryan	Barros	Veerakamolmal	Fleischmann	Krikke	Anuatti
Instalações de reciclagem	X			X	X	X		X	X		
Unidades de recebimentos voluntários	X				X						
Áreas de geração	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Aterro sanitário	X	X	X	X	X						
Consumidores	X		X	X	X	X	X	X	X		
Estação de transbordo			X								
Fabricantes						X					
Locais de destinação final						X	X	X	X	X	X
Companhias esmagadoras							X				
Depósitos regionais							X		X		
Instalações de tratamento							X				
Plantas de montagem								X			
Instalações de desmontagem								X	X	X	
Unidades de processamento										X	
Agentes recicladores											X
Comercializadores de resíduos											X

## 2.6 MODELAGEM MATEMÁTICA DE REDES LOGÍSTICAS

A construção de um modelo pode ajudar a colocar as complexidades e possíveis incertezas que acompanham um problema de tomada de decisão dentro de uma estrutura lógica passível de uma análise abrangente (WAGNER, 1986). Dadas as complexas questões e escolhas envolvidas na cadeia logística de suprimentos, uma boa forma prática de determinar como melhorar as operações logísticas é gerando e avaliando alternativas lógicas. Basicamente, as tomadas de decisão em logística ocorrem dentro de quatro situações. Na primeira situação, a cadeia está funcionando e trata-se de comparar novas alternativas com a situação existente. Na segunda situação, pode-se analisar uma situação específica como o desempenho isolado de uma planta. Numa terceira situação, a decisão precisa ser tomada sobre um projeto com alternativas geradas, por exemplo, por algoritmos baseados em programação matemática. Em uma quarta situação, as decisões e alternativas são construídas de forma interativa utilizando-se um modelo de perguntas e respostas (RATLIFF, 1996). A seguir, tratar-se-á de algumas técnicas de pesquisa operacional aplicadas à logística.

### 2.6.1 Programação linear

As técnicas matemáticas que tratam da alocação de recursos, visando maximizar ou minimizar alguma medida, constituem a programação matemática. A programação linear é o caso particular em que a expressão que se deseja maximizar ou minimizar é uma função linear, e as restrições sobre disponibilidade ou utilização dos recursos podem ser expressas como equações ou desigualdades lineares. A programação linear (PL), é uma técnica de pesquisa operacional que ganhou força no final da década de 1940 e com o surgimento do computador na década de 1950 encontrou seu aliado natural (PRADO, 1999).

Um modelo de PL é composto basicamente de três elementos. Uma função-objetivo, a qual traduz uma equação de um problema que se quer maximizar ou minimizar. As variáveis de decisão, que representam as escolhas (em uma cadeia logística, por exemplo, abrir ou fechar uma planta). As restrições que são as limitações ou requisitos da cadeia logística (quantidade a ser produzida maior ou igual à demanda e não negatividade das variáveis de decisão). Uma representação analítica da cadeia de suprimentos é natural porque muitos elementos são quantitativos na logística (custo de expedição, custo de estoque, tempo de trânsito, níveis de estoque, custo das instalações de produção e previsão de demanda).

A notação matemática para o modelo de PL pode ser feita da seguinte forma (WAGNER, 1986):

Função-objetivo:

$$\text{Max / Min } \sum_{j=1}^n c_j X_j \quad (1)$$

Onde  $c_j$  são os coeficientes de custo e  $X_j$  são as variáveis de decisão.

Restrições

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} X_j \leq b_i \dots \dots p / (i = 1, 2, \dots, m) \quad (2)$$

$$X_j \geq 0 \dots \dots p / (j = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

Onde  $a_{ij}$  são os coeficientes tecnológicos.



A PL pode ser classificada de acordo com o tipo de variável de decisão em programação contínua, quando os resultados das variáveis do modelo são valores reais e contínuos; programação inteira, quando as variáveis admitem somente soluções inteiras; e programação inteira mista, onde as variáveis podem ser tanto de solução inteira quanto de solução contínua (PRADO, 1999).

### 2.6.2 Modelo de transporte

Nos modelos de transporte deseja-se minimizar o custo de todo o volume de transporte, obedecendo às quantidades demandadas e as capacidades de oferta. Quando estes modelos são da classe de programação inteira ou programação inteira mista e as soluções consomem grande tempo de processamento, podem ser classificados como *hard*.

O modelo possui  $m$  pontos de fornecimento e  $n$  pontos de consumo, cada unidade de fornecimento possui  $S_m$  capacidade de oferta e cada ponto de consumo demanda  $D_n$  quantidade de produto. O conjunto de unidades de fornecimento  $i$  varia de 1 a  $m$ , e o conjunto de pontos de consumo  $j$  varia de 1 a  $n$ . Seja  $X_{ij}$  o número de unidades enviadas de  $i$  para  $j$  e  $c_{ij}$  o custo de uma unidade enviada de  $i$  para  $j$ , pode-se apresentar o modelo matemático do problema de transporte da seguinte forma:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

Sujeito a:

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq S_i, \dots, p / (i = 1, 2, \dots, m) - \text{fornecimento} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m X_{ij} \geq D_j, \dots, p / (j = 1, 2, \dots, n) - \text{demanda} \quad (6)$$

$$X_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

### 2.6.3 Modelos de localização

Segundo Ballou (2001), encontrar instalações fixas ao longo da rede logística é um problema importante de decisão que configura, estrutura e dá forma ao sistema logístico inteiro. Estas instalações incluem pontos nodais na rede como plantas, portos, fornecedores, armazéns, filiais de varejo e centros de serviço. As decisões de localização de instalações envolvem a determinação do número, da localização e tamanhos a serem usados. Os modelos de localização são um caso particular do modelo de transporte onde a capacidade  $S_m$  de cada instalação fica em aberto.

O modelo de localização de instalação única, de centro de gravidade exato, método de grade ou método centróide é função da taxa de transporte e do volume no ponto. Dado um conjunto de pontos que representam as fontes e os pontos de demanda, os volumes que devem ser movimentados para uma instalação e a taxa de transporte, a questão a ser respondida é: onde deve ser localizada a instalação (BALLOU, 2001)? O problema, neste caso, resume-se a encontrar o custo mínimo total de transporte e a equação abaixo apresenta esta condição.

$$MinTc = \sum_{i=1}^n V_i R_i d_i \dots \dots p / (i = 1, 2, \dots, n) \quad (8)$$

Onde:

Tc = Custo do transporte;

$V_i$  = Volume no ponto  $i$ ;

$R_i$  = Taxa de transporte no ponto  $i$ ;

$d_i$  = Distância do ponto  $i$  à instalação a ser localizada.

Para encontrar a localização da instalação devem ser resolvidas as equações que definem as coordenadas de localização.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n V_i R_i X_i / d_i}{\sum_{i=1}^n V_i R_i / d_i} \dots \dots p / (i = 1, 2, \dots, n) \quad (9)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_{i=1}^n V_i R_i / d_i} \quad (10)$$

Onde

X e Y= Coordenadas da instalação a ser localizada;

$X_i$  e  $Y_i$  = Coordenadas da fonte e da demanda.

A distância é estimada por:

$$d_i = k\sqrt{(X_i - X)^2 + (Y_i - Y)^2} \quad (11)$$

Onde: k é o fator de escala.

A solução é obtida através de iterações sucessivas, sendo que na primeira aproximação a distância  $d_i$ , nas fórmulas 9 e 10, deve ser omitida. Na segunda aproximação calcula-se as coordenadas a partir dos resultados obtidos na primeira aproximação. Através de iterações sucessivas chega-se a um ponto em que as coordenadas X e Y não mais se alteram, ou terão mudanças pouco significativas. Finalmente calcula-se o custo total para a localização encontrada.

O mais complexo e mais realista problema de localização para a maioria das organizações ocorre quando duas ou mais instalações devem ser localizadas simultaneamente (BALLOU, 2001). A abordagem de localização por múltiplos centros de gravidade é estudada usando a abordagem de centro de gravidade exato estendida para um formato de multilocalização, como se houvesse um centro de gravidade para cada conglomerado de pontos. Para este processo, além das coordenadas da fonte ou demanda serem conhecidas, é necessário fornecer os volumes e a taxa de transporte; além disso, deve-se fixar o número de instalações que se quer localizar. O processo também é iterativo e continua até que não haja mudanças adicionais significativas. Com o aumento do número de instalações normalmente o custo de transporte decresce, no entanto aumenta-se o custo fixo total e os custos de estoque para o sistema logístico.

#### 2.6.4 Modelo de rede

Os modelos de rede possuem, na maioria dos casos, uma estrutura com m pontos de fornecimento e n pontos de demanda. O problema consiste na definição do melhor caminho ou rota a ser utilizado para fazer com que uma determinada quantidade de produto de um ponto de fornecimento, chegue a um ponto de destino. Os modelos de rede englobam os dois

casos anteriores (transporte e localização) e podem ser aplicados nas seguintes áreas: transporte, localização, designação de pessoal, menor caminho em uma rede e fluxo máximo em uma rede.

Para a solução do problema, a função-objetivo deve representar a minimização do custo de todas as rotas possíveis. As restrições devem definir que as saídas de cada fábrica devem ser menores ou iguais a sua capacidade máxima de produção, que a chegada a cada depósito deve ser igual a sua necessidade e que o balanço em qualquer estação intermediária deve ser igual a zero. A figura 6 ilustra uma rede de transporte com diferentes origens e destinos, onde o objetivo é escoar a produção das fábricas F1 e F2 para os destinos D1 e D2.

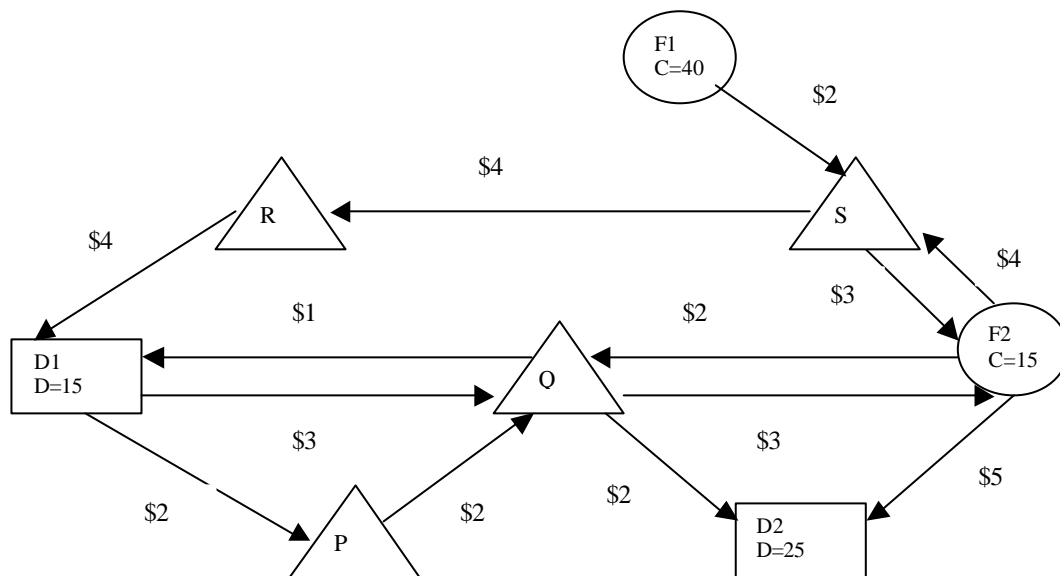


FIGURA 6 - Transporte em rede

Fonte: Prado (1999).

### 2.6.5 Modelos de previsão

Uma organização estabelece metas e objetivos buscando fatores que interferem no seu ambiente e, então, implementa ações que ajudam a alcançar estas metas e objetivos. A necessidade de previsões alicerçadas em modelos matemáticos cresce à medida que as decisões baseadas em previsões oriundas da experiência dos gerentes decresce. Como as várias áreas da organização são inter-relacionadas, uma boa ou uma má previsão pode afetar a totalidade da organização. Existem diferentes áreas que requerem previsões, no entanto, três situações podem ser citadas como exemplo de necessidade de previsão de curto, médio e

longo prazos: programação dos recursos existentes (transporte, capital de giro, nível de produção), aquisição de recursos adicionais (pessoal, equipamentos, matérias-primas), e determinação de recursos que serão necessários em função do crescimento da empresa (MAKRIDAKIS, 1978).

De acordo com Pellegrini (2001), através das técnicas de previsão de demanda é possível extrair dos dados passados disponíveis sobre um processo de demanda, informações que permitem a modelagem matemática de seu comportamento. A suposição de uma continuidade neste comportamento permite a realização de previsões, cuja qualidade e precisão são muito superiores àquelas feitas intuitivamente. Uma curva característica de demanda regular é apresentada na figura 7, ela incorpora aspectos de sazonalidade da demanda (clima, moda, etc.), tendência e aleatoriedade.

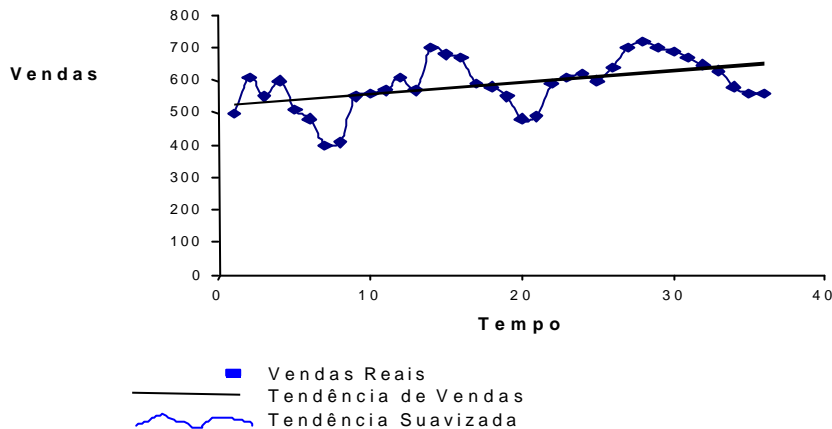


FIGURA 7 - Padrão típico de demanda regular com aleatoriedade, tendência e sazonalidade

Fonte: Ballou (2001).

O horizonte de tempo para efeitos de previsão pode ser dividido em prazo imediato (menos do que um mês), curto prazo (de um a três meses), médio prazo (de três meses a dois anos) e longo prazo (mais do que dois anos). De uma forma geral, os métodos ou técnicas qualitativas são mais apropriados a previsões de longo prazo. Métodos quantitativos, no entanto, podem ser aplicados para qualquer horizonte de tempo. Os métodos de suavização são geralmente melhor utilizados para previsões de tempo imediato e de curto prazo, já os métodos de decomposição e ARIMA (*autoregressive integrated moving average*) têm uma aplicação melhor para previsões de curto e médio prazos. As técnicas de regressão são mais apropriadas para o médio e o longo prazos. Deve ser lembrado que a adequacidade de um

método não depende somente do horizonte de tempo, mas também de outros fatores que podem ter muito mais peso, em uma determinada situação, do que este horizonte de tempo (MAKRIDAKIS, 1978).

A técnica de previsão denominada suavização exponencial é muito útil para o profissional de logística, pois permite a elaboração de previsão de forma simples. Nestes modelos cada valor da série temporal recebe um peso diferenciado, sendo que as observações mais recentes são ponderadas com maior peso, formando um conjunto que decai exponencialmente a partir dos valores mais recentes. Se a série temporal se mantiver constante sobre um nível médio, uma suavização exponencial simples pode ser utilizada para a previsão dos valores futuros e a sua representação matemática é dada a seguir:

$$\widehat{Z}_{t+1} = \mathbf{a}Z_t + (1-\mathbf{a})\widehat{Z}_t \quad (12)$$

Onde:

$t$  = Período atual;

$\alpha$  = Constante de suavização exponencial;

$Z_t$  = Valor observado no tempo  $t$ ;

$\widehat{Z}_t$  = Valor da previsão para o tempo  $t$ ;

$\widehat{Z}_{t+1}$  = Previsão para o período  $t+1$ .

O modelo de suavização exponencial tem um bom desempenho quando não se observa uma grande mudança no componente de tendência. Para os casos em que as séries temporais possuem uma tendência linear o Modelo de Holt pode ser utilizado de forma satisfatória. Este modelo emprega duas constantes de suavização e tem sua representação matemática dada por (PELLEGRINI, 2001):

$$L_t = \mathbf{a}Z_t + (1-\mathbf{a})(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (13)$$

$$T_t = \mathbf{b}(L_t - L_{t-1}) + (1-\mathbf{b})T_{t-1} \quad (14)$$

$$\widehat{Z}_{t+k} = L_t + kT_t \quad (15)$$

Onde:

$L_t$  = Previsão inicial para o período  $t$ ;

$T_t$  = Tendência para o período  $t$ ;

$\mathbf{b}$  = Constante ponderada de tendência;

$k$  = Número de períodos;

$\hat{Z}_{t+k}$  = Previsão da tendência para o período  $t+k$ .

Os efeitos sazonais na série de tempo também devem ser levados em conta e para estes casos os Modelos de Winters descrevem dados de demanda onde se verifica a ocorrência de tendência linear e sazonalidade. Estes modelos dividem-se em modelos aditivos e modelos multiplicativos. No primeiro caso a amplitude da variação sazonal é constante ao longo do tempo e no segundo caso a amplitude da variação sazonal aumenta ou diminui como uma função do tempo. A representação matemática para o modelo multiplicativo é dada por (PELLEGRINI, 2001):

$$L_t = \mathbf{a} \frac{Z_t}{S_{t-s}} (1 - \mathbf{a})(L_{t-1} + T_{t-1}) \quad (16)$$

$$T_t = \mathbf{b}(L_t - L_{t-1}) + (1 - \mathbf{b})T_{t-1} \quad (17)$$

$$S_t = \mathbf{g} \frac{Z_t}{L_t} + (1 - \mathbf{g})S_{t-s} \quad (18)$$

$$\hat{Z}_{t+k} = (L_t + kT_t) S_{t-s+k} \quad (19)$$

Onde:

$s$  = Uma estação completa de sazonalidade;

$\mathbf{g}$  = Constante de ponderação sobre o índice sazonal;

$\hat{Z}_{t+k}$  = Previsão para  $k$  períodos à frente.

Os métodos de decomposição de série de tempo procuram identificar três componentes básicos de um padrão que caracteriza uma série. Estes componentes são: tendência, ciclo e fatores sazonais. A tendência representa um padrão de comportamento dos dados da série e pode crescer, decrescer ou não se alterar. O fator cíclico representa as subidas e descidas da economia, ou de uma indústria específica, e é mais comum para séries como o Produto Interno Bruto (PIB), índices de produção industrial, demanda por residências, venda de

produtos industriais (como automóveis), preços de estoque e taxas de juros. O fator sazonal mostra flutuações periódicas que são causadas por variação de temperatura, chuvas, mês do ano, estação do ano e políticas corporativas. A distinção entre sazonalidade e ciclo está no fato de que a sazonalidade se repete a intervalos fixos como um ano, ou semana, enquanto os fatores cíclicos são de longa duração. A representação matemática geral para a abordagem de decomposição de série de tempo é dada por (MAKRIDAKIS, 1978):

$$X_t = f(I_t, T_t, C_t, E_t) \quad (20)$$

Onde:

$X_t$  = Valor da série de tempo para o período  $t$ ;

$I_t$  = Componente sazonal para o período  $t$ ;

$T_t$  = Componente de tendência para o período  $t$ ;

$C_t$  = Componente cíclico para o período  $t$ ;

$E_t$  = Componente de erro para o período  $t$ .

O critério para escolha do modelo a ser utilizado para a previsão é definido por Pellegrini (2001) da seguinte forma:

“Dependendo da série temporal que se deseja analisar, vários modelos podem ser empregados na previsão de seus valores futuros. A escolha do modelo mais apropriado é feita a partir do somatório dos erros gerados para cada modelo ( $e_t = z_t - \hat{z}_t$ ). Uma vez que o cálculo dos erros pode resultar em valores positivos e negativos, zerando assim o seu somatório, diferentes formas de cálculo para o somatório dos erros podem ser empregadas. Estas diferentes formas de cálculo constituem-se em critérios para a escolha de modelos mais apropriados às séries temporais. Os critérios mais utilizados são:

-Média do quadrado dos erros (MQE) =  $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n e_t^2$  ;

-Média absoluta dos erros (MAE) =  $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n |e_t|$  ;

-Média absoluta percentual dos erros (MAPE) =  $\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{e_t}{z_t} \right| 100$  .”



## 2.7 DIFICULDADES OPERACIONAIS PARA MODELAGEM DE REDES LOGÍSTICAS REVERSAS DE DISTRIBUIÇÃO

Segundo Fleischmann (2001), a maior diferença entre a cadeia tradicional e a cadeia reversa aparece do lado do suprimento. Enquanto no sistema de produção/distribuição o fornecimento é tipicamente uma variável endógena em termos de tempo, qualidade e quantidade, onde as entradas podem ser controladas de acordo com as necessidades do processo, na cadeia reversa o fornecimento é um fator determinado de forma exógena e pode ser difícil de ser previsto, principalmente pela diferença nos tempos de utilização dos produtos nas zonas de consumo.

Nos modelos de localização logísticos, normalmente a demanda puxa o fluxo de materiais através da rede, sendo o fator exógeno do modelo. Isto não é verdadeiro para o caso do projeto da rede de recuperação. Os modelos para o projeto da rede de recuperação são bastante similares aos da rede de distribuição tradicional, particularmente na classe dos modelos de localização multinível. As maiores diferenças são relacionadas com as restrições adicionais de fluxo que refletem as preocupações de fornecimento por parte do mercado disponibilizador. Os principais problemas que condicionam o planejamento da rede reversa, de acordo com Fleischmann (2001), são: as incertezas sobre os volumes de produtos retornados, a legislação e a qualidade inferior dos produtos aos olhos do consumidor.

A rede logística reversa está relacionada com a gestão de resíduos, que está relacionada com a política de gestão ambiental da empresa. Como o enfoque nesta área vem sendo dado simplesmente do ponto de vista da geração de custo para a organização, uma nova visão, que seja capaz de compatibilizar as questões relativas à sustentabilidade e à competitividade, faz-se necessária.

### **3 LOGÍSTICA REVERSA E SUSTENTABILIDADE**

Neste capítulo será traçado um breve panorama sobre a legislação ambiental em nível internacional e nacional abrangendo as três esferas de governo (Federal, Estadual e Municipal). A revisão da legislação em nível nacional procurará vincular os principais impactos dessas leis sobre as cadeias logísticas. Será mostrada a projeto da nova Lei da Política Nacional de Resíduos Sólidos, discutida a compatibilidade entre sustentabilidade e competitividade e a logística reversa será apresentada como uma ferramenta de apoio às políticas ambientais. Finalizando o capítulo, serão apresentados alguns casos de sucesso na implementação desta nova visão, que considera os aspectos de sustentabilidade.

#### **3.1 LEGISLAÇÃO EM NÍVEL INTERNACIONAL**

De uma forma geral, o que se observa em termos de tendência da legislação em nível internacional, principalmente nos países desenvolvidos, é uma crescente transferência das responsabilidades sobre coleta, transporte e destinação final dos governos para as cadeias produtivas. Os princípios da responsabilidade do produto estendida e do gerador/pagador refletem bem esta tendência.

As regulamentações governamentais freqüentemente têm impactos significativos para as atividades logísticas. Na Europa, por exemplo, é exigido que os fabricantes recolham os materiais de embalagens em seus clientes. Estas regulamentações criam redes logísticas inteiras ao redor dos fluxos reversos de embalagens usadas (DORNIER et al., 2000). Conforme Fleischmann (2001), a lei dos produtos de linha branca e marrom na Holanda obriga os fabricantes e importadores de eletrônicos a recolherem esses produtos, após o seu uso pelo consumidor, de acordo com percentagens mínimas de recolhimento. Uma legislação similar é aplicada na Noruega e está sendo discutida em vários países da Europa, nos Estados Unidos e no Brasil. Nesta mesma direção estão seguindo os países do leste asiático, incluindo Japão e Taiwan.

De acordo com Leite (1999), alguns estados nos Estados Unidos possuem legislação incentivando o uso de produtos fabricados com materiais reciclados através de sistemas tributários especiais. Ainda nos Estados Unidos, de acordo com Rogers (1998), o Conselho de Desenvolvimento Sustentável iniciou o estudo sobre o princípio da responsabilidade do produto estendida, focado no ciclo de vida total do produto, procurando formas de prevenir a poluição e reduzir o consumo de recursos naturais e energia. Em torno de 15 estados nos Estados Unidos possuem leis obrigando os revendedores a recolherem as baterias de veículos após o seu uso. Em 22 estados nos Estados Unidos existem depósitos remunerados para a disposição de pneus; muitos deles recebem motores e alguns deles recebem linha branca, sendo que neste país ainda não existe lei sobre o recolhimento de computadores após o uso.

No Japão, a partir do ano 2000, os fabricantes de produtos eletrônicos são obrigados a reciclar seus próprios produtos e a IBM do Japão iniciou um programa incentivando os consumidores a trocarem seus computadores antigos por um novo.

A legislação na Europa está mais avançada do que nos Estados Unidos, e como consequência a logística reversa se torna mais efetiva nessa região. Segundo Rogers (1998), a legislação europeia, principalmente na Alemanha, vem inspirando vários países na elaboração de suas próprias legislações relacionadas com o gerenciamento dos resíduos sólidos. A lei das embalagens na Alemanha, de 1991, obriga os fabricantes, revendedores e distribuidores a coletarem ou terceirizarem a coleta das embalagens geradas por essas empresas, fixando percentagens mínimas de recolhimento para cada tipo de embalagem. As leis de recolhimento mais restritivas da Europa são da Alemanha. A nova Lei Básica de Gerenciamento de Resíduos, formulada em 1993, tem o ambicioso objetivo de construir um circuito fechado para a cadeia de valor, onde toda a produção seria reusada ou reciclada com uma quantidade mínima sendo disposta em aterros sanitários.

Em diferentes países existem diferentes políticas, mas as principais áreas de preocupação recaem sobre cinco itens:

- Linha branca: refrigeradores, *freezers*, secadoras, lavadoras de louça e roupa e equipamentos de cozinha;
- Linha marrom: aparelhos de som, televisores, fotocopiadoras e máquinas registradoras;
- Computadores;

- Automóveis e;
- Baterias.

### 3.2 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL EM NÍVEL FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL

No Brasil, a primeira disposição governamental conhecida relacionada ao meio ambiente, é a Carta Régia de 27 de abril de 1442, que tratava da proteção da árvore no direito Português. Isto atendia aos interesses expansionistas de Portugal, vis-à-vis a exaustão da madeira na Europa e a necessidade de proteção desse recurso para a construção de navios para a esquadra portuguesa (INSTITUTO BRASILEIRO DE MEIO AMBIENTE, 2002). Até a década de 1950, não havia no Brasil uma preocupação com aspectos ambientais. As normas existentes limitavam-se aos aspectos relacionados com saneamento, à preservação e conservação do patrimônio natural, histórico e artístico, e à solução de problemas provocados por secas e enchentes.

Em julho de 1992, realiza-se no Rio de Janeiro a Conferência da ONU sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento conhecida como Rio-92, tendo como objetivos principais: identificar estratégias regionais e globais para ações referentes às principais questões ambientais, examinar a situação ambiental do mundo e as mudanças ocorridas depois da conferência de Estocolmo realizada em 1972, encaminhar estratégias de promoção de desenvolvimento sustentado e de eliminação da pobreza nos países em desenvolvimento. Como decorrência da Rio-92 foram criadas legislações e órgãos ambientais, que interagem de forma direta com as questões logísticas.

Em nível Federal tem-se a CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL (1991), que possui um capítulo especial tratando das questões ambientais. A Lei 6.803/80, que trata do zoneamento industrial, a Lei 6.938/81, que trata da Política Nacional do Meio Ambiente e a Lei 9.605/98, que trata dos crimes ambientais e das infrações administrativas contra o meio ambiente. Outra Lei importante do ponto de vista da geração de fluxos reversos é o CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR (1999), que atua nas garantias do pós-venda. Além destas Leis existem resoluções que são editadas pelo Conselho

Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, das quais destaca-se a resolução 237/97, que trata das atividades sujeitas ao licenciamento ambiental, as quais são apresentadas no quadro 5.

#### QUADRO 5 - Atividades sujeitas ao licenciamento ambiental

<p>Extração e Tratamento de Minerais          Indústria de Produtos Minerais Não Metálicos          Indústria Metalúrgica          Indústria Mecânica          Indústria de Material, Eletrônico e de Comunicação          Indústria de Material de Transporte          Indústria de Madeira          Indústria de Papel e Celulose          Indústria de Borracha          Indústria de Couro e Peles          Indústria Química          Indústria de Produtos de Materiais Plásticos          Indústria de Produtos Alimentares e de Bebidas          Indústria do Fumo          Indústrias Diversas (Produção de Concreto, Usina de Asfalto, Serviços de Galvanoplastia)          Obras Civas (Rodovias, Ferrovias, Hidrovias, Metropolitanos, Barragens, Diques, Canais para Drenagem e Retificação de Cursos d'água)          Serviços de Utilidade (Tratamento e Destinação Final de Resíduos)</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Resolução 237/97 do CONAMA.

Em nível estadual tem-se a Constituição do Estado do Paraná, que reproduz em nível estadual as disposições da Constituição Federal (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA, 1998). A Lei 12.493/99 estabelece os princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná. O quadro 6 mostra os principais impactos da Lei 12.493/99 sobre as atividades logísticas.

#### QUADRO 6 - Impactos da lei 12.493/99 sobre as atividades logísticas

<p><b>IMPACTOS DIRETOS</b>          Disciplina a importação, a exportação e o transporte de resíduos sólidos;          Responsabiliza pelo acondicionamento, armazenamento, coleta, tratamento e disposição final;          Responsabiliza pelo recolhimento e destinação final de pneus usados;          Responsabiliza pelo recebimento e destinação final de embalagens de agrotóxicos.</p>
<p><b>IMPACTOS INDIRETOS</b>          Adoção de processos que minimizem a geração de resíduos;          Adoção de reutilização e reciclagem de produtos;          Responsabilidade pelo passivo ambiental;          Penalidades impostas pela Legislação.</p>

Em nível municipal tem-se a Lei Orgânica do Município de Curitiba, promulgada em 5 de abril de 1990, que responsabiliza o município pela organização dos serviços públicos de interesse local devendo prover sobre a limpeza dos logradouros públicos, o transporte e o destino do lixo domiciliar e de outros resíduos (PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA,



### 3.3 A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A comissão especial para a Política Nacional de Resíduos Sólidos da Câmara dos Deputados vem trabalhando para a elaboração de uma Lei que consolide uma política objetivando instituir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, estabelecer diretrizes e normas para o gerenciamento dos diferentes tipos de resíduos sólidos e acrescentar artigos à Lei de Crimes Ambientais. O projeto está sendo discutido com vários setores da sociedade, visando colher subsídios para a sua elaboração. O relatório preliminar já se encontra na sua segunda versão e trata de aspectos importantes que afetam as tomadas de decisão em logística e, particularmente, em logística reversa (CONGRESSO NACIONAL, 2001).

O projeto define como resíduo sólido qualquer material, substância ou objeto descartado, resultante de atividades humanas e animais, ou decorrentes de fenômenos naturais, que se apresentem em estados sólido e semi-sólido, incluindo-se os particulados. Outra definição importante é a de gerenciamento de resíduos sólidos, como sendo o processo que compreende a segregação, a coleta, a manipulação, o acondicionamento, o transporte, o armazenamento, o transbordo, o tratamento, a reciclagem, a comercialização e a destinação final destes resíduos.

Os resíduos são divididos em duas classes. A primeira é a dos resíduos comuns, que são os resíduos urbanos, definidos como aqueles provenientes das residências ou de qualquer outra atividade que gere resíduos com características domiciliares e os provenientes da limpeza pública urbana. A segunda classe é a dos resíduos especiais, que são aqueles que necessitam de gerenciamento especial e são subdivididos em resíduos industriais, resíduos minerais, resíduos radioativos, resíduos da construção, resíduos do comércio e serviços, resíduos tecnológicos, resíduos de pneumáticos, resíduos de explosivos e armamentos, resíduos de embalagens, resíduos perigosos e lodo de esgoto.

No capítulo dos princípios, a política deverá atender os seguintes pontos principais, que influenciam diretamente as questões logísticas:

- a) A responsabilidade dos produtores e/ou importadores de matérias-primas, produtos intermediários ou acabados, transportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores e coletores dos resíduos em qualquer das fases do gerenciamento;

- b) A responsabilidade pós-consumo compartilhada entre o poder público, a cadeia produtiva e o consumidor, de maneira que este último cumpra as determinações de separação do lixo domiciliar e da adequada disponibilização para a coleta;
- c) O gerenciamento integrado dos resíduos sólidos, considerando sempre o ciclo total do produto e todas as etapas dos serviços, sem privilégio de quaisquer formas de tratamento;
- d) A limitação da disposição final dos resíduos sólidos, cujas características impossibilitam de forma técnica e economicamente viável a sua reciclagem, reuso, aplicação de outros métodos de redução ou utilização para a produção de energia;
- e) A limitação da fabricação e da importação de produtos cujas características dos resíduos impossibilitam, de forma técnica e economicamente viável a sua reciclagem, reuso, ou aplicação de outros métodos de redução ou utilização para a produção de energia;
- f) A precedência das soluções de reutilização sobre as atividades de redução;
- g) O princípio do poluidor pagador.

No capítulo dos objetivos da política destacam-se três que têm influência nas atividades de logística reversa: a formação de uma consciência comunitária sobre a importância da opção pelo consumo de produtos e serviços que não afrontem o meio ambiente, o estímulo e a valorização das atividades de coleta de resíduos sólidos reutilizáveis e recicláveis e; o fomento do reaproveitamento de resíduos como matérias-primas e fonte de energia.

Na seção III, dos resíduos especiais, do capítulo do gerenciamento dos resíduos sólidos, fica estabelecida a responsabilidade dos fabricantes ou importadores de produtos e serviços que gerem resíduos especiais pelo seu gerenciamento; estabelece também, a necessidade de inventário para o transporte deste tipo de resíduo e; define as condições em que os resíduos especiais podem ser equiparados aos resíduos comuns e podem ser coletados pelos serviços públicos mediante pagamento diferenciado de tarifa.

A subseção VII trata dos resíduos da construção civil, onde estes resíduos são classificados como os rejeitos oriundos das atividades de construção civil de um modo geral. A responsabilidade pelo gerenciamento dos resíduos é dos construtores e de qualquer pessoa que execute, direta ou indiretamente, construção ou reforma. Os geradores de resíduos de



construção civil, considerados geradores habituais, deverão, a critério da autoridade ambiental competente, elaborar e implementar plano de gerenciamento de resíduos especiais.

A subseção IX trata dos resíduos de produtos tecnológicos destinados ao uso pelo consumidor. Os fabricantes e importadores são responsáveis pelo gerenciamento dos resíduos tecnológicos, tais como: aparelhos eletro-eletrônicos, eletrodomésticos e seus componentes, veículos automotores, baterias, pilhas e outros acumuladores de energia, lâmpadas fluorescentes, de vapor de mercúrio ou sódio e luz mista, e equipamentos contendo bifenilas e policlorados.

O fabricante ou importador deverá estabelecer sistema de coleta dos resíduos após o uso pelo consumidor, sendo que os distribuidores e os pontos de venda ficam obrigados a recebê-los em depósito. O quadro 8 mostra os principais impactos sobre as atividades logísticas de cada tipo de resíduo especial.

QUADRO 8 - Impactos logísticos por tipo de resíduo

Atividades Logísticas	Industriais e Mineração	Serviços de Saúde	Estabelecimentos Rurais	Transportes, Portos, Aeronortes, etc.	Radioativos	Construção Civil	Comércio e Serviços	Produtos Tecnológicos	Pneumáticos	Explosivos e Armamentos.	Embalagens	Resíduos Perigosos	Lodo e Esgoto
Gerenciamento completo dos resíduos.	X	X	X	X		X	X	X	X			X	X
Buscar soluções para reutilização, reciclagem e redução da periculosidade.	X		X								X		
Acondicionamento, identificação e transporte.		X											
Manutenção de áreas para operação e armazenagem.		X		X									
Responsabilidade do fabricante ou importador pela coleta dos produtos vencidos, considerados impróprios e pós-consumo.		X						X	X		X	X	
Devolução dos resíduos pelos consumidores aos estabelecimentos onde foram adquiridos os produtos.			X								X		
Responsabilidade pela disposição final.	X					X		X	X		X		
Metas mínimas de reciclagem, retornabilidade e recolhimento.								X	X				

Sobre os métodos para a redução dos resíduos sólidos, são disciplinadas cinco categorias: a incineração de resíduos, o co-processamento, os aterros, a reciclagem e a compostagem.

A incineração é o processo físico-químico que emprega destruição térmica na oxidação à alta temperatura, para eliminar a fração orgânica e reduzir o volume de resíduo, com aproveitamento ou não da energia gerada. O co-processamento é o processo de destruição térmica de resíduos em fornos industriais, com aproveitamento energético e/ou aproveitamento dos resíduos como matérias-primas. O aterro é o local de disposição final dos resíduos no solo sem danos ou riscos à saúde pública, utilizando-se de princípios específicos de engenharia para depositar esses materiais. A reciclagem é o processo de transformação dos resíduos sólidos, o qual envolve a alteração das propriedades físicas e físico-químicas dos mesmos, tornando-os insumos destinados a processos produtivos. A compostagem é o processo de decomposição biológica da fração orgânica biodegradável de resíduos sólidos, efetuada por uma população diversificada de organismos em condições controladas. As unidades de compostagem produzem compostos orgânicos para aplicações agrícolas.

### 3.4 COMPATIBILIDADE ENTRE SUSTENTABILIDADE E COMPETITIVIDADE

A discussão sobre os problemas relativos ao meio ambiente e que se inserem no conceito de sustentabilidade está na ordem do dia e parece tomar corpo de uma forma quase irreversível neste início de século. A questão vem recebendo um enfoque holístico, no sentido de sintetizar unidades em um todo organizado, sendo isso expresso pelo tratamento multidisciplinar e pela contribuição dos diversos setores da sociedade. Esta atitude se contrapõe às práticas do passado, que consistiam em atitudes isoladas e desarticuladas e que por não estarem inseridas em uma política global, salvo raras exceções, não se sustentavam ao longo do tempo.

Para Porter (1986), embora as empresas da década de 1990 possam parecer muito diferentes das empresas das décadas de 1980 ou de 1970, a base de rentabilidade superior dentro de um setor continua sendo os custos relativos e a diferenciação. Pode-se acreditar que o encurtamento dos ciclos de produção ou a qualidade total sejam os segredos da competição, mas o teste final se dá sob a forma pela qual essas práticas afetam a rivalidade do setor, a posição de custo relativo ou sua capacidade de se diferenciar e cobrar preços maiores. Porter (1986) afirma que a essência de formulação de uma estratégia competitiva é relacionar uma companhia ao seu meio ambiente. Ele reconhece que o conceito de meio ambiente pode ser

muito amplo, abrangendo forças sociais e econômicas, mas para ele o aspecto principal do meio ambiente empresarial é a indústria ou as indústrias em que ela compete.

Segundo Capra (1982), a abordagem competitiva e auto-afirmativa da atividade econômica é parte do legado do individualismo atomístico de John Locke. Na América, o individualismo atomístico era vital para o pequeno grupo dos primeiros colonos e exploradores, mas agora se tornou prejudicial, incapaz de lidar com a intrincada teia de relações sociais e ecológicas características das economias industriais maduras.

Quando o todo é identificado como a soma de suas partes, ignora-se o fato de que o resultado desta soma pode ser menor ou maior, dependendo da qualidade da interação entre estas partes. Tem-se uma visão equivocada do ambiente competitivo, que vem sustentando o entrechoque das forças econômicas, dilacerando o tecido social e arruinando o meio ambiente natural. Para sobreviverem no jogo competitivo, os agentes devem adotar estratégias pelas quais o sucesso de um depende do sucesso dos outros. Ao se relacionar a competitividade com a sustentabilidade, não se pode imaginar o crescimento econômico e o meio ambiente em campos opostos, ou seja, o progresso econômico acontecendo às expensas da qualidade ambiental. Para Dittmann (1998), economia e ecologia não se contradizem reciprocamente e preparativos adequados na proteção ambiental, em todas as áreas relevantes de uma empresa, asseguram uma posição em meio à concorrência e limitam o potencial de danos que podem advir da deterioração do meio ambiente.

As novas tecnologias passaram a dar às regiões a capacidade de compensarem fatores escassos, por meio de novos produtos e processos (SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL, 2001). Desta forma, o acesso a formas avançadas de tecnologia está se tornando mais importante que outros fatores de produção. Para se ter um desenvolvimento econômico sustentável, outros fatores de produção como capital humano, ciência e tecnologia, pesquisa e desenvolvimento, conhecimento e informação, arranjo e informação e meio ambiente devem ser valorizados. A disponibilização desses fatores de produção implica no desenvolvimento de um ambiente com qualidade, que acaba se tornando um pré-requisito para a atração desses talentos.

Os conceitos de sustentabilidade e competitividade remetem, aparentemente, a relações contraditórias. O primeiro conceito evoca a idéia de harmonia, de estabilidade e de

cooperação; já o segundo, remete à idéia de um choque constante, e deste choque surge a criação e o novo. Esta idéia vem da Teoria Darwiniana para a qual a seleção competitiva é que determina a evolução natural. Pelo princípio Darwiniano, a evolução da vida e o progresso econômico são um processo evolutivo gerado pela permanente tensão ditada pela competição. Quando se iniciaram os estudos dos sistemas não-lineares complexos, como a sociedade, as cidades e as regiões, verificou-se que um novo fator, o da auto-organização cooperativa, desenvolvia novas formas de relação, e essas então eram submetidas à seleção competitiva (CAPRA, 1982).

Os efeitos da globalização e a organização da sociedade em rede geram novos parâmetros de avaliação para uma região se qualificar em termos de opção localizacional. Estes parâmetros podem ser definidos em quatro itens, quais sejam (SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL, 2001):

- a) A eficiência do espaço medida pela disponibilidade de serviços básicos necessários ao seu funcionamento, incluindo-se aí as questões relativas ao ambiente natural e social;
- b) A qualificação da logística, condição essencial para o processo de integração global, incluindo a infra-estrutura de telemática, a acessibilidade e eficiência no transporte de mercadorias e pessoas e a integração física na rede regional de cidades;
- c) A qualificação dos recursos humanos, estendida à população em geral, parâmetro de vital importância, que permite maior flexibilidade na localização das atividades econômicas;
- d) O papel do poder político sob duas vertentes. A primeira como parceiro dos agentes econômicos na atração de novos investimentos. A segunda vertente como agente promotor de igualdade de oportunidades de inclusão social, através de políticas que tenham o objetivo de minimizar e reverter as ameaças da globalização para as populações menos preparadas para enfrentar o ambiente competitivo.

O tema da competitividade tende cada vez mais a deixar de ser uma preocupação restrita apenas ao setor privado, passando a integrar a agenda governamental e, mais do que isso, devendo ser componente estratégico de um projeto articulado com toda a sociedade, envolvendo o poder público, as empresas e, de uma forma geral, todos os setores atuantes da sociedade civil.

### 3.5 LOGÍSTICA REVERSA COMO FERRAMENTA PARA A SUSTENTABILIDADE

As três condições para o gerenciamento de resíduos sólidos dentro de uma perspectiva de desenvolvimento sustentável, segundo Macdougall (2000), são: que ele seja ambientalmente eficiente, socialmente aceitável e economicamente viável. Ambientalmente eficiente porque requer que os danos causados ao meio ambiente sejam reduzidos em termos de consumo de recursos, consumo de energia e emissão de poluentes para o ar, a água e a terra. Economicamente viável porque requer que os custos deste sistema de gerenciamento sejam assumidos por todos os setores sociais, incluindo as famílias, o comércio, a indústria, as instituições e o governo. Finalmente, deve ser socialmente aceitável porque requer que o sistema de gerenciamento vá ao encontro das necessidades da comunidade local e reflita os valores e prioridades dessa comunidade.

Para o INTERNATIONAL WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS - REVLOG (2000), atualmente os consumidores e as autoridades esperam que os industriais reduzam a geração de lixo com seus produtos. Por outro lado, o gerenciamento de resíduos vem recebendo crescente atenção sendo que, de acordo com as novas legislações, principalmente na Europa, a ênfase tem sido dada na divisão das responsabilidades de recolhimento devido aos altos custos ambientais e de disposição. As empresas vêm assumindo mais e mais parcelas de responsabilidade no recolhimento, desmanche e recuperação de produtos usados, materiais e embalagens.

A logística reversa refere-se a todas as atividades relacionadas com coleta, disposição e processos de reutilização e recuperação de produtos usados, peças e materiais, com o objetivo de assegurar a sustentabilidade, bem como a sua destinação de forma não agressiva ao meio ambiente (STOCK, 1992). De acordo com Calderoni (1997), o setor privado é o agente principal no processo de reciclagem no Brasil, comandado pela indústria e envolvendo diversos canais como as coletas seletivas públicas, as usinas de reciclagem públicas e privadas, os sucateiros e os catadores.

Sobre a estrutura dos canais reversos existentes no Brasil, de uma forma geral, verifica-se a existência de uma boa estrutura na área de metais ferrosos e não ferrosos, que é um canal quase que exclusivamente empresarial. Pode-se identificar um canal misto com

participação empresarial e governamental onde entram plásticos, papel e vidro, que está ligado basicamente à coleta de resíduos domiciliares. As prefeituras começam a atuar de maneira mais efetiva e disseminada na coleta seletiva e na compostagem, e o Governo Federal e alguns estados começam a preparar políticas de gestão de resíduos sólidos acompanhadas de legislação específica.

Segundo Rogers (1998), as atividades típicas da logística reversa estão ligadas às ações que uma companhia desenvolve para coletar os produtos que, por algum motivo, precisam retornar pelo canal logístico. Quando um produto retorna para a empresa, esta tem várias possibilidades de destinação deste produto. O quadro 9 mostra algumas destas possibilidades.

QUADRO 9 - Atividades comuns da logística reversa

Tipo de Material	Atividade da Logística Reversa
Produtos	Retorno para o fornecedor Revenda Venda via <i>outlet</i> Recuperação Recondicionamento Reforma Remanufatura Aproveitamento de materiais Reciclagem Aterro sanitário
Embalagens	Reuso Reforma Aproveitamento de materiais Reciclagem Recuperação

Observando as atividades desempenhadas pela logística reversa, pode-se verificar uma conexão direta com os conceitos de sustentabilidade, principalmente com relação aos problemas de equilíbrio do meio ambiente e a contribuição destas atividades para a redução do consumo de matérias-primas. O quadro 10 apresenta as atribuições relacionadas à logística reversa, os seus desdobramentos e as conseqüências para a sustentabilidade.

QUADRO 10 - Conseqüências das atividades de logística reversa para a sustentabilidade

Atribuição	Desdobramento	Conseqüência
Localização de Instalações	Definir número de plantas, tamanho e localização.	Preservação de ecossistemas.
Transportes	Seleção de modais; Definição de rotas; Coleta e seleção.	Redução de emissões poluentes; Reaproveitamento de materiais; Correta destinação de resíduos.
Nível de Serviço ao Cliente	Coleta de embalagens; Rastreamento de produtos; Recolhimento de produtos.	Redução de riscos; Reaproveitamento de resíduos.
Armazenagem	Manuseio de materiais; <i>Lay-out</i> .	Estocagem de produtos perigosos; Disponibilização de produtos.
Compras	Seleção de fornecedores.	Estabelecimento da cadeia secundária; Possibilidade de fontes de fornecimento.

### 3.6 AS EMPRESAS E A NOVA VISÃO COMPETITIVA

De acordo com Goergen (2000), as empresas identificam nas questões ambientais uma das mais importantes formas de sucesso para a continuidade da aceitação de seus produtos nos mercados interno e externo. O dilema da empresa moderna é o de adaptar-se ou correr o risco de perder espaços arduamente conquistados, sendo imprescindível aplicar princípios de gerenciamento ambiental condizentes com o desenvolvimento sustentável.

Dittmann (1998) fornece alguns dados da indústria alemã sobre os investimentos em proteção ambiental. A indústria química pagava, diariamente, 17 milhões de marcos alemães, em 1990, para fazer frente às tarefas de proteção ambiental. Esta indústria gasta 15% de seus investimentos no país para financiar instalações de proteção ambiental e no período de 1974 a 1992 gastou 17,7 bilhões de marcos alemães nestas instalações. O setor de metais não-ferrosos investiu, em 1990, 17% do total das inversões em proteção ambiental, sendo que a maior usina de cobre da Alemanha destinou, em cinco anos, 34% de todos os seus investimentos à proteção ambiental. No setor da indústria de beneficiamento de têxteis, 9,2% do faturamento é gasto na proteção ambiental, sendo que estas empresas são recordistas mundiais quanto aos gastos em proteção de recursos hídricos. Na indústria de fundição, que é um ramo clássico de produção industrial de pequeno porte, os custos de proteção ambiental representam uma percentagem de 3,3% do faturamento. Na Alemanha, em 1990, a infraestrutura de proteção ambiental nas empresas e no setor público representava um ativo imobilizado instalado de 272 bilhões de marcos alemães.

Nos Estados Unidos, de acordo com Rogers (1998), muitas companhias primeiro se voltaram para a logística reversa em função dos problemas legais. Hoje, algumas estão preocupadas com a logística reversa somente para tratar do problema dos produtos a serem retornados para os seus fornecedores. No entanto, no futuro, as considerações ambientais terão um grande impacto em muitas decisões logísticas. Considerações como: o persistente aumento dos custos de aterros sanitários nos últimos anos e a expectativa de que continuem nesta direção; muitos produtos não podem ser depositados em aterros sanitários em função das regulamentações governamentais; problemas econômicos e ambientais estão forçando as empresas ao uso de mais embalagens reutilizáveis (motivadas por restrições ambientais, as

empresas são forçadas a melhorarem os materiais de suas embalagens) e muitos produtores são obrigados pela lei a recolherem os produtos usados após o final de sua vida útil.

A CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA – CNI (1998), no seu documento sobre competitividade e crescimento no Brasil, no capítulo da política para a elevação da competitividade, ressalta os seguintes pontos sobre o meio ambiente: que a indústria vem crescentemente adotando práticas que conciliam a atividade produtiva com o meio ambiente; que a principal estratégia a ser amplamente difundida para toda a indústria é a busca da ecoeficiência; que o conceito de ecoeficiência pode ser sintetizado pela expressão “produzir com menos insumos, menores custos e menos poluição”; que a ecoeficiência para a empresa se traduz na redução dos desperdícios, diminuição de custos pelo uso racional de energia, matérias-primas e outros insumos; e que o meio ambiente é beneficiado pelo menor uso de recursos naturais e pela diminuição dos impactos causados pelos elementos poluidores.

As principais ações definidas pela CNI, com o objetivo de proporcionarem um ambiente favorável e indutor da maior utilização da ecoeficiência, são: aprimorar a legislação ambiental, dar prioridade aos instrumentos voluntários, utilizar instrumentos econômicos que estimulem as práticas ambientais voltadas para a ecoeficiência, promover o desenvolvimento e a disseminação de tecnologia de produção mais limpa e adequar a infraestrutura do Sistema Nacional de Meio Ambiente – SISNAMA.

A primeira ação, que trata do aprimoramento da legislação ambiental, refere-se aos esforços para consolidação da legislação brasileira compatibilizada com o conceito de ecoeficiência, com a definição clara das competências dos diversos órgãos de forma a atenuar os conflitos de interesse e reduzir os custos industriais decorrentes. O segundo item, que se refere à prioridade aos instrumentos voluntários, trata das medidas para se evitar que instrumentos como o sistema de gerenciamento ambiental, auditoria, rotulagem e codificação venham a se tornar obrigatórios, distorcendo a própria filosofia dos mesmos.

Na utilização de instrumentos econômicos para estimular as práticas ambientais, um dos itens abordados é a utilização de tratamento diferenciado no financiamento e na tributação, para situações de conciliação do interesse ambiental e social com o econômico, como são os casos de reposição florestal de longo ciclo de maturação, reciclagem e



reutilização de materiais, recuperação de passivos ambientais e desenvolvimento e utilização de tecnologias de produção mais limpas.

No tópico de educação ambiental defende-se um amplo programa nacional de educação ambiental com o objetivo de que os indivíduos, as organizações e a sociedade tenham consciência do seu meio ambiente e adquiram conhecimentos, valores, habilidades, experiências e determinação que os tornem aptos a agir, alterar padrões de consumo e solucionar problemas ambientais presentes e futuros.

Na promoção do desenvolvimento e disseminação de tecnologias de produção mais limpas destaca-se o aproveitamento dos programas existentes e a criação de outros instrumentos, que facilitem o acesso por parte das empresas a centros tecnológicos e universidades.

Finalmente, o ponto que trata de adequar a infra-estrutura do SISNAMA, fala da recuperação da capacidade do Sistema para executar a sua missão de orientação e apoio à sociedade, além do papel meramente fiscalizador e punitivo. De acordo com Vilhena (2000), a indústria moderna assume que é sua responsabilidade agir para minimizar e prevenir impactos ambientais, incorporando esta preocupação no seu planejamento estratégico.

A figura 8 ilustra o retorno do investimento da Bahia Sul Celulose na implantação de um sistema de gestão ambiental – SGA.

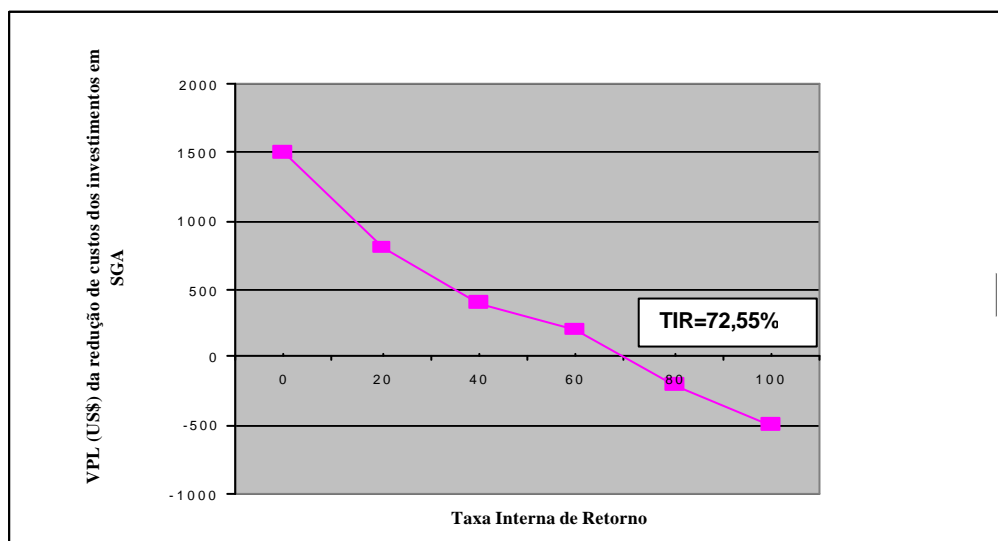


FIGURA 8 - Taxa interna de retorno do investimento em SGA – TIR

A análise foi feita a partir da redução de custos, a valor presente líquido (VPL), proporcionada pelos investimentos em SGA a um custo hipotético de oportunidade, tomando-se como base a taxa de juros de mercado financeiro, definida em torno de 20% ao ano.

As técnicas de produção que não levam em conta os processos ambientais, além de gerarem resíduos e serem fontes de poluição, acabam se tornando um centro de despesas em função das exigências legais com relação à disposição final e recolhimento de produtos. Os processos ambientais seguros estão relacionados com economia de energia, com economia de matérias-primas, e com redução de custos com a destinação de resíduos no processo de produção e no recolhimento dos produtos de pós-consumo.

A tabela 1 ilustra o fluxo de caixa do investimento da Bahia Sul Celulose. Por este fluxo pode-se observar que, após o primeiro ano de implantação, a empresa obteve praticamente o retorno do investimento e, após o segundo ano, as reduções de custo foram significativas em termos de economia de energia, matérias-primas e água, entre outros.

TABELA 1 – Fluxo de caixa do investimento

<b>Ano</b>	<b>Investimento (US\$)</b>	<b>Redução de Custo (US\$)</b>
1994	997.394	-o-
1995	211.000	850.000
1996	257.000	1.496.000
1997	333.000	826.000

Fonte: Vilhena (2000).

No Brasil várias empresas têm trilhado este caminho, e pode-se citar o caso da Companhia de Bebidas da América – AMBEV, que tem um trabalho voltado para o tratamento de seus efluentes industriais, com uma rede de 41 estações de tratamento com capacidade de 230 mil metros cúbicos por dia e com um investimento de 5,2 milhões de reais por ano para a disposição dos resíduos sólidos.

A Coca-Cola tem um projeto destinado a combater o desperdício de combustível, que foi lançado em 1996, e consiste no controle das emissões veiculares pelos responsáveis de fábrica e pelos coordenadores de meio ambiente das fábricas. Com o objetivo de economizar energia e estabelecer melhorias no seu processo de produção a empresa estabeleceu uma

parceria com o Programa de Economia de Energia do Governo Federal – PROCEL, a partir de 1997. Através desta parceria foram efetuados projetos e diagnósticos energéticos em três fábricas de diferentes regiões do país. A figura 9 mostra a economia de energia das fábricas 1, 2 e 3 da Coca-Cola, no período de 1997 a 2000.

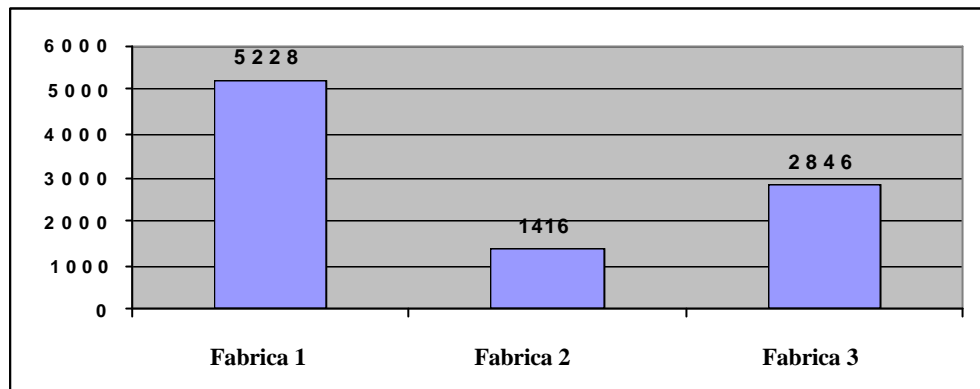


FIGURA 9 - Economia de energia em MWh

A fábrica 1 teve uma economia de 5.228 MWh, equivalente a 16% do consumo, a fábrica 2 uma economia de 1.416 MWh, equivalente a 13% do consumo, e a fábrica 3 uma economia de 2.846 MWh, equivalente a 27% do consumo, sempre no período de 1997 a 2000.

Outras empresas que podem ser citadas como exemplo na implantação desse novo conceito são a Danone S/A, a Fleischmann Royal Nabisco Ltda, a Gessy Lever, a Mercedes Benz do Brasil S/A, a Nestlé, a Souza Cruz e a Tetra Pak Ltda. Os resultados mais significativos são obtidos na economia de energia, redução das emissões, redução do consumo de água, redução da geração de resíduos sólidos e reaproveitamento de resíduos.

Se numa primeira visão o conceito de competitividade traz em si mesmo a idéia de vencedores e vencidos, a evolução da discussão sobre o tema evidencia que o desenvolvimento sustentável real só é possível num contexto em que todos ganham. O desenvolvimento econômico não pode ser dissociado dos problemas de governabilidade, sociais, ecológicos e de melhoria das condições de vida. Neste contexto, a elaboração de uma política que trate do problema dos resíduos de construção e demolição pode contribuir para um desenvolvimento da indústria da construção civil, fundamentado em princípios da sustentabilidade.

## **4 O PROBLEMA DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL**

O crescimento das cidades, o processo de urbanização, o fenômeno da conurbação e o crescimento da população aumentam a demanda por novas habitações, criam a necessidade de construção de novos equipamentos de serviço, aumentam a necessidade de novas atividades comerciais e industriais e geram demandas por implantação de infra-estrutura urbana. Este movimento é acompanhado pela execução de obras de edificações, viárias, de saneamento e de infra-estrutura que, em geral, acabam se transformando em fontes de geração de resíduos sólidos para as cidades.

De acordo com Ângulo (2001), com a intensa industrialização, o advento de novas tecnologias, o crescimento populacional e o conseqüente aumento de pessoas em centros urbanos, os resíduos vêm se tornando um problema oneroso e complexo, tendo em vista os volumes e massas geradas, principalmente após 1980.

Ao longo do tempo, deu-se pouca importância aos impactos ambientais causados pelos resíduos da construção civil, mas devido ao crescimento desses volumes e ao agravamento da situação, mais e mais a sociedade se conscientiza da necessidade de tomar medidas que reduzam ou solucionem o problema. Os principais problemas relacionados com os resíduos de construção e demolição – RCD, são: os lixões, que são fonte de proliferação de animais indesejados; o abandono destes materiais em locais impróprios, na maioria dos casos clandestinos e; a disposição de RCD às margens ou em leitos de corpos d'água, causando assoreamento, poluição da água e enchentes.

### **4.1 APROVEITAMENTO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS**

A reciclagem de RCD como material de construção teve seu início na Europa após a II Guerra Mundial (ÂNGULO, 2001). Segundo Lima (1999), foram as grandes catástrofes como guerras e terremotos que impulsionaram a prática da reciclagem em locais

com grandes volumes de resíduos e grandes carências e urgências de construção de edificações e infra-estrutura. Como exemplo existe a aplicação de RCD na reconstrução de cidades como Londres, Berlim e Varsóvia, que foram destruídas durante a II Guerra Mundial.

As restrições à utilização de reciclados de RCD variam de país para país. Na Alemanha, por exemplo, hoje não é permitido o uso de reciclado em concretos novos, embora após a segunda guerra tenham sido produzidos concretos com massa específica entre 1.600 e 2.100 kg/m<sup>3</sup> e resistência em torno de 30 MPa. Existem experiências de utilização deste material em países como Bélgica, Dinamarca, Estados Unidos, Japão e Rússia. Na Holanda foram desenvolvidas normas para aplicação de reciclados em concretos simples, armado e protendido; o uso que se faz de reciclado neste país revela um grau de conhecimento avançado sobre as suas propriedades e dos concretos preparados com este material (LIMA, 1999).

No Brasil, segundo Miranda (2000), a reciclagem do entulho como material de construção civil encontra-se muito atrasada em relação aos países europeus, apesar da escassez de agregados nas regiões metropolitanas. De acordo com Ângulo (2001), embora se observe no mercado a movimentação de empresas interessadas no negócio de RCD, as experiências brasileiras estão limitadas a ações de iniciativa governamental. A reciclagem de resíduos de construção em escala significativa é experiência recente no Brasil, iniciada na década de 1980, com o uso de pequenos moinhos em canteiros de obras, através dos quais se produzem reciclados para a produção de argamassas (LIMA, 1999).

As perdas de materiais na construção têm basicamente duas origens. A primeira refere-se às perdas que são incorporadas à construção por deficiências do processo construtivo (espessura do emboço, espessura de contra-piso, etc.) e a segunda é representada pela produção de entulhos originados pelas mesmas deficiências (caliças, sobras de concreto, etc.).

Sobre a construção civil como fonte de geração de resíduos pode-se afirmar que existe um ciclo de geração que se inicia na execução da obra, continua com as manutenções durante a vida útil da construção, nas reformas e adequações de uso e termina na fase de desocupação e demolição (OLIVEIRA, 2001). As obras de construção civil, de forma geral, são projetadas para uma vida útil de cinquenta anos e, após esse período, essas edificações normalmente são submetidas a algum tipo de intervenção com a geração de grande quantidade de resíduos.

Outra fonte de geração de resíduos que tem aplicação na construção civil é a indústria siderúrgica. Essa indústria gera as escórias de alto forno, que em grande parte são consumidas pela indústria de cimento, mas uma parte deste material ainda é destinada a aterros. Existem utilizações para esse material que ainda não foram desenvolvidas no Brasil, como os agregados leves de escória.

Além das escórias de alto forno, a indústria siderúrgica gera a escória de aciaria, que vem sendo utilizada como lastro ferroviário. Este material não possui uma utilização mais nobre devido a sua expansibilidade e em função da falta de controle adequado e do desenvolvimento de critérios técnicos para a análise deste problema.

O setor termoelétrico e as indústrias que fazem uso da queima de carvão geram cinzas volantes, sendo que este material é aproveitado pela indústria cimenteira na produção de cimento Portland. Outra possibilidade de utilização deste material é como adição mineral em concreto para aumento da durabilidade, redução de fissuração térmica e o aumento da resistência.

De acordo com Vasquez (2001), as principais aplicações das escórias e das cinzas volantes na indústria da construção na Europa estão ligadas à indústria cimenteira, à execução de concretos e às obras de infra-estrutura. O quadro 11 mostra a aplicação destes resíduos na Europa.

QUADRO 11 - Aplicação de escórias e cinzas volantes na Europa

Material Secundário	Aplicação			
	Diques	Sub-bases	Concreto	Outros
Escórias de incineração de resíduos sólidos urbanos.	X	X		
Cinzas volantes de centrais térmicas.			X	Indústria de Cimento
Escórias de obtenção de fósforo.		X	X	
Escórias de alto forno.		X		Indústria de Cimento

Fonte: Vasquez (2001).

De acordo com Ângulo (2001), existe uma quantidade de resíduos com potencial de emprego na construção civil e que ainda são ignorados pelo mercado e até pelos pesquisadores brasileiros. São citados os resíduos derivados da incineração de lixo urbano, as

escórias, o lodo de esgoto e também a reciclagem do fosfogesso, que é um resíduo da produção de adubos.

O foco deste estudo de caso são os resíduos originados na indústria da construção civil, especialmente os provenientes das construções, reformas e demolições. Este material normalmente é coletado por empresas especializadas, através de equipamentos especiais, as quais possuem locais para a sua destinação final. O grande enfoque, em termos de logística reversa que vem sendo dado para estes materiais, é o da reciclagem, uma vez que esta prática se mostra importante para a sustentabilidade da indústria, através da redução dos impactos ambientais e pela redução de custos.

Segundo Vazquez (2001), o conceito de reciclagem pode ser classificado de acordo com as seguintes definições:

- Reciclagem primária: É aquela em que o produto original é utilizado diretamente na mesma construção. Como exemplo, tem-se a fresagem, reciclagem e aplicação de concreto asfáltico em revestimentos;
- Reciclagem secundária: É aquela que consiste na introdução dos materiais em um ciclo com o propósito de utilização distinto do original. Um exemplo disso seria a utilização de um pavimento de concreto reciclado como sub-base para um outro pavimento;
- Reciclagem terciária: É a decomposição de um material para obtenção de um outro material. Como exemplo tem-se a despolimerização de um plástico para obtenção de outro tipo de plástico;
- Reciclagem quaternária: É a conversão de materiais usados em energia, que não é exatamente uma reciclagem.

O agregado obtido através da reciclagem dos resíduos de construção e demolição é aplicado em argamassas para revestimento e assentamento, em obras de pavimentação, em obras de drenagem, na produção de concretos de baixa resistência e na fabricação de pré-moldados como blocos, meio-fio e lajotas. A legislação existente responsabiliza os construtores e qualquer pessoa que execute direta ou indiretamente as atividades de construção civil, de uma forma geral, pela coleta, transporte e destinação final deste tipo de resíduo.

Em Curitiba, para os transportadores de resíduos de construção e demolição, são normatizados os tipos e tamanhos de veículos a serem utilizados, as restrições de horários, os tipos de resíduos que podem ser transportados e as formas de disposição das caçambas sobre o passeio. Os locais de disposição dos resíduos devem ser previamente autorizados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente.

#### 4.2 PERFIL DOS RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO - RCD

A composição dos RCD depende de vários fatores, como a origem do material, o tipo de obra e o tipo de construção. Quando se trabalha com grandes volumes vindos de diversas fontes é possível ter um perfil médio destes resíduos. Os RCD podem ser divididos em três categorias. Na primeira categoria tem-se a fração reutilizável, composta pelos elementos de construção que podem ser transformados diretamente em sua forma original e usados em sua função original (como exemplo, tem-se as portas, janelas e as grades). Na segunda categoria encontra-se a fração reciclável onde se enquadram os materiais que não retêm nem a sua forma e nem a sua função original (como exemplo tem-se os componentes minerais). Na terceira categoria encontra-se a fração descartada que consiste em elementos não desejados na reciclagem, ou elementos não minerais, como os elementos poluentes ou expansivos (MIRANDA, 2000).

Como não existe nenhum estudo mais abrangente para definir um perfil médio para os RCD, procurou-se identificar as várias composições na literatura estudada, a fim de encontrar um perfil médio e compará-lo com os dados do município de Curitiba. De acordo com Xavier (2001), a composição dos entulhos inspecionados em obras de Florianópolis apresenta o seguinte perfil: 23% de solo, galhos de árvore e lixo; 28% de papel, plástico, latas, aço e madeira; e 49% de entulho reciclável para a construção. Segundo Ferraz et al. (2001), os resíduos coletados pelas empresas de transporte de entulho, que chegam na estação de classificação e transbordo da Freguesia do Ó, em São Paulo, compõem-se dos seguintes materiais: 65% de materiais inertes, 13% de madeira, 8% de plásticos, e 14% de outros produtos. Classificados como inertes, encontram-se os resíduos de materiais de construção como argamassas, concretos, tijolos, telhas e fração de solos provenientes de escavação.



Em Lima (1999) encontram-se três referências a perfis de resíduos de construção e demolição. A primeira refere-se a uma pesquisa realizada em quatro edifícios de Guaratinguetá – SP, até a fase de acabamento, e apresentou o seguinte perfil: argamassas 41%, outros 30%, tijolos cerâmicos 22% e concreto 7%. Na segunda é mostrado o perfil de inertes de Itatinga, que tem outra linha de caracterização apresentando um componente chamado mistura de solo, areia e pedra, que representa 82,5% do volume. Dentro deste componente seria necessário ter-se, em separado, as partes referentes à areia e à pedra, que são reaproveitáveis, da parte de solo que é descartada. A terceira referência é sobre a composição média de resíduos no município de São Carlos – SP que, ao contrário das outras, acaba apresentando um perfil de resíduo bastante limpo, com praticamente 100% do RCD reaproveitável.

No município de Curitiba, em função da legislação que regulamenta a atividade dos caçambeiros, existe o Manifesto de Transporte de Resíduos – MTR. O MTR deve ser entregue à Secretaria Municipal do Meio Ambiente, sendo um MTR para cada carga de resíduo transportado. No manifesto, os resíduos transportados são classificados em terra, calça e entulho, não existindo uma diretriz clara para a caracterização de cada um desses tipos de resíduos. Os dados encontrados, como pode ser observado acima, não apresentam uma unidade metodológica que nos permite definir um perfil médio para os RCD.

#### 4.3 QUANTIDADES POTENCIAIS DE GERAÇÃO DE RESÍDUOS DE CONSTRUÇÃO E DEMOLIÇÃO

Existem muitos dados referentes à geração de resíduos de construção e demolição – RCD que, no entanto, padecem do mesmo problema das pesquisas relacionadas ao perfil dos resíduos sólidos. Em uma estimativa de Giasante (2001) para o município de São Paulo, essa quantidade, fica em torno de 1.000 a 2.400 toneladas por dia; o mesmo autor apresenta dados da agência ambiental holandesa que indicam uma geração de 2.500 Kg de RCD por ano por trabalhador. Ainda segundo Giasante (2001), pode-se admitir que cada metro quadrado construído gera 0,10 m<sup>3</sup> de resíduos.

Em Xavier (2001) encontram-se estimativas de geração de resíduos em alguns municípios brasileiros, mostradas na tabela 2.

TABELA 2 - Geração de resíduos por habitante

Município <sup>(1)</sup>	População <sup>(1)</sup>	Estimativa (T/dia) – <sup>(1)</sup>	Total (Kg/habxdia) – <sup>(1)</sup>	Participação do RCD no Total do Lixo – <sup>(2)</sup>
Santo André (SP)	625.564	1013	1,61	62%
São José do Rio Preto - SP	323.627	687	2,12	60%
São José dos Campos – SP	486.467	733	1,51	68%
Ribeirão Preto – SP	456.252	1043	2.29	67%
Jundiaí – SP	253.373	712	2,43	64%
Vitória da Conquista – BA	242.155	310	1,28	-
Campinas – SP	850.000	1258	1,48	64%
Salvador – BA	2.211.539	1453	0,66	-
Florianópolis - SC	285.281	636	2,23	-

Fonte: Xavier (2001) <sup>(1)</sup> e Lima (1999) <sup>(2)</sup>.

Em Lima (1999) encontram-se dados de geração de RCD em toneladas por habitante por ano em alguns municípios de São Paulo, que são apresentados na tabela 3.

TABELA 3 - Geração de resíduos em alguns municípios de São Paulo

Município	Ton/hab.ano <sup>(1)</sup>	Kg/hab.dia <sup>(2)</sup>
Ribeirão Preto	0,52	1,44
São José dos Campos	0,43	1,19
Jundiaí	0,63	1,75
São José do Rio Preto	0,60	1,66
Santo André	0,55	1,52

Fonte: Lima (1999) <sup>(1)</sup>

Obs.: Considerado 360 dias <sup>(2)</sup>

Em Miranda (2000) encontra-se uma estimativa de geração de resíduos de 0,52 tonelada por habitante por ano, o que representa 1,44 quilograma por habitante por dia, se forem considerados 360 dias no ano.

Como base para as estimativas de volumes deste trabalho utilizar-se-á os resultados obtidos por Andrade et al. (2001), que foram baseados em uma pesquisa coordenada pelo Departamento de Construção Civil da Escola Politécnica da USP, realizada por um grupo de dezesseis universidades envolvendo quase uma centena de canteiros de obras em diversos

estados brasileiros. A tabela 4 apresenta a estimativa de entulho por unidade de serviço, sendo que dois conceitos são importantes para a compreensão da tabela. O primeiro é o de unidade de medida (um), que é a unidade em que se mede o material utilizado. O segundo é o de unidade de serviço (us), que é a unidade de medida da atividade em que o material é utilizado.

TABELA 4 - Estimativa de entulho por unidade de serviço

Material	um	us	Real (um/us)	Referência (um/us)	Perda Global (um/us)	Entulho(%) (um/us)	Entulho (um/us)
Concreto Usinado	m3	m3	1,09000	1,00000	0,09000	15%	0,0135
Aço	kg	kg	1,11000	1,00000	0,11000	70%	0,077
Blocos	m2	m2	1,13000	1,00000	0,13000	100%	0,13
Argamassa - Alvenaria	m3	m2	0,01500	0,00500	0,01000	16%	0,0016
Argamassa - Parede	m3	m2	0,03130	0,02000	0,01130	19%	0,002147
Argamassa - Fachada	m3	m2	0,03700	0,03000	0,00700	18%	0,00126
Argamassa - Contrapiso	m3	m2	0,03100	0,02000	0,01100	5%	0,00055
Cerâmicas - Fachadas	m2	m2	1,13000	1,00000	0,13000	100%	0,13
Cerâmicas - Paredes	m2	m2	1,19000	1,00000	0,19000	100%	0,19
Cerâmicas - Piso	m2	m2	1,13000	1,00000	0,13000	100%	0,13
Gesso - Paredes	m3	m2	0,00650	0,00500	0,00150	50%	0,00075
Gesso - Teto	m3	m2	0,00650	0,00500	0,00150	50%	0,00075

Fonte: Andrade et. al.(2001).

Ainda sobre a tabela 4, a coluna de consumo real representa os dados obtidos pela pesquisa. Para a argamassa de assentamento foi adotado um consumo de referência de 5 litros por metro quadrado de alvenaria executada. Para argamassas de revestimento de parede e teto, de fachada e de contrapiso adotou-se 2 cm para revestimento interno, 3 cm para revestimento externo e 2 cm para contra-piso. Para os revestimentos de parede e teto com gesso, adotou-se uma espessura de referência de 5mm ( $0,005 \text{ m}^3/\text{m}^2$ ). A coluna perda global representa a soma das perdas incorporadas na construção e com entulho. A coluna de percentual de entulho é estimada e, para alguns tipos de materiais, o entulho representa 100% da perda global.

A partir da tabela 4, Andrade et al. (2001) partem para a estimativa de entulho gerado por metro quadrado de construção. Para transformar entulho expresso em um/us para unidade de material por metro quadrado de piso executado, são utilizados indicadores mostrados no SIMPÓSIO NACIONAL (1999), que tratou do desperdício de materiais nos canteiros de obras onde foram apresentadas as quantidades de serviço executadas por metro quadrado de piso edificado. A tabela 5 apresenta a estimativa de geração de entulho por metro quadrado de piso de edificação construída.

TABELA 5 - Estimativa de entulho por metro quadrado de piso

Material	us	QS/m <sup>2</sup>	Entulho (um/us)	Entulho por m <sup>2</sup>	Massa Especifica	Massa (kg/m <sup>2</sup> )	(%) Total
Concreto Usinado	m3	0,18	0,01350	0,00243	2200 kg/m3	5,3460	11%
Aço	kg	18	0,07700	1,38600	1 kg/kg	1,3860	3%
Blocos	m2	1,6	0,13000	0,20800	75 kg/m2	15,6000	31%
Argamassa - Alvenaria	m2	1,6	0,00160	0,00256	1800 kg/m3	4,6080	9%
Argamassa - Parede	m2	3,25	0,00215	0,00698	1800 kg/m3	12,5600	25%
Argamassa - Fachada	m2	0,75	0,00126	0,00095	1800 kg/m3	1,7010	3%
Argamassa - Contrapiso	m2	1	0,00055	0,00055	1900 kg/m3	1,0450	2%
Cerâmicas - Fachadas	m2	0,75	0,13000	0,09750	20 kg/m2	1,9500	4%
Cerâmicas - Paredes	m2	0,2	0,19000	0,03800	20 kg/m2	0,7600	2%
Cerâmicas - Piso	m2	1	0,13000	0,13000	20 kg/m2	2,6000	5%
Gesso - Paredes	m2	2,3	0,00075	0,00173	1067 kg/m3	1,8406	4%
Gesso - Teto	m2	1	0,00075	0,00075	1067 kg/m3	0,8003	2%
<b>Total</b>						<b>50,1968</b>	<b>100%</b>

Fonte: Andrade et al. (2001).

A coluna QS/m<sup>2</sup> refere-se à quantidade de serviço por metro quadrado de piso executado. Para a obtenção da quantidade de aço por metro quadrado de piso foi considerada uma taxa de armadura de 100 kg/m<sup>3</sup> de concreto. Para obter-se a quantidade de entulho por metro quadrado de piso bastou multiplicar a quantidade de serviço pela quantidade de entulho por unidade de medida por unidade de serviço. Finalmente, para obtenção da massa, multiplicou-se a massa específica de cada material pela quantidade de entulho por metro quadrado e somando-se estas parcelas obteve-se a massa estimada por metro quadrado de piso edificado. A fim de se verificar o impacto dos custos destes RCD sobre o preço do metro quadrado de construção, construiu-se a tabela 6.

TABELA 6 – Impacto de RCD por metro quadrado de piso construído

Material	ud	Entulho (m2/piso)	Custo (*) Unitário (R\$)	Custo (R\$/m2)	% Custo
Concreto Usinado	m3	0,00243	135,00	0,328	5%
Aço	kg	1,386	1,07	1,483	23%
Blocos	m2	0,208	3,61	0,751	12%
Argamassa – alvenaria	m3	0,00256	69,61	0,178	3%
Argamassa – parede	m3	0,006978	69,61	0,486	8%
Argamassa – fachada	m3	0,000945	69,61	0,066	1%
Argamassa – contrapiso	m3	0,00055	165,00	0,091	1%
Cerâmicas – fachada	m2	0,0975	8,00	0,780	12%
Cerâmicas – paredes	m2	0,038	10,83	0,412	7%
Cerâmicas – piso	m2	0,13	10,83	1,408	22%
Gesso – parede	m3	0,001725	137,00	0,236	4%
Gesso – teto	m3	0,00075	137,00	0,103	2%
<b>TOTAL</b>				<b>6,321</b>	<b>100%</b>

\*Fonte: Revista construção (Maio/2002)

O custo por metro quadrado de material em obras de edificação de porte médio era de R\$ 228,70 em maio de 2002; portanto, as perdas com estes tipos de RCD representam em

torno de 3% do valor da construção, já as perdas medidas em massa, considerando-se o peso médio por metro quadrado de piso em torno de 1.000 Kg, chegam a 5% da massa total da construção.

É interessante observar que o aço e a cerâmica para piso, apesar de serem os itens que mais contribuem para o custo por  $m^2$  (23% e 22%, respectivamente), não apresentam uma contribuição significativa em termos de perda em massa (3% e 5%, respectivamente). Os blocos e argamassa de parede, que representam 31% e 25% das perdas em massa, contribuem somente com 12% e 8%, respectivamente, das perdas em termos de custo.

#### 4.4 ADEQUAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO RECICLADO DE RCD

Para adequação dos usos dos produtos da reciclagem de resíduos de construção e demolição abordar-se-á a classificação proposta por Lima (1999), que divide os RCD em seis categorias, a saber:

- Classe 1: Resíduos de concreto sem impurezas;
- Classe 2: Resíduos de alvenaria sem impurezas;
- Classe 3: Resíduos de alvenaria sem materiais cerâmicos e sem impurezas;
- Classe 4: Resíduos de alvenaria com presença de terra e vegetação;
- Classe 5: Resíduos compostos por terra e vegetação;
- Classe 6: Resíduos com predominância de materiais asfálticos.

Os resíduos da classe 1 são compostos predominantemente de concreto estrutural, simples ou armado, com teores limitados de argamassa e alvenaria, e teores limitados de impurezas como terra, gesso, vegetação, vidro, papel, madeira, metais, plásticos e outros. Este reciclado poderia ser utilizado em concretos estruturais ou na fabricação de pré-moldados, mas a oferta deste tipo de resíduo é muito pequena se comparada aos resíduos de alvenaria. É difícil a obtenção do material em separado, condição fundamental para a produção do reciclado classe 1, e a produção deste tipo de reciclado seria difícil em função da dificuldade de controle de qualidade e da eliminação das impurezas.

Os resíduos da classe 2 são compostos predominantemente de argamassas, alvenaria e concreto, com presença de outros materiais minerais inertes como areia, pedra britada, e com presença limitada de impurezas como gesso, terra, vegetação, papel, madeira, plásticos e outros. É relativamente fácil obter resíduos de materiais minerais inertes sem impurezas e a demanda por este tipo de agregado reciclado é grande. A produção do agregado reciclado a partir desta classe de resíduo é relativamente simples, sendo necessária apenas uma homogeneização do resíduo.

Os resíduos da classe 3 são compostos predominantemente de argamassas, concreto, alvenaria e de componentes de concreto, com baixa presença de materiais cerâmicos. Pode conter areia, pedra britada e fibrocimento, sendo que os teores de impurezas como terra, vegetação, gesso, madeiras, plásticos e outros devem ser limitados. A produção do reciclado é relativamente simples, apesar de ser necessária a separação dos diferentes tipos de resíduos, e a demanda pelo reciclado é significativa. Já há conhecimento para a sua utilização em alguns serviços de maneira adequada e com segurança.

Os resíduos classe 4 são compostos predominantemente pelos mesmos resíduos da classe 2, mas admite-se a presença de terra ou terra misturada à vegetação até determinada percentagem do volume. O teor de impurezas tolerado é maior que o das classes 1, 2 e 3. Pelas características de geração dos resíduos de construção é muito comum a presença de impurezas, e desta forma a oferta deste tipo de resíduo é grande e, devido ao tipo de aplicação para este reciclado, a demanda também é grande. O processamento desta classe pode ser mais adequado ao setor público, que pode consumir grandes quantidades deste reciclado.

Os resíduos classe 5 são compostos predominantemente de terra e vegetação com teores acima dos admitidos na classe 4. Estes resíduos têm a presença de argamassa, alvenaria, concreto e outros materiais como areia, brita e fibrocimento, admitindo-se teores de impurezas maiores que nas demais classes. O resíduo não é processado nas centrais de reciclagem e, na maioria dos municípios, há grande oferta deste tipo de material e grande demanda para cobertura de aterro, regularização de terrenos e outros serviços.

Os resíduos classe 6 são os resíduos de construção com presença predominante de material asfáltico, com limitação para outras impurezas como argamassas e restos de

alvenaria, terra, vegetação, gesso, vidro e outros. Estes resíduos podem ser processados para a aplicação em serviços de pavimentação, não devendo ser aplicados em argamassa e concreto.

O quadro 12 apresenta a adequação para utilização dos reciclados a partir das classes de resíduos que são gerados. A classe 5 não aparece porque este tipo de resíduo não é processado em instalações de reciclagem.

QUADRO 12 – Aplicação dos agregados reciclados

Uso	Classe				
	1	2	3	4	6
Concreto estrutural armado	P	NI	NI	V	V
Concreto simples de baixo consumo	P	P	P	V	V
Chapisco	P	P/FI	P/FI	V	V
Emboço interno ou externo	P	P	P	V	V
Reboco interno e externo	P	P/FI	P/FI	V	V
Assentamento de componentes de alvenaria estrutural	P	P/FI	P/FI	V	V
Assentamento de componentes de alvenaria de vedação	P	P	P	V	V
Assentamento de revestimentos cerâmicos	P	P/FI	P/FI	V	V
Revestimento de piso com argamassa	P	P/FI	P/FI	V	V
Fabricação de pequenos componentes/alvenaria de vedação	P	P	P	V	V
Fabricação de pequenos componentes/alvenaria estrutural	P	P/FI	P/FI	V	V
Fabricação de briquetes para pavimentação	P	P	P	V	V
Fabricação de tubos e outros componentes p/infra-estrutura	P	P	P	V	V
Gabião	P	P/FI	P/FI	V	NI
Camadas drenantes	P	P	P	V	V
Coberturas de aterros	P/AE	P/AE	P/AE	P	NI
RIP-RAP	P/AE	P/AE	P/AE	P	NI
Sub-base para pavimentação	P/AE	P/AE	P/AE	P	P
Cobertura primária de vias	P/AE	P/AE	P/AE	P	P
<b>NI = Não indicada</b> <b>P = Possível</b> <b>P/AE = Possível, mas anti-econômico</b>	<b>P/FI = Possível, mas falta informação</b> <b>V = Vetado.</b>				

Fonte: Lima (1999).

Considerando a necessidade de consumir quantidades significativas de resíduos de construção em função dos grandes volumes gerados, os custos elevados para a produção dos reciclados mais nobres, as diferentes características das unidades recicladoras, e as iniciativas na área de reciclagem de RCD, que na maioria dos casos são do setor público, Lima (1999) apresenta uma indicação de viabilidade de processamento das classes de resíduos propostas (1

a 6), levando-se em conta a realidade atual da reciclagem no Brasil. O quadro 13 indica a escala de viabilidade para os diferentes tipos de reciclados.

QUADRO 13 – Viabilidade da produção das classes de reciclados no Brasil

Dado da Realidade	Classe					
	1	2	3	4	5	6
- Necessidade de produção de grandes quantidades de reciclado	D	F	LD	F	F	D
- Composição diferenciada dos resíduos	D	F	LD	F	F	D
- Presença significativa de cerâmica	D	F	LD	F	F	D
- Dificuldade de retirada de impurezas	D	LD	D	MF	MF	D
- Dificuldade de separação dos resíduos na fonte geradora	D	F	D	MF	MF	D
- Ausência de conhecimento do meio técnico	D	D	D	MF	MF	EC
- Ausência de normalização	D	D	D	MF	MF	EC
- Ausência de estrutura de fiscalização	D	D	D	MF	MF	D
<b>F = Favorável</b> <b>D = Desfavorável</b> <b>LD = Levemente desfavorável</b>	<b>MF = Muito favorável</b> <b>EC = Existe conhecimento</b>					

Fonte: Lima (1999)

Os problemas causados pela geração de resíduos de construção, principalmente nos grandes centros urbanos, podem ser minimizados através de uma política que viabilize a utilização destes materiais. Este reaproveitamento, além de representar benefícios ambientais significativos, possibilita ganhos econômicos. A elaboração de uma sistemática para a implementação de uma rede logística de distribuição reversa pode instrumentalizar esta política.



## 5 PROPOSTA DE UMA SISTEMÁTICA PARA ESTRUTURAR UMA REDE LOGÍSTICA REVERSA DE RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL

O objetivo neste capítulo é estabelecer uma sistemática para estruturar uma rede logística reversa para resíduos da construção civil. Esta sistemática tratará da definição dos elementos que compõem os nós da rede, do levantamento dos dados para a aplicação de um modelo de localização de múltiplos centros de gravidade – MMCG e da construção de um modelo de rede reversa de resíduos.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPONENTES DA REDE

Com base nos exemplos de redes levantados no item 2.5 foram estabelecidos os principais elementos que compõem a rede reversa de distribuição de resíduos da construção civil. A seguir definiu-se uma terminologia comum para os diversos elementos apresentados em cada rede reversa, fixando cinco elementos principais: áreas de geração, instalações de classificação e transbordo, instalações de reciclagem, consumidores de reciclados, mercado secundário e instalações de disposição final. A figura 10 apresenta a rede com estes elementos.

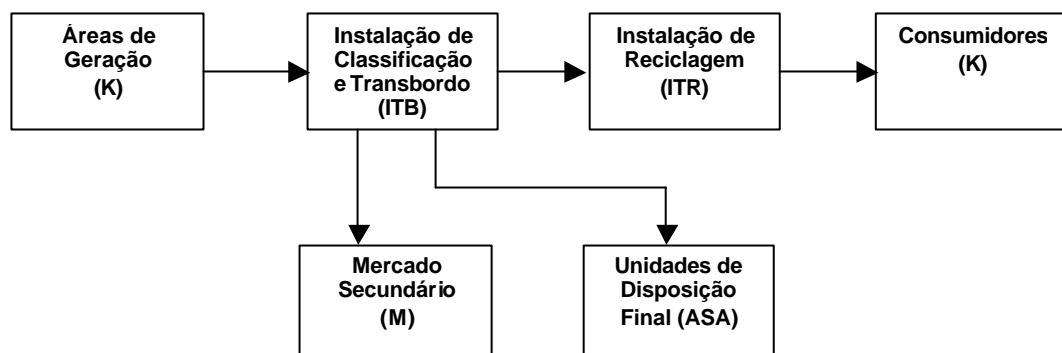


FIGURA 10 - Elementos da rede de distribuição reversa

As áreas de geração compreendem os pontos de origem dos materiais de final de uso, que devem retornar através da rede. Elas são compostas pelas unidades familiares, por empresas, organizações e por qualquer local que gere algum tipo de resíduo que deve ser deslocado. No caso da rede dos RCD as áreas de geração serão compostas pelas construções e demolições localizadas em diversos pontos.

As instalações de classificação e transbordo são os pontos da rede onde são realizadas as atividades de separação, classificação, desmontagem, consolidação de cargas e inspeção. Para a rede de RCD essas instalações farão a separação e classificação dos materiais que deverão ser vendidos diretamente ao mercado secundário para reuso (peças de construção reaproveitáveis, madeira para queima, etc.), dos materiais que serão vendidos para os recicladores (plásticos, ferro, isopor, fios, etc.), dos materiais que serão encaminhados às unidades de reciclagem de RCD, e dos materiais que deverão ser encaminhados para disposição final em aterro sanitário. Além da atividade de separação, estas instalações farão a consolidação das cargas encaminhadas, tanto para a destinação final quanto para as instalações de reciclagem.

As instalações de reciclagem nessa rede são os locais onde se desenvolvem as atividades de montagem, reparo, remanufatura, reciclagem e, eventualmente, o tratamento do resíduo. Para a rede de RCD essas instalações reciclarão os materiais recebidos das instalações de classificação e transbordo e farão a sua redistribuição para as zonas de consumo de reciclados.

Os consumidores são formados pelo conjunto de todos aqueles que demandam os produtos reciclados, sejam eles produtos finais, prontos para o consumo, ou produtos semi-acabados, que são matérias-primas ou componentes para as linhas de produção. Desta forma, são consumidores as unidades familiares, os fabricantes e o mercado secundário que comercializa produtos para reuso direto, remanufaturados ou reparados. Para o caso dos reciclados de RCD cita-se como consumidores as unidades familiares, as empresas de construção em geral e as empresas de pré-moldados. O mercado secundário e de recicladores consumirá os materiais que serão separados e classificados nas instalações de transbordo e que não serão destinados para as instalações de reciclagem de RCD nem para o aterro sanitário.

A unidade de disposição final é o destino de todo o material que não foi aprovado no processo de classificação para ser enviado para uma unidade de reciclagem ou para o mercado de produtos secundários. As unidades de disposição final podem ser os aterros sanitários públicos ou aterros para tipos específicos de resíduos. A tendência é de restrição ao recebimento de RCD e da cobrança pela sua destinação nos aterros. A rede de distribuição de RCD proposta utilizará o aterro sanitário como local de disposição final.

## 5.2 DEFINIÇÃO DAS QUANTIDADES DE RCD GERADAS

Para realizar estimativas de quantidades de RCD geradas por metro quadrado de construção podem ser utilizados os dados dos alvarás de construção. Quando esses registros estão em meio digital, podem ser trabalhados por um sistema gerenciador de banco de dados, onde os campos de interesse são filtrados e totalizados. As áreas de geração dos RCD são as construções e demolições que podem ser agregadas por uma unidade homogênea (uma cidade, um distrito, um bairro ou uma região). Os dados classificados e totalizados podem ser transportados para uma planilha eletrônica e agregados por uma unidade de tempo (mês, trimestre, semestre, ano), que possa incorporar algum aspecto de sazonalidade para a série de tempo.

Para o caso da construção civil um aspecto que pode distorcer os dados da série, dentro do período de agregação escolhido, é a ocorrência de um grande empreendimento. No outro extremo pode acontecer que, dentro do período escolhido, não ocorra nenhuma construção ou a sua ocorrência seja muito baixa. Para estes casos é necessário efetuar uma correção destes valores que são tratados por Pellegrini (2001) como dados espúrios na série de tempo.

Os dados agregados por período de tempo e corrigidos devem ser projetados para um horizonte de tempo com a finalidade de definir a capacidade das instalações e volumes para justificarem a implantação da rede. Para a realização das projeções pode-se utilizar uma técnica de *forecasting*.

A quantidade de resíduo por metro quadrado, apresentada na tabela 5 refere-se à parte reciclável dos resíduos, e esta quantidade é expressa em peso. Para definição dos volumes finais mostrando as três partes que compõem os RCD (material para aterro sanitário, material para mercado secundário e material para reciclagem), é necessário utilizar um perfil deste tipo de resíduo que mostre os percentuais de cada uma destas partes. Para a definição dos volumes referentes a cada uma das partes componentes do RCD, a massa deve ser multiplicada pela massa específica do resíduo. A massa específica do RCD apresentada na tabela 5 foi obtida através da transformação mostrada na tabela 7. Com estes números chega-se ao volume total de resíduo gerado por unidade homogênea, que define a zona de geração.

TABELA 7 - Massa específica dos RCD

Material	us	Massa Específica	Massa Específica	(%) Total	Peso Ponderado
Concreto Usinado	m <sup>3</sup>	2200 kg/m <sup>3</sup>	2200 kg/m <sup>3</sup>	11%	234,30 kg/m <sup>3</sup>
Aço	kg	1 kg/kg	7827 kg/m <sup>3</sup>	3%	216,11 kg/m <sup>3</sup>
Blocos	m <sup>2</sup>	75 kg/m <sup>2</sup>	750 kg/m <sup>3</sup>	31%	233,08 kg/m <sup>3</sup>
Argamassa - Alvenaria	m <sup>2</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	9%	165,24 kg/m <sup>3</sup>
Argamassa - Parede	m <sup>2</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	25%	450,39 kg/m <sup>3</sup>
Argamassa - Fachada	m <sup>2</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	1800 kg/m <sup>3</sup>	3%	61,00 kg/m <sup>3</sup>
Argamassa - Contrapiso	m <sup>2</sup>	1900 kg/m <sup>3</sup>	1900 kg/m <sup>3</sup>	2%	39,55 kg/m <sup>3</sup>
Cerâmicas - Fachadas	m <sup>2</sup>	20 kg/m <sup>2</sup>	2000 kg/m <sup>3</sup>	4%	77,69 kg/m <sup>3</sup>
Cerâmicas - Paredes	m <sup>2</sup>	20 kg/m <sup>2</sup>	2000 kg/m <sup>3</sup>	2%	30,28 kg/m <sup>3</sup>
Cerâmicas - Piso	m <sup>2</sup>	20 kg/m <sup>2</sup>	2000 kg/m <sup>3</sup>	5%	103,59 kg/m <sup>3</sup>
Gesso - Paredes	m <sup>2</sup>	1067 kg/m <sup>3</sup>	1067 kg/m <sup>3</sup>	4%	39,12 kg/m <sup>3</sup>
Gesso - Teto	m <sup>2</sup>	1067 kg/m <sup>3</sup>	1067 kg/m <sup>3</sup>	2%	17,01 kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso específico do reciclável</b>					<b>1.667,37 kg/m<sup>3</sup></b>

### 5.3 APLICAÇÃO DO MODELO DE MÚLTIPLOS CENTROS DE GRAVIDADE – MMCG

Os dados necessários para aplicação do MMCG são as coordenadas dos centróides das zonas de geração, as taxas de transporte, os volumes gerados em cada zona e o número de instalações que se deseja. A aplicação deste modelo deverá definir quais zonas de geração devem ser atendidas por quais instalações de transbordo, e quais instalações de transbordo deverão ser atendidas por quais instalações de reciclagem. Além disso, deve definir também o custo total de transporte e o volume que deve ser destinado para cada instalação.

As coordenadas dos centróides das zonas de geração homogêneas podem ser definidas através da utilização de um *software* de geoprocessamento. A taxa de transporte pode ser definida por uma pesquisa de custos das formas de transporte utilizadas para o caso de RCD. Esta taxa deve ser definida em unidades medidas em R\$/m<sup>3</sup>.Km e para isto uma distância

média de transporte entre os nós da rede deve ser considerada. Os volumes gerados em cada zona são obtidos através das projeções efetuadas. Finalmente, o número de instalações pode ser definido em função do volume total gerado e da capacidade de processamento de cada instalação.

Com estes dados disponíveis, utiliza-se um *software* específico para solução deste tipo de modelo. O módulo *MULTICOG* do programa *LOGWARE*, por exemplo, permite que se entre diretamente com os dados, fornecendo o número de instalações que se deseja e obtendo como resposta os seguintes elementos: coordenadas das instalações, volume e área de geração alocados por instalação e o custo total de transporte.

As coordenadas das localizações fornecidas pelo modelo são coordenadas planares, que definem uma posição ótima, sem respeitar nenhum tipo de restrição (físicas e/ou legais). Para solução deste problema, estas localizações devem ser plotadas em um mapa e, através de critérios objetivos, serem deslocadas para pontos possíveis de localização, que atendam às restrições. Com estas novas coordenadas roda-se novamente o modelo, realocando as zonas de geração a estas instalações, de forma a obter-se a melhor solução de custo. O MMCG é rodado em duas etapas. Na primeira etapa são definidas as instalações de transbordo que deverão atender as zonas de geração e na segunda etapa são definidas as instalações de reciclagem que deverão atender as instalações de transbordo.

#### 5.4 CRITÉRIOS PARA DEFINIÇÃO DAS DISTÂNCIAS DAS INSTALAÇÕES

O ponto de geração para efeito do cálculo das distâncias pode ser definido como o centróide da unidade homogênea escolhida. A hipótese é de que o centróide representa as distâncias médias de transporte dentro de cada área, sendo que os limites são as bordas onde as distâncias internas são zero e máximas em relação a um ponto de localização ótimo de uma instalação.

A distância considerada entre o centróide da área e uma determinada instalação é a distância cartesiana, calculada pela raiz quadrada da soma do quadrado dos catetos, a qual não leva em consideração a sinuosidade do caminho a ser percorrido. Como fatores de correção

para este problema adota-se os coeficientes propostos por Ballou (2001), que são de 21% para rodovias e de 41% para traçados urbanos. A figura 11 ilustra o critério adotado para a definição das distâncias.

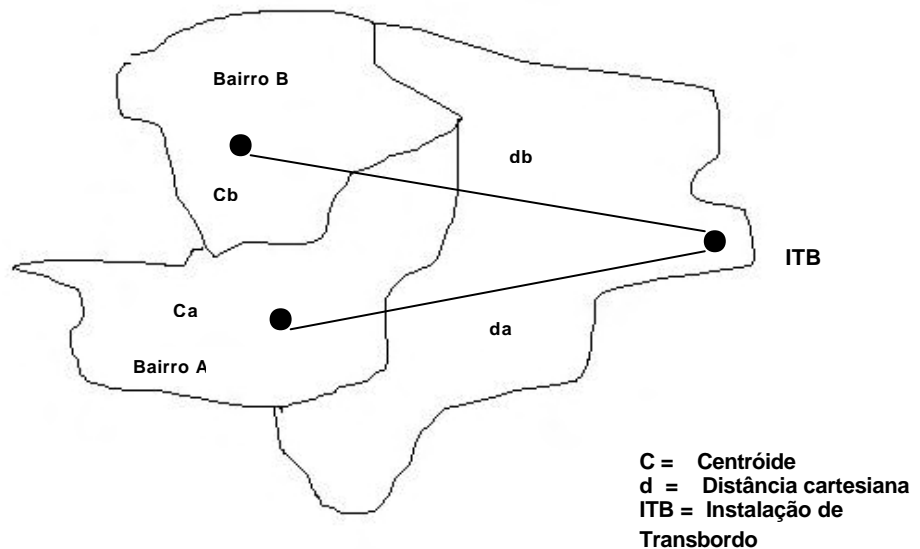


FIGURA 11 - Distância do centróide à localização ótima da instalação

## 5.5 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE REDE REVERSA DE RESÍDUOS - MRRR

Para uma análise quantitativa da rede reversa de resíduos de construção e demolição elaborou-se o MRRR, que deverá definir que instalações de transbordo e reciclagem deverão ser capacitadas, que quantidades deverão ser destinadas de cada zona de geração para cada estação de transbordo, que quantidades deverão ser destinadas de cada estação de transbordo para os mercados de reciclados, para o aterro sanitário e para as instalações de reciclagem, e que quantidades deverão ser destinadas de cada instalação de reciclagem para cada zona de consumo. O modelo deverá apresentar uma solução ótima para a rede com uma solução de menor custo total anual. A figura 12 apresenta a estrutura genérica para a rede reversa de resíduos de construção e demolição.

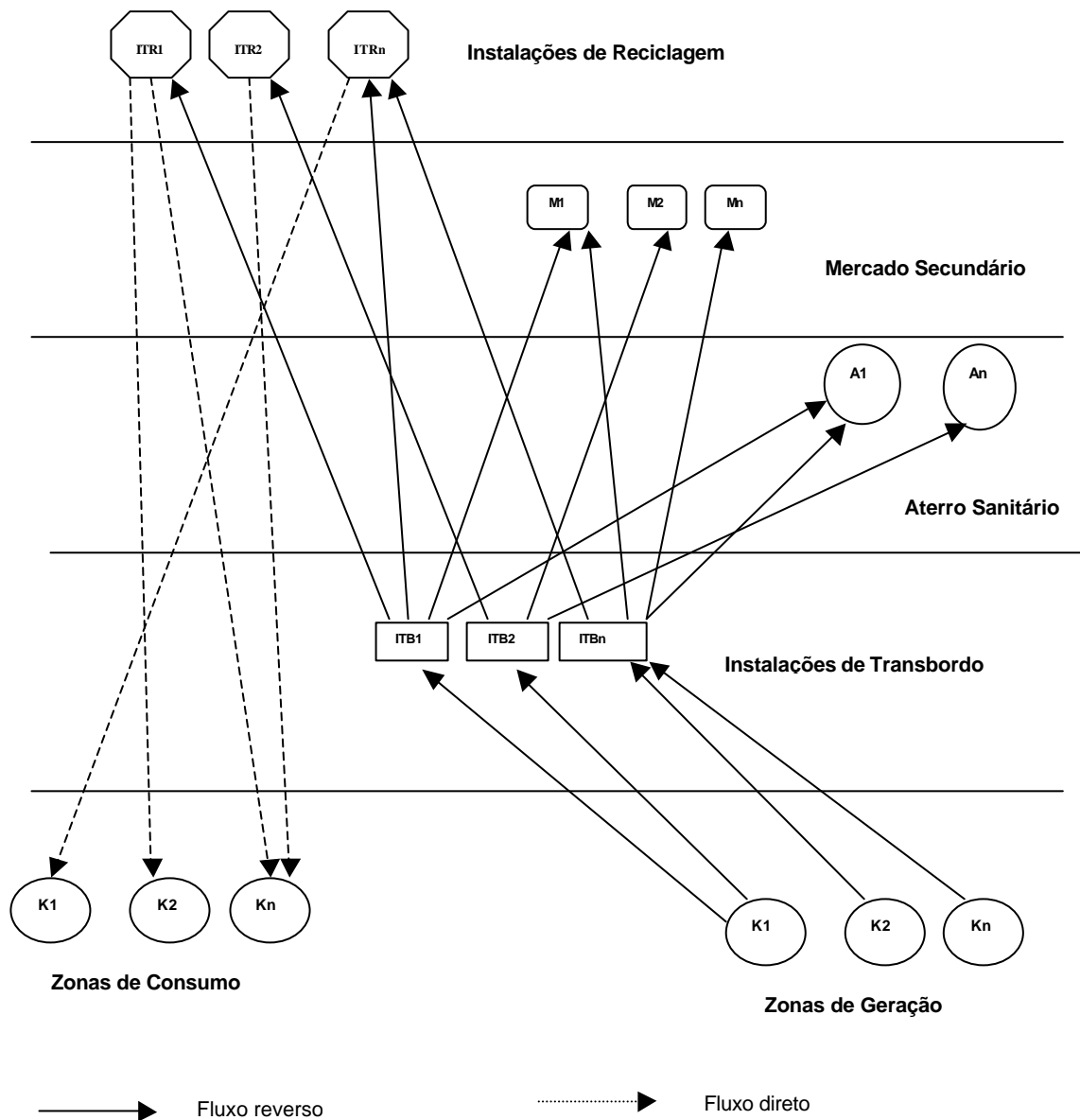


FIGURA 12 - Estrutura da rede reversa de resíduos genérica

O modelo foi desenvolvido utilizando-se programação linear inteira mista e compõe-se de variáveis binárias e contínuas. A seguir, são definidas as notações utilizadas na formulação do modelo.

Conjunto de índices:

$K = \{1, 2, 3, \dots, N_k\}$  Conjunto das localizações fixas das zonas de geração de entulhos e consumo de reciclados;

$J = \{1,2,3,\dots,N_j\}$  Conjunto das localizações potenciais das instalações de transbordo;  
 $I = \{1,2,3,\dots,N_i\}$  Conjunto das localizações potenciais das instalações de reciclagem;  
 $M = \{1,2,3,\dots,N_m\}$  Conjunto das localizações fixas dos mercados de reciclados;  
 $A = \{1,2,3,\dots,N_a\}$  Conjunto das localizações fixas de aterros sanitários.

Variáveis de decisão:

$X_{kj}$  = Quantidade de entulhos que retorna de  $k$  para  $ITB_j$ ;  $k \in K$ ;  $j \in J$ ;  
 $X_{ji}$  = Quantidade de RCD que vai de  $ITB_j$  para  $ITR_i$ ;  $j \in J$ ;  $i \in I$ ;  
 $X_{jm}$  = Quantidade de recicláveis que vai de  $ITB_j$  para  $m$ ;  $j \in J$ ;  $m \in M$ ;  
 $X_{ja}$  = Quantidade de entulho que vai de  $ITB_j$  para  $a$ ;  $j \in J$ ;  $a \in A$ ;  
 $X_{ik}$  = Quantidade de reciclado que vai de  $ITR_i$  para  $k$ ;  $i \in I$ ;  $k \in K$ ;  
 $U_k$  = Quantidade de demanda insatisfeita dos consumidores  $k$ ;  $k \in K$ ;  
 $W_k$  = Quantidade de entulhos não recolhidos nas zonas de geração  $k$ ;  $k \in K$ ;  
 $Yt_j$  = Indicador de  $ITB_j$  aberta;  $j \in J$ ;  
 $Yr_i$  = Indicador de  $ITR_i$  aberta;  $i \in I$ ;

Coefficientes de custos:

$C_{kj}$  = Custo variável para envio de uma unidade de  $k$  para  $j$ ;  $k \in K$ ;  $j \in J$ ;  
 $C_{ji}$  = Custo variável para envio de uma unidade de  $j$  para  $i$ ;  $j \in J$ ;  $i \in I$ ;  
 $C_{jm}$  = Custo variável para envio de uma unidade de  $j$  para  $m$ ;  $j \in J$ ;  $m \in M$ ;  
 $C_{ja}$  = Custo variável para o envio de uma unidade de  $j$  para  $a$ ;  $j \in J$ ;  $a \in A$ ;  
 $C_{ik}$  = Custo variável para o envio de uma unidade de  $i$  para  $k$ ;  $i \in I$ ;  $k \in K$ ;  
 $Cu_k$  = Custo de penalidade por demanda dos consumidores  $k$  não atendida;  $k \in K$ ;  
 $Cw_k$  = Custo de penalidade por entulhos da zona de geração  $k$  não recolhidos;  $k \in K$ ;  
 $Ct_j$  = Custo fixo para as instalações de transbordo  $j$ ;  $j \in J$ ;  
 $Cr_i$  = Custo fixo para as instalações de reciclagem  $i$ ;  $i \in I$ .

Parâmetros utilizados:

$VTE$  = Volume total de entulhos;  
 $qi$  = Alíquota de imposto incidente sobre  $X_{ik}$  e  $X_{jm}$ ;  $i \in I$ ;  $k \in K$ ;  $j \in J$ ;  $m \in M$ ;  
 $rk$  = Fração de entulhos retornados da zona de geração  $k$ ;  $k \in K$ ;  
 $dk$  = Fração de reciclados demandados pela zona de consumo  $k$ ;  $k \in K$ ;  
 $g_j$  = Parte dos entulhos que vão de  $ITB_j$  para  $ITR_i$ ;  $j \in J$ ;  $i \in I$ ;  
 $g_m$  = Parte dos entulhos que vão de  $ITB_j$  para  $m$ ;  $j \in J$ ;  $m \in M$ ;  
 $g_a$  = Parte dos entulhos que vão de  $ITB_j$  para  $a$ ;  $j \in J$ ;  $a \in A$ ;  
 $Sl_j$  = Capacidade mínima da  $ITB_j$ ;  $j \in J$ ;  
 $Sh_j$  = Capacidade máxima da  $ITB_j$ ;  $j \in J$ ;  
 $Sl_i$  = Capacidade mínima da  $ITR_i$ ;  $i \in I$ ;  
 $Sh_i$  = Capacidade máxima da  $ITR_i$ ;  $i \in I$ .

A forma genérica do MRRR é expressa a seguir:



*Min!*

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J} C_t Y_t_j + \sum_{i \in I} C_r Y_r_i + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C_{ik} X_{ik} + \sum_{k \in K} \sum_{j \in J} C_{kj} X_{kj} + \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} C_{ji} X_{ji} + \\ & \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} C_{jm} X_{jm} + \sum_{j \in J} \sum_{a \in A} C_{ja} X_{ja} + \mathbf{q}_i \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C_{ik} X_{ik} + \mathbf{q}_i \sum_{j \in J} \sum_{m \in M} C_{jm} X_{jm} + \\ & \sum_{k \in K} C_u U_k + \sum_{k \in K} C_w W_k \end{aligned}$$

*S.a.*

$$\sum_{k \in K} X_{kj} \geq Sl_j Y_t_j \dots\dots\dots \forall j \in J; (21);$$

$$\sum_{k \in K} X_{kj} \leq Sh_j Y_t_j \dots\dots\dots \forall j \in J; (22);$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} \geq Sl_i Y_r_i \dots\dots\dots \forall i \in I; (23);$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} \leq Sh_i Y_r_i \dots\dots\dots \forall i \in I; (24);$$

$$\sum_{i \in I} X_{ik} \geq \mathbf{g}_i d_k VTE \dots\dots\dots \forall k \in K; (25);$$

$$d_k \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} X_{ik} + U_k \leq \mathbf{g}_i VTE \dots\dots\dots \forall i \in I; \forall k \in K; (26);$$

$$\sum_{j \in J} X_{kj} \leq r_k VTE \dots\dots\dots \forall k \in K; (27);$$

$$\sum_{i \in I} X_{ji} \leq \mathbf{g}_i VTE \dots\dots\dots \forall j \in J; (28);$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in I} X_{ji} = \mathbf{g}_i VTE \dots\dots\dots \forall j \in J; \forall i \in I; (29);$$

$$\sum_{j \in J} X_{jm} \leq \mathbf{g}_m VTE \dots\dots\dots \forall m \in M; (30);$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{m \in M} X_{jm} = \mathbf{g}_m VTE \dots\dots\dots \forall j \in J; \forall m \in M; (31);$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{a \in A} X_{ja} = \mathbf{g}_a VTE \dots\dots\dots \forall j \in J; \forall a \in A; (32);$$

$$\mathbf{g}_i \sum_{k \in K} X_{kj} = \sum_{i \in I} X_{ji} \dots\dots\dots \forall j \in J; (33);$$

$$\mathbf{g}_m \sum_{k \in K} X_{kj} = \sum_{m \in M} X_{jm} \dots\dots\dots \forall j \in J; (34);$$

$$\mathbf{g}_a \sum_{k \in K} X_{kj} = \sum_{a \in A} X_{ja} \dots\dots\dots \forall j \in J; (35);$$

$$\sum_{k \in K} X_{ik} = \sum_{j \in J} X_{ji} \dots\dots\dots \forall i \in I; (36);$$

$$Y_t_j, Y_r_i \in \{0,1\} \dots\dots\dots \forall j \in J; \forall i \in I; (37);$$

$$X_{kj}, X_{ji}, X_{jm}, X_{ja}, X_{ik}, U_k, U_w \geq 0 \dots\dots\dots \forall k \in K; \forall j \in J; \forall m \in M; \forall a \in A; (38).$$

As expressões 21 e 22 representam o conjunto de restrições referentes às capacidades mínimas e máximas das instalações de transbordo. As expressões 23 e 24 representam o conjunto de restrições referentes às capacidades mínimas e máximas das instalações de reciclagem. A expressão 25 representa o conjunto das restrições de demanda e a expressão 26 representa o fluxo total de reciclados das instalações de reciclagem para as zonas de consumo. A expressão 27 representa os fluxos que saem das zonas de geração para as instalações de transbordo. As expressões 28, 30 e 32 representam os fluxos que saem das instalações de

transbordo para as instalações de reciclagem, mercado de recicláveis e aterro sanitário, respectivamente. A expressão 29 representa o total do fluxo das instalações de transbordo para as instalações de reciclagem e a expressão 31 representa o total do fluxo das instalações de transbordo para o mercado de recicláveis. As expressões de 33 a 36 representam o conjunto de restrições que refletem o balanço de massas nos nós da rede. A expressão 37 refere-se aos valores que podem ser assumidos pelas variáveis indicadoras de planta aberta ou fechada e a expressão 38 refere-se às restrições de não negatividade.

Alguns aspectos e hipóteses a serem considerados no MRRR são: o modelo é determinístico e não incorpora aspectos de variabilidade; duas categorias de produto (novo ou usado) são tratadas como substitutos perfeitos; o modelo (por ser linear) não incorpora ganhos ou perdas de escala; toda a produção é absorvida pelo mercado e; os tempos de estoque de materiais são bastante reduzidos não sendo considerados custos nessa atividade.

Dentro desta sistemática o modelo de múltiplos centros de gravidade é aplicado para a definição de instalações candidatas (ITB e ITR), as quais serão processadas dentro do MRRR, objetivando obter a quantidade e as localizações ótimas destas instalações. A principal vantagem de utilizar-se o MRRR para localização de instalações, ao invés do MMCG, é a possibilidade de se incorporar custos fixos e outros custos variáveis no modelo. Além disso, o modelo possibilita a definição de uma solução ótima para a rede em termos de custo total.

## 5.6 DEFINIÇÃO DOS CUSTOS

Os custos relacionados a uma instalação podem ser representados em termos de custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos são aqueles que não mudam com o nível de atividade da instalação. O terreno, os investimentos em instalações e a depreciação são exemplos de custos fixos. Os custos variáveis são aqueles que variam de acordo com a variação do nível de atividade, como o capital de giro, insumos, custos de energia e água, de materiais de consumo, custo de produção, custo de manuseio, armazenagem, coleta, classificação e separação e transporte.

Para a rede de RCD podem ser definidos como elementos de custos fixos para as instalações de transbordo e instalações de reciclagem os custos do terreno, da edificação e das instalações e equipamentos. Para os valores iniciais destes elementos de custos pode-se calcular os valores futuros, utilizando-se uma taxa de oportunidade anual, deduzindo-se o seu valor residual no final do período considerado. Para se ter um valor fixo anual por instalação, pode se fazer uma média onde os valores futuros obtidos são divididos pelo período considerado.

Como custos variáveis são considerados os custos de transporte, de coleta, os custos de classificação, os custos de manuseio e consolidação de carga, o custo de produção e o custo de disposição final em aterro sanitário.

O custo de transporte é obtido pelo produto da taxa de transporte pelas distâncias entre os nós da rede. O custo de coleta é definido pelo mercado; no caso do transporte entre as zonas de geração e as instalações de transbordo este custo já incorpora o custo de transporte. Os custos de classificação, manuseio e consolidação de carga podem ser expressos como um percentual do custo de coleta. O custo de produção é apurado no processamento do resíduo de construção e demolição. Finalmente, o custo de disposição é o valor cobrado para se depositar estes resíduos em aterro sanitário.

## 5.7 DADOS PARA APLICAÇÃO DO MODELO DE REDE REVERSA DE RESÍDUOS

Os dados necessários para aplicação do MRRR são os volumes de resíduos, os nós fixos da rede, as instalações candidatas, os coeficientes de custos (fixos e variáveis) e os parâmetros do modelo. Os nós fixos da rede são as zonas de geração e consumo, os mercados secundários e os aterros sanitários. Os volumes e as instalações candidatas (instalações de transbordo e de reciclagem) são obtidas através da aplicação do MMCG. Os coeficientes de custos são os custos fixos anuais, definidos para cada instalação, e os custos variáveis, que são obtidos através da composição dos itens de transporte, coleta, classificação, manuseio, consolidação de carga, produção e disposição final em aterro sanitário.

Os parâmetros do modelo são: o volume total de entulho, as frações de demanda dos consumidores, as frações de retorno das zonas de geração, a parcela de resíduo que vai da instalação de transbordo para a instalação de reciclagem, a parcela de entulho que vai da instalação de transbordo para o aterro sanitário, a parcela de reciclável que vai da instalação de transbordo para o mercado secundário, a taxa de imposto que incide sobre a comercialização de reciclados de RCD no mercado secundário e as capacidades máximas e mínimas das instalações de transbordo e de reciclagem. As frações de demanda e de retorno são definidas pela proporção dos volumes nas zonas de geração e consumo. As parcelas de materiais que saem das instalações de transbordo são definidas pelo perfil dos resíduos gerados.

Para a análise do impacto da redução da taxa de imposto sobre a solução ótima encontrada pelo MRRR poderá ser utilizada análise de sensibilidade, verificando-se o intervalo de variação permitido para os coeficientes das variáveis sobre as quais incide a respectiva alíquota, ou a alteração direta dos valores dos coeficientes destas variáveis no MRRR. Para verificação do impacto de uma melhoria da qualidade do resíduo gerado, reduzindo-se os envios para o aterro sanitário e aumentando-se os volumes enviados para as instalações de reciclagem, estes volumes podem ser alterados diretamente nas restrições do MRRR, obtendo-se os novos valores para custo total e, eventualmente, a nova configuração para a rede. Para análise dos dois impactos em conjunto, utiliza-se o mesmo procedimento adotado para a análise de imposto, aplicando-o a cada faixa de redução dos envios para o aterro sanitário.

Com o objetivo de validar a sistemática proposta, escolheu-se o caso dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba.

## **6. APLICAÇÃO DA SISTEMÁTICA PROPOSTA NO MUNICÍPIO DE CURITIBA**

O objetivo deste capítulo é o de aplicar a sistemática proposta ao caso dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba, procurando definir localizações ótimas para as instalações de transbordo e de reciclagem, os diversos fluxos entres os nós da rede, o custo total mínimo da rede e o impacto de uma redução da alíquota de imposto e da melhoria da qualidade do resíduo.

### **6.1 O PROCESSO DE COLETA DE RCD EM CURITIBA**

A coleta dos resíduos de construção e demolição no Município de Curitiba é feita normalmente através de caçambas estacionárias. De acordo com dados da ACERTAR (2000), que é uma associação que congrega uma parcela das empresas locadoras de caçamba no município, existem aproximadamente 120 empresas que trabalham nesse serviço em Curitiba, possuindo em torno de 15 mil caçambas. O tempo médio de permanência das caçambas é de 5 a 7 dias para obras novas e de 3 dias para obras de reformas e demolições. Existem caçambas de 1, 2, 3, 5 e 30 metros cúbicos de capacidade, sendo que as caçambas utilizadas nas obras, por força de lei, são as de 5 metros cúbicos.

Segundo a ACERTAR (2000), aproximadamente 10% das empresas trabalham atendendo à legislação, existindo em torno de 500 pontos de disposição clandestina em Curitiba e 10 pontos de disposição licenciados pela Secretaria Municipal do Meio Ambiente. A locação é feita por um preço fixo por caçamba de 5 metros cúbicos, e este valor varia de acordo com a localização da obra. O critério de cobrança utilizado é o seguinte: para obras localizadas até 2 quilômetros da sede da empresa em torno de R\$ 40 por caçamba, para obras localizadas no centro da cidade entre R\$ 50 e R\$ 60 por caçamba e para os demais locais em torno de R\$ 45 por caçamba (valores referentes ao ano de 2002). O valor mais elevado para a região central é justificado pelas empresas em função das restrições legais, principalmente em relação aos horários de circulação.

O processo típico das empresas que possuem estação de transbordo inicia-se com a solicitação do cliente para a locação do equipamento. A empresa encaminha o equipamento para obra e é informada para retirar a caçamba quando esta estiver cheia. Após o recolhimento da caçamba existem três possibilidades de destino, as quais dependem da qualidade do resíduo. A primeira, caso o material preencha os requisitos para este fim, é o aterro de uma área particular, cujo proprietário tenha feito uma solicitação prévia. A segunda destinação é a estação de classificação e transbordo para os materiais que precisam ser classificados. Após esta classificação, os resíduos que forem enquadrados como inertes, serão enviados ao aterro sanitário, e aqueles apresentarem viabilidade econômica poderão ser separados e vendidos nos mercados secundários ou de reciclagem. A terceira destinação é o aterro sanitário, sendo que esta depende da distância da obra em relação à estação de transbordo e ao aterro sanitário e do tipo do resíduo coletado.

As principais atividades desenvolvidas na estação de transbordo são a separação, a classificação do material e a consolidação da carga. A atividade de separação compreende a divisão dos diversos tipos de materiais que vêm nas caçambas (papel, madeira, vidro, peças reaproveitáveis, material para aterro, etc.). A atividade de classificação implica em dividir dentro de cada grupo, separando as diferentes classes, como por exemplo: no grupo plástico separar PET, PVC, etc; no grupo de peças reaproveitáveis separar portas, janelas, esquadrias metálicas, etc. A atividade de consolidação de carga compreende a organização dos diversos materiais separados em cargas maiores, que serão destinadas aos mercados secundários e ao aterro sanitário. A figura 13 apresenta o fluxo dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba, para as empresas que possuem estação de transbordo.

Vale ressaltar que os RCD atualmente não têm nenhum tipo de aproveitamento, a não ser aqueles encaminhados para aterros de particulares; todo o restante é encaminhado para o aterro sanitário, aterros licenciados ou aterros clandestinos. O aterro sanitário não tem custo para disposição, mas a partir do início da operação do novo consórcio do lixo para a região metropolitana de Curitiba, essas instalações serão operadas por empresas privadas e haverá custo para a disposição desses materiais.

Na rede que está sendo proposta, pretende-se a inclusão nesse processo de instalações de reciclagem de resíduos de construção civil, possibilitando o seu reaproveitamento.

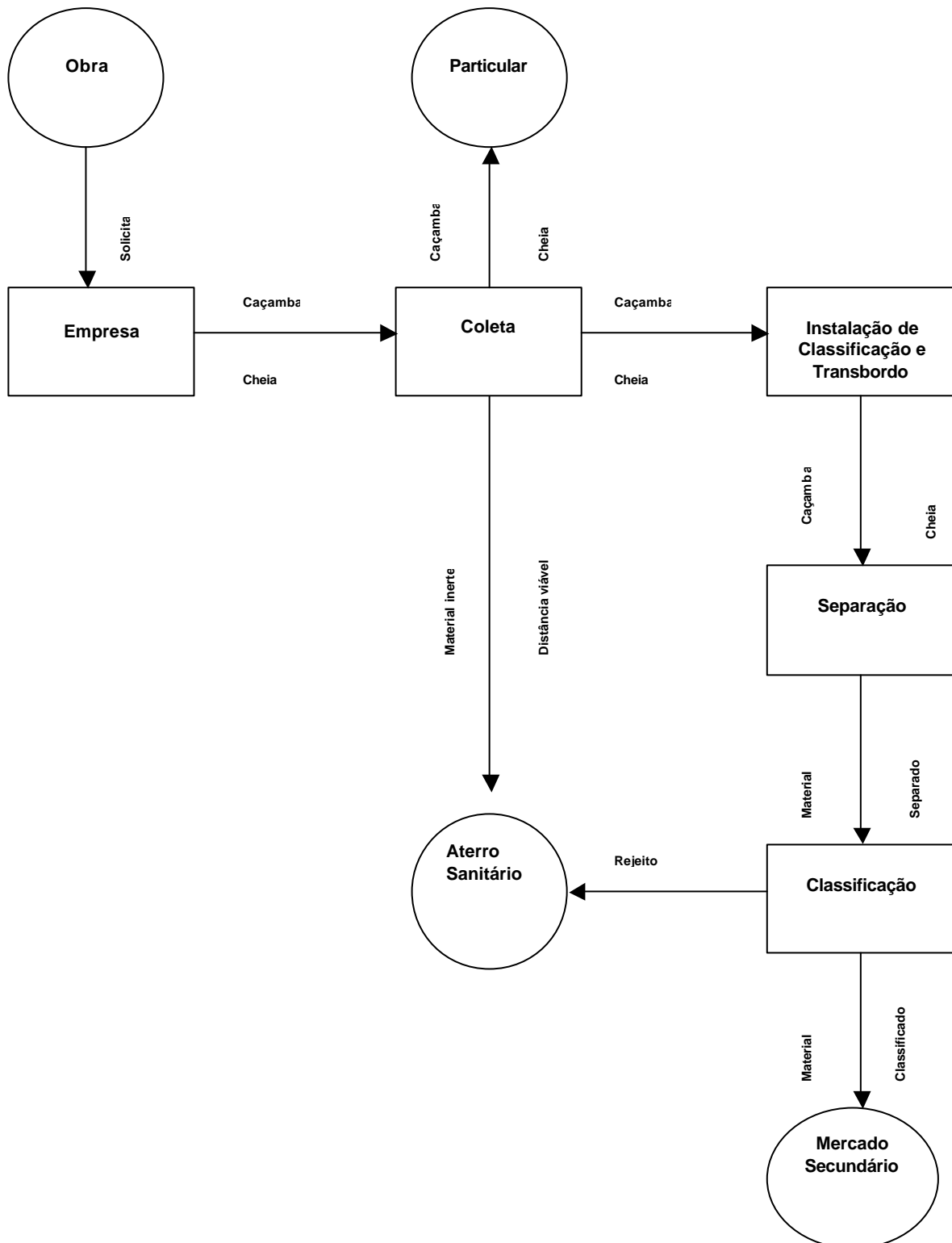


FIGURA 13 - Fluxo dos RCD para as empresas que possuem estação de transbordo

Desta forma, visa-se a agregação de valor, a redução dos problemas causados pela disposição irregular desse material e a redução dos custos diretos com disposição final desses resíduos em aterro. Com a redução dos volumes reduzem-se também os custos indiretos e amplia-se a vida útil dos aterros sanitários.

## 6.2 DEFINIÇÃO DOS NÓS DA REDE

Os nós fixos da rede de resíduos de construção e demolição no município de Curitiba são as áreas de geração, as zonas de consumo, os mercados de recicláveis e recicladores e o aterro sanitário. Como áreas homogêneas de geração foram considerados os 75 bairros do município, sendo definido como ponto de geração o centróide do bairro. Para o estabelecimento das áreas de consumo utilizou-se a hipótese de que o consumo é uma fração do resíduo gerado; desta forma dividiu-se a cidade em quatro grandes áreas, considerando como ponto de consumo o centróide destas áreas. Como mercado de recicláveis e recicladores foram considerados dois pontos de coordenadas conhecidas e como ponto de disposição final foi considerado o aterro sanitário, também de coordenadas conhecidas. As instalações de transbordo e de reciclagem são os nós a serem definidos na rede.

## 6.3 DEFINIÇÃO DAS QUANTIDADES DE RCD GERADAS

Para estimar as quantidades de RCD geradas foram utilizados os dados dos alvarás de construção liberados no município de Curitiba no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2001. Esses dados fazem parte de um conjunto de aproximadamente 170 mil registros que englobam praticamente todos os alvarás de construção liberados no Município. Os registros foram disponibilizados para consulta em arquivos texto. Esses registros foram importados para um sistema gerenciador de banco de dados, onde foram selecionados os dados do período considerado, perfazendo um total aproximado de 14 mil registros.

Os dados foram classificados e totalizados por bairro, ano, mês e tipo, sendo que para a totalização foi utilizado o campo “área construída”. Os tipos utilizados foram A, B, C e D e



são definidos da seguinte forma: tipo A, todos os alvarás liberados para imóveis que não possuem o alinhamento predial definido; tipo B, todos os alvarás liberados para imóveis que já possuem um alinhamento predial definido; tipo C, alvarás liberados para a construção de muros e definição do alinhamento predial; tipo D, alvarás liberados para empreendimentos de famílias de baixa renda e com área construída de até 70 metros quadrados.

Os dados classificados e totalizados foram transportados para um programa de planilha eletrônica e agregados por trimestre. Com o objetivo de suavizar o impacto da ocorrência de um grande empreendimento ou de um valor muito abaixo da média dos trimestres sobre os dados da série histórica, estabeleceu-se uma variação não superior a 100% entre os valores de cada um dos quatro trimestres do ano. A adoção deste critério de correção representou a modificação das quantidades de 20% a 24% do total dos trimestres e teve um impacto de 7% a 9% na relação (total real obtido/total corrigido). A tabela 8 apresenta o impacto destas correções sobre os números reais obtidos, onde 300 trimestres representam o produto de 75 bairros por 4 trimestres de cada ano.

TABELA 8 - Impacto das correções sobre as quantidades

INDICADOR	ANO				
	1997	1998	1999	2000	2001
<b>1. Número total de trimestres</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>	<b>300</b>
<b>2. Número de trimestres corrigidos</b>	<b>71</b>	<b>70</b>	<b>72</b>	<b>59</b>	<b>71</b>
<b>3. Percentual (2, 1)</b>	<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>24%</b>	<b>20%</b>	<b>24%</b>
<b>4. Total real (m2)</b>	<b>1.267.697</b>	<b>1.438.275</b>	<b>1.385.200</b>	<b>1.227.197</b>	<b>1.419.971</b>
<b>5. Total corrigido (m2)</b>	<b>1.157.973</b>	<b>1.318.728</b>	<b>1.284.640</b>	<b>1.181.206</b>	<b>1.298.258</b>
<b>6. Diferença (4 – 5)</b>	<b>109.724</b>	<b>119.547</b>	<b>100.559</b>	<b>95.991</b>	<b>121.712</b>
<b>7. Relação (6, 4)</b>	<b>9%</b>	<b>8%</b>	<b>7%</b>	<b>8%</b>	<b>9%</b>

Os dados agregados por trimestre e corrigidos foram projetados para um período de mais 5 anos (2002/2006), sendo utilizado para esta projeção uma ferramenta de previsão de série de tempo. O critério para escolha do modelo utilizado foi o da menor média absoluta de erros (MAE), conforme a tabela 9.

TABELA 9 - Critério de escolha do modelo para as previsões.

BAIRRO	Multiplicadores			MAE					Total/2006 (m2)
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	N	N+T	N+S	N+T+S	DS	
1 ABRANCHES	0,80	0,01	1,00	1.421	1.367	788	791	2.042	20.493,00
2 AGUA VERDE	0,40	0,01	0,01	3.912	3.754	3.807	3.675	5.554	22.080,00
3 AHU	0,01	0,60	-	1.649	1.609	1.934	1.974	2.735	14.666,00
4 ALTO BOQUEIRÃO	0,40	-	-	2.318	2.359	2.598	2.826	3.053	30.758,00
5 ALTO DA GLORIA	0,40	-	0,01	941	812	597	396	604	2.463,00
6 ALTO DA RUA XV	0,80	-	-	796	861	1.050	1.069	1.454	12.974,00
7 ATUBA	0,10	0,20	-	2.073	1.985	2.483	2.454	2.364	2.837,00
8 AUGUSTA	0,50	-	-	44	51	-	-	54	0,00
9 BACACHERI	0,10	0,70	-	2.308	2.304	3.403	3.184	3.346	73.586,00
10 BAIRRO ALTO	0,40	-	0,30	2.998	2.863	1.769	2.308	3.793	31.102,00
11 BARREIRINHA	0,01	0,01	0,01	2.098	2.008	1.745	1.745	3.224	14.955,00
12 BATEL	0,01	-	-	2.268	2.431	2.319	2.569	4.755	14.296,00
13 BIGORRILHO	0,01	0,30	-	5.891	5.591	6.080	6.415	10.252	38.643,00
14 BOA VISTA	0,30	-	-	2.695	2.710	2.771	2.768	2.749	28.972,00
15 BOM RETIRO	0,50	0,01	0,30	1.155	1.158	1.139	1.130	1.589	12.301,00
16 BOQUEIRÃO	0,10	0,30	0,30	5.151	4.961	6.230	4.266	7.672	6.068,00
17 BOTIATUVINHA	0,01	-	-	534	571	625	621	969	4.692,00
18 CABRAL	1,00	-	-	4.477	4.508	5.261	5.229	6.310	5.392,00
19 CACHOEIRA	0,40	0,10	-	170	159	185	172	162	0,00
20 CAJUURU	-	-	-	4.470	4.913	4.320	3.457	4.076	7.714,00
21 CAMPINA DO SIQUEIRA	0,01	0,01	-	2.083	1.913	3.283	3.329	3.340	10.171,00
22 CAMPO COMPRIDO	0,10	0,00	0,01	3.604	3.624	3.229	3.225	5.751	26.908,00
23 CAMPO DE SANTANA	-	-	-	58	63	-	-	57	0,00
24 CAPÃO DA IMBUIA	0,01	0,01	-	1.598	1.356	2.045	1.659	1.998	11.819,00
25 CAPÃO RASO	0,01	0,01	-	3.239	3.142	3.379	3.380	4.797	24.380,00
26 CASCATINHA	0,01	-	-	275	306	423	516	477	3.492,00
27 CAXIMBA	-	-	-	0	0	-	-	0	0,00
28 CENTRO	0,01	0,01	-	2.764	2.670	6.297	5.690	4.557	29.336,00
29 CENTRO CÍVICO	0,70	0,01	-	97	96	420	245	318	105,00
30 CIC	0,01	-	0,01	7.381	8.049	6.519	8.817	12.791	78.961,00
31 CRISTO REI	0,20	-	-	1.559	1.573	1.844	1.840	1.886	10.244,00
32 FANNY	0,90	0,01	0,01	1.187	1.205	899	881	1.475	1.793,00
33 FAZENDINHA	0,01	0,01	-	520	501	603	568	719	6.864,00
34 GANCHINHO	0,01	0,01	-	21	21	-	-	40	0,00
35 GUABIROTUBA	0,01	0,50	0,01	1.486	1.503	1.528	1.462	2.282	17.421,00
36 GUAIRA	0,01	-	-	732	764	1.289	1.320	902	10.128,00
37 HAUER	0,01	1,00	0,01	2.352	2.186	2.220	1.958	3.221	173.953,00
38 HUGO LANGE	0,01	1,00	-	599	578	913	953	1.090	8.700,00
39 JARDIM BOTÂNICO	0,20	0,20	0,01	2.311	2.326	1.893	1.839	4.319	103.634,00
40 JARDIM DAS AMERICAS	0,01	0,20	-	3.036	2.822	3.208	4.295	5.125	45.182,00
41 JARDIM SOCIAL	0,01	0,01	-	2.859	2.821	2.534	3.357	5.603	28.242,00
42 JUVEVÉ	0,20	-	-	1.670	1.700	2.391	2.302	1.748	6.552,00
43 LAMENHA PEQUENA	-	-	-	0	0	-	-	0	0,00
44 LINDOIA	0,01	1,00	-	255	244	277	245	328	5.243,00
45 MERCÊS	0,01	0,01	-	1.561	1.335	1.548	1.552	2.064	11.703,00
46 MOSSUNGUÉ	0,30	-	-	3.582	3.463	5.484	3.496	3.365	17.956,00
47 NOVO MUNDO	0,10	0,01	-	2.452	2.412	5.729	5.034	3.041	33.609,00
48 ORLEANS	0,01	-	1,00	519	550	385	387	404	6.609,00
49 PAROLIM	0,01	0,90	-	962	940	948	965	1.100	6.138,00
50 PILARZINHO	0,10	-	-	1.258	1.461	1.620	1.773	1.959	25.696,00
51 PINHEIRINHO	0,50	-	-	1.638	1.661	4.140	2.869	2.121	342,00
52 PORTÃO	0,01	-	-	3.683	3.754	3.912	3.946	4.944	41.492,00
53 PRADO VELHO	0,01	-	-	502	508	557	558	794	3.236,00
54 REBOUÇAS	1,00	-	-	1.187	1.193	1.945	2.126	2.484	2.440,00
55 RIVIERA	-	-	-	0	0	-	-	0	0,00
56 SANTA CÂNDIDA	0,01	1,00	-	1.542	1.469	1.558	1.536	2.020	5.646,00
57 SANTA FELICIDADE	0,20	0,10	-	1.979	1.978	2.423	2.794	2.294	74.323,00
58 SANTA QUITÉRIA	0,70	-	-	1.209	1.225	2.676	1.981	2.003	6.380,00
59 SANTO INÁCIO	0,01	0,01	-	446	426	1.021	930	649	5.554,00
60 SÃO BRAZ	0,01	-	-	1.378	1.503	1.541	1.401	2.207	18.072,00
61 SÃO FRANCISCO	0,01	-	-	1.607	1.661	1.886	2.283	3.027	10.248,00
62 SÃO JOÃO	0,30	-	-	83	84	-	-	100	1.028,00
63 SÃO LOURENÇO	0,20	-	-	579	501	1.138	1.000	803	6.200,00
64 SÃO MIGUEL	-	-	-	0	0	-	-	0	0,00
65 SEMINÁRIO	0,20	-	-	816	918	1.221	902	1.114	10.172,00
66 SÍTIO CERCADO	0,01	-	0,90	1.295	1.296	910	974	1.019	18.565,00
67 TABOÃO	0,01	-	0,01	1.233	1.247	1.122	1.287	2.515	2.210,00
68 TARUMÁ	0,30	-	-	1.351	1.520	1.756	2.152	2.203	26.300,00
69 TATUQUARA	0,60	0,90	0,80	313	347	164	153	317	3.195,00
70 TINGUI	0,40	0,20	0,01	1.121	1.095	1.270	1.016	1.279	35.510,00
71 UBERABA	0,10	0,30	0,01	1.545	1.567	1.483	1.373	1.742	66.418,00
72 UMBARÁ	0,10	-	-	636	661	-	-	1.117	5.316,00
73 VILA IZABEL	0,01	-	-	2.521	2.957	2.882	4.238	4.306	14.436,00
74 VISTA ALEGRE	0,10	0,20	0,01	2.063	2.120	2.003	1.774	3.123	49.565,00
75 XAXIM	0,10	0,30	-	2.741	2.596	3.687	3.454	3.822	90.098,00

$\alpha$  = Nível  
 $\beta$  = Tendência  
 $\gamma$  = Sazonalidade  
MAE = Média Absoluta de Erros

N+T = Nível + Tendência  
N+S = Nível + Sazonalidade  
N+T+S = Nível + Tendência + Sazonalidade  
DS = Decomposição de Série

O programa ajusta automaticamente os multiplicadores  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $\gamma$  e calcula a MAE. Para os casos em que a menor MAE resultou na escolha de um modelo, cuja previsão foi um valor

negativo (Alto da Glória, Cajuru, Mossunguê e São Lourenço), escolheu-se o modelo com o menor valor de MAE subsequente ao que resultou num valor de previsão negativo, a fim de se ter um valor positivo.

A massa específica do RCD apresentado na tabela 5 foi obtida através da transformação mostrada na tabela 7. Multiplicando-se as projeções por bairro por 50,19 kg/m<sup>2</sup> (tabela 5), chega-se a massa de RCD gerada por bairro, e dividindo-se estes números pela massa específica (tabela 7) tem-se os volumes de RCD. Como estes volumes referem-se unicamente à parte reciclável dos resíduos de construção e demolição, utilizou-se o perfil de entulhos de obras recolhidos por caçambas, apresentado por Xavier (2001), que é composto da seguinte forma: 23% de solo, galhos de árvores e lixo, fração que deve ser destinada diretamente para o aterro sanitário; 28% de papel, plástico, latas, aço e madeira, fração que sofre um processo de seleção e classificação para revenda no mercado secundário e; 49% de entulhos recicláveis que devem ser encaminhados para as instalações de reciclagem de RCD.

Com estes números chegou-se aos volumes totais de resíduos gerados por bairro, por ano e por classe de acordo com o perfil acima. A tabela 10 exemplifica a seqüência de cálculos para chegar aos volumes finais por bairro, sendo que na segunda coluna tem-se a projeção de metros quadrados de construção para o bairro no horizonte de tempo e na terceira coluna tem-se a massa de RCD, resultante do produto da segunda coluna por 50,19 Kg/m<sup>2</sup>.

TABELA 10 - Exemplo de seqüência de cálculo para o ano de 2002

Bairro	Projeção de Construção (m <sup>2</sup> )	Tipo de Resíduo				Total (m <sup>3</sup> )
		RCD (Ton)	RCD (m <sup>3</sup> )	Seleção (m <sup>3</sup> )	Aterro (m <sup>3</sup> )	
ABRANCHES	12.186,93	611,66	366,84	209,62	172,19	<b>748,65</b>
AGUA VERDE	31.680,16	1.590,03	953,62	544,93	447,62	<b>1.946,16</b>
AHU	13.263,90	665,72	399,26	228,15	187,41	<b>814,82</b>
ALTO BOQUEIRÃO	43.411,10	2.178,80	1.306,73	746,70	613,36	<b>2.666,80</b>

O volume final de resíduos por tipo e por bairro foi obtido através das projeções de áreas de construções realizadas para o ano de 2006. A tabela 11 apresenta os volumes finais projetados por bairro e por tipo de resíduo.

TABELA 11 - Projeção dos volumes por tipo de resíduo

	Bairro	Projeção para o ano de 2006			Total
		Reciclável	Seleção	Aterro	
1	ABRANCHES	616,95	352,54	289,59	1.259,08
2	AGUA VERDE	664,73	379,84	312,01	1.356,59
3	AHU	441,53	252,30	207,25	901,07
4	ALTO BOQUEIRÃO	925,98	529,13	434,64	1.889,76
5	ALTO DA GLORIA	74,15	42,37	34,80	151,33
6	ALTO DA RUA XV	390,59	223,19	183,34	797,12
7	ATUBA	85,41	48,81	40,09	174,30
8	AUGUSTA	0,00	0,00	0,00	0,00
9	BACACHERI	2.215,33	1.265,91	1.039,85	4.521,09
10	BAIRO ALTO	936,34	535,05	439,51	1.910,89
11	BARREIRINHA	450,23	257,27	211,33	918,83
12	BATEL	430,39	245,94	202,02	878,34
13	BIGORRILHO	1.163,36	664,78	546,07	2.374,21
14	BOA VISTA	872,21	498,41	409,41	1.780,03
15	BOM RETIRO	370,33	211,61	173,83	755,77
16	BOQUEIRÃO	182,68	104,39	85,75	372,82
17	BOTIATUVINHA	141,25	80,72	66,30	288,27
18	CABRAL	162,33	92,76	76,19	331,28
19	CACHOEIRA	0,00	0,00	0,00	0,00
20	CAJURU	232,23	132,70	109,01	473,94
21	CAMPINA DO SIQUEIRA	306,20	174,97	143,73	624,90
22	CAMPO COMPRIDO	810,08	462,90	380,24	1.653,22
23	CAMPO DE SANTANA	0,00	0,00	0,00	0,00
24	CAPÃO DA IMBUIA	355,82	203,32	167,02	726,15
25	CAPÃO RASO	733,97	419,41	344,52	1.497,90
26	CASCATINHA	105,13	60,07	49,35	214,55
27	CAXIMBA	0,00	0,00	0,00	0,00
28	CENTRO	883,17	504,67	414,55	1.802,39
29	CENTRO CÍVICO	3,16	1,81	1,48	6,45
30	CIC	2.377,15	1.358,37	1.115,81	4.851,33
31	CRISTO REI	308,40	176,23	144,76	629,39
32	FANNY	53,98	30,85	25,34	110,16
33	FAZENDINHA	206,64	118,08	97,00	421,72
34	GANCHINHO	0,00	0,00	0,00	0,00
35	GUABIROTUBA	524,47	299,69	246,18	1.070,34
36	GUAIRA	304,91	174,23	143,12	622,26
37	HAUER	5.236,92	2.992,53	2.458,15	10.687,59
38	HUGO LANGE	261,92	149,67	122,94	534,52
39	JARDIM BOTÂNICO	3.119,94	1.782,82	1.464,46	6.367,23
40	JARDIM DAS AMERICAS	1.360,22	777,27	638,47	2.775,96
41	JARDIM SOCIAL	850,24	485,85	399,09	1.735,18
42	JUVEVÉ	197,25	112,71	92,59	402,55
43	LAMENHA PEQUENA	0,00	0,00	0,00	0,00
44	LINDÓIA	157,84	90,20	74,09	322,13
45	MERCÊS	352,32	201,33	165,38	719,03
46	MOSSUNGUÉ	540,57	308,90	253,74	1.103,21
47	NOVO MUNDO	1.011,81	578,18	474,93	2.064,92
48	ORLEANS	198,97	113,70	93,39	406,05
49	PAROLIM	184,79	105,59	86,74	377,12
50	PILARZINHO	773,59	442,05	363,11	1.578,75
51	PINHEIRINHO	10,30	5,88	4,83	21,01
52	PORTÃO	1.249,13	713,79	586,33	2.549,25
53	PRADO VELHO	97,42	55,67	45,73	198,82
54	REBOUÇAS	73,46	41,98	34,48	149,91
55	RIVIERA	0,00	0,00	0,00	0,00
56	SANTA CÂNDIDA	169,97	97,13	79,78	346,89
57	SANTA FELICIDADE	2.237,52	1.278,58	1.050,27	4.566,37
58	SANTA QUITÉRIA	192,07	109,76	90,16	391,98
59	SANTO INÁCIO	167,21	95,55	78,48	341,24
60	SÃO BRAZ	544,06	310,89	255,38	1.110,34
61	SÃO FRANCISCO	308,52	176,30	144,82	629,63
62	SÃO JOÃO	30,95	17,68	14,53	63,16
63	SÃO LOURENÇO	186,65	106,66	87,61	380,93
64	SÃO MIGUEL	0,00	0,00	0,00	0,00
65	SEMINÁRIO	306,23	174,99	143,74	624,96
66	SÍTIO CERCADO	558,91	319,38	262,34	1.140,63
67	TABOÃO	66,53	38,02	31,23	135,78
68	TARUMÁ	791,77	452,44	371,65	1.615,86
69	TATUQUARA	96,19	54,96	45,15	196,30
70	TINGÚÍ	1.069,04	610,88	501,80	2.181,72
71	UBERABA	1.999,54	1.142,59	938,56	4.080,69
72	UMBARÁ	160,04	91,45	75,12	326,61
73	VILA IZABEL	434,60	248,34	204,00	886,94
74	VISTA ALEGRE	1.492,17	852,67	700,41	3.045,25
75	XAXIM	2.712,43	1.549,96	1.273,18	5.535,58
	<b>TOTAL</b>	<b>46.530,18</b>	<b>26.588,67</b>	<b>21.840,69</b>	<b>94.959,54</b>

## 6.4 APLICAÇÃO DO MODELO DE MÚLTIPLOS CENTROS DE GRAVIDADE – MMCG

Os dados de entrada no modelo são as coordenadas locais do centróide das áreas de geração, o volume de resíduos de cada área e a taxa de transporte. Para a taxa de transporte considerou-se o preço da caçamba de 5 m<sup>3</sup> (R\$ 45), descontado de uma taxa de 30% a título de bonificação de despesas indiretas (impostos, taxas, custos indiretos e margem de lucro), obtendo-se um valor de R\$ 34,61 (valor referente ao ano de 2002). Este valor foi dividido pela capacidade da caçamba e por uma distância média de transporte de 5 Km, obtendo-se uma taxa de transporte de R\$ 1,38/m<sup>3</sup>.Km. A distância média de transporte refere-se às distâncias entre as zonas de geração e as instalações de transbordo. O problema consiste em localizar instalações de transbordo (ITB) para servir a um número de áreas de geração de resíduos com localizações, volumes e taxas de transporte conhecidas e o objetivo é o de encontrar as coordenadas da instalação que minimizem o custo de transporte.

Num primeiro momento, o MMCG é aplicado sem nenhuma preocupação com restrições às localizações das ITB. O modelo foi rodado considerando-se um número de oito instalações, tendo em vista os locais disponíveis para esse tipo de instalação e as quantidades de resíduos geradas. Foi utilizado o módulo *MULTICOG* do programa *LOGWARE* (Ballou, 2001). A tabela 12 apresenta os resultados desta rodada do MMCG.

TABELA 12 - Localização das instalações de transbordo sem restrições

No. Da ITB	Coordenadas		Volume (m3)	Atende aos Bairros	Custo com Taxa R\$ 1,38	Custo com Caçamba
	x	y				
ITB1	16,00	34,00	16.754	3,7,9,10,14,18,24,38,41,56,68,70	38.998,29	150.786,00
ITB2	9,69	34,49	14.267	1,11,15,19,26,29,43,45,50,57,61,62,63,67,74	52.053,71	128.403,00
ITB3	12,00	23,00	10.604	4,23,25,27,34,51,66,69,72,75	31.428,80	95.436,00
ITB4	8,08	25,89	12.518	2,8,30,33,47,52,58,64,73	44.813,77	112.662,00
ITB5	14,00	26,00	16.161	32,35,36,37,40,44,49,53	17.741,18	145.449,00
ITB6	7,33	30,28	9.401	12,13,17,21,22,46,48,55,59,60,65	30.125,17	84.609,00
ITB7	14,00	30,00	10.297	5,6,28,31,39,42,54	11.413,73	92.673,00
ITB8	17,00	25,00	4.925	16,20,71	3.516,15	44.325,00
<b>Total</b>			<b>94.927,00</b>		<b>230.090,80</b>	<b>854.343,00</b>

As localizações obtidas foram plotadas em um mapa para a verificação das restrições e o estudo das novas localizações, que foram definidas obedecendo aos critérios seguintes:

- Locais incompatíveis com a legislação:
  - Áreas de proteção ambiental;
  - Áreas de uso não permitido para esse tipo de instalação.
- Proximidade com o eixo urbano da BR-116;
- Proximidade com vias que facilitam o acesso ao eixo urbano da BR-116;
- Menor distância da localização sem restrições.

Aplicando-se os critérios, todas as instalações de transbordo precisaram ser reposicionadas. A importância dada às facilidades de acesso ao eixo urbano da BR-116, nos critérios de reposicionamento das instalações, deve-se ao fato de esse eixo ter uma ligação direta com o aterro sanitário, que é um nó crítico na rede em função da sua distância. Feito esse reposicionamento, os bairros foram realocados a cada instalação e rodou-se novamente o MMCG, obtendo os resultados mostrados na tabela 13.

TABELA 13 - Localização das instalações de transbordo considerando restrições

No. Da ITB	Coordenadas		Volume (m3)	Atende aos Bairros	Custo com Taxa R\$ 1,38	Custo com Caçamba
	x	y				
ITB1	17,00	34,00	16.754	3,7,9,10,14,18,24,38,41,56,68,70	46.871,72	150.786,00
ITB2	6,00	38,00	14.267	1,11,15,19,26,29,43,45,50,57,61,62,63,67,74	98.527,46	128.403,00
ITB3	10,00	23,00	10.604	4,23,25,27,34,51,66,69,72,75	46.541,25	95.436,00
ITB4	9,00	26,00	12.518	2,8,30,33,47,52,58,64,73	46.991,73	112.662,00
ITB5	13,00	26,00	16.161	32,35,36,37,40,44,49,53	35.318,86	145.449,00
ITB6	7,00	31,00	9.401	12,13,17,21,22,46,48,55,59,60,65	31.527,37	84.609,00
ITB7	15,00	29,00	10.297	5,6,28,31,39,42,54	30.298,24	92.673,00
ITB8	18,00	23,00	4.925	16,20,71	17.393,74	44.325,00
<b>Total</b>			<b>94.927,00</b>		<b>353.470,37</b>	<b>854.343,00</b>

A partir das oito instalações definidas na tabela 13 rodou-se novamente o modelo para quatro instalações de reciclagem – ITR. Escolheu-se quatro ITR com capacidade de 120 metros cúbicos por dia cada uma. Este é o tamanho de instalação que se apresenta economicamente viável para esta quantidade de RCD, e tem capacidade ociosa para absorver os acréscimos de volumes decorrentes de flutuações não captadas pelas projeções. Os dados

de entrada no modelo são as coordenadas locais das instalações de transbordo, os volumes de resíduos de construção e demolição recebidos das ITB, que correspondem a 49% do total de entulhos, e a taxa de transporte em caçambas de 30 metros cúbicos, que é de R\$ 0,33/ m<sup>3</sup>.Km para uma distância média de transporte de 10 quilômetros entre as instalações de transbordo e as instalações de reciclagem. Da mesma forma que nas ITB, inicialmente o modelo foi rodado sem considerar nenhum tipo de restrição e os dados obtidos são apresentados na tabela 14.

TABELA 14 - Localização das instalações de reciclagem sem restrições

No. Da ITR	Coordenadas		Volume (m3)	Atende às ITBs	Custo com Taxa R\$ 0,33
	x	y			
ITR1	17,00	34,00	8.210	1	0,00
ITR2	6,00	38,00	6.991	2	0,00
ITR3	13,00	26,00	15.377	5,7,8	10.645,86
ITR4	9,00	26,00	15.936	3,4,6	13.607,64
<b>Total</b>			<b>46.514,00</b>		<b>24.253,50</b>

Utilizando as mesmas considerações de restrições feitas para as ITB e rodando novamente o modelo a partir das coordenadas possíveis se obteve os resultados mostrados na tabela 15.

TABELA 15 - Localização das instalações de reciclagem com restrições.

No. Da ITR	Coordenadas		Volume (m3)	Atende às ITBs	Custo com Taxa R\$ 0,33
	x	y			
ITR1	19,00	36,00	8.210	1	7.663,06
ITR2	7,00	39,00	6.991	2	3.262,63
ITR3	8,00	24,00	15.377	5,7,8	36.397,09
ITR4	4,00	25,00	15.936	3,4,6	31.362,46
<b>Total</b>			<b>46.514,00</b>		<b>78.685,24</b>

A figura 14 apresenta os nós fixos e as instalações de transbordo e de reciclagem para a rede de RCD de Curitiba, obtidas pela aplicação do MMCG. Para as instalações de transbordo e de reciclagem são apresentadas as localizações com e sem restrições.

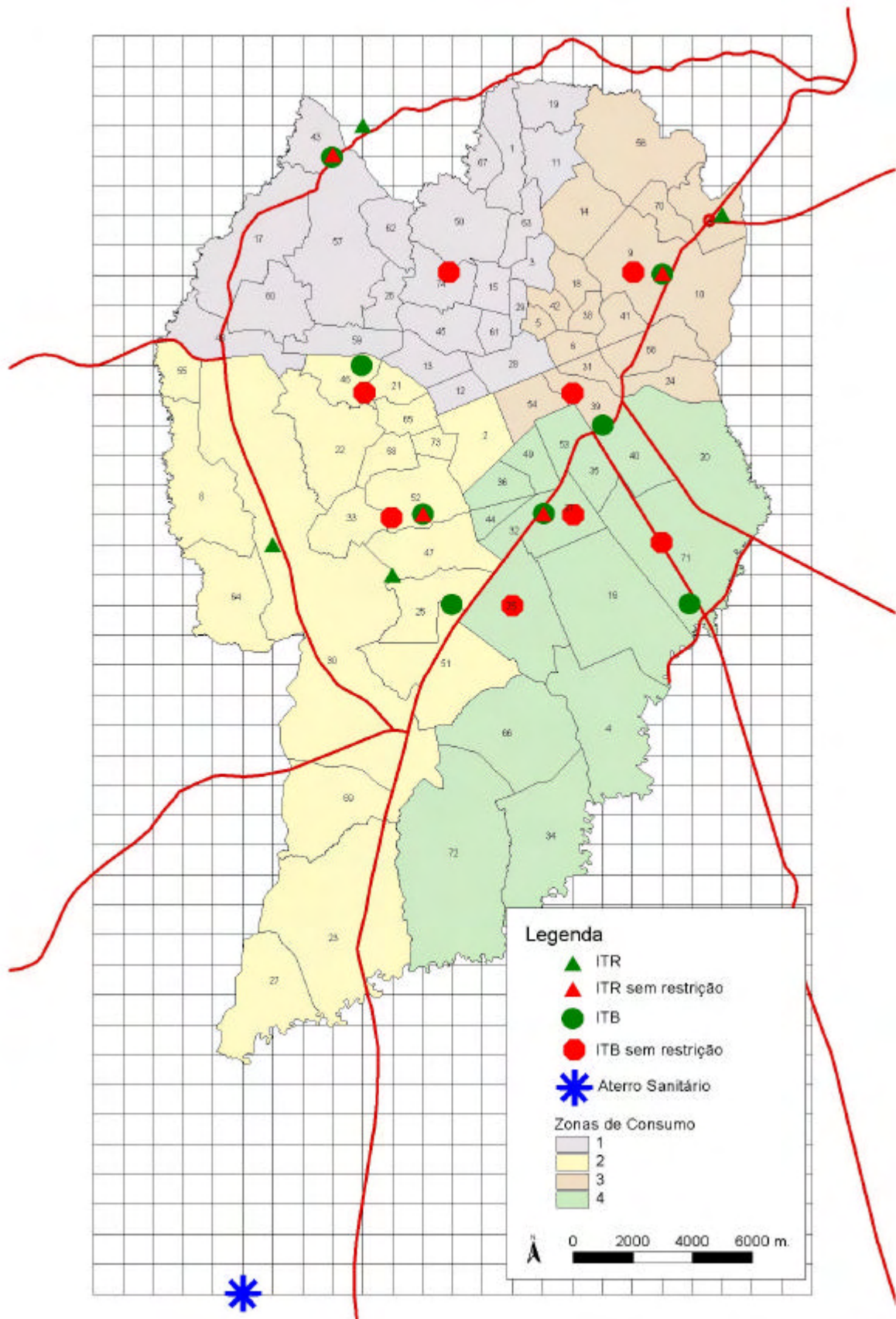


FIGURA 14 - Mapa com a localização das instalações



## 6.5 DEFINIÇÃO DAS DISTÂNCIAS ENTRE AS INSTALAÇÕES

A localização da unidade de disposição final é conhecida. As zonas de consumo são localizadas pelos seus centros de gravidade e as suas coordenadas estão definidas no quadro 14.

QUADRO 14 - Coordenadas das zonas de consumo

Zonas de Consumo	Coordenadas	
	X	Y
Zona de Consumo 1	12,65	37,25
Zona de Consumo 2	8,47	32,15
Zona de Consumo 3	14,22	26,37
Zona de Consumo 4	9,03	24,47

As coordenadas das ITB e ITR foram definidas através do MMCG e a localização dos mercados secundários é conhecida. As distâncias cartesianas entre os nós da rede são mostradas na tabela 16, as quais foram obtidas considerando-se as coordenadas de cada um destes pontos. Para as distâncias entre instalações de transbordo e instalações de reciclagem, e entre as instalações de transbordo e o aterro sanitário, foi considerado um fator de correção de 21%. Para as distâncias entre instalações de reciclagem e zonas de consumo e entre instalações de transbordo e mercado secundário foi considerado um fator de correção de 41%. Com relação ao primeiro fator de correção, justifica-se por serem traçados comparados a rodovias; com relação ao segundo fator de correção, justifica-se por se tratarem de deslocamentos dentro da malha urbana. Estes fatores são normalmente utilizados para correção da sinuosidade dos caminhos, uma vez que o método utilizado para calcular as distâncias entre nós não considera este aspecto.

TABELA 16 - Distâncias entre nós da rede em quilômetros

Instalações	Instalações										
	ITR1	ITR2	ITR3	ITR4	CONS1	CONS2	CONS3	CONS4	ASA	M1	M2
ITB1	3,42	13,53	16,28	19,13					44,49	22,29	7,59
ITB2	15,92	1,71	17,11	15,92					46,12	24,14	22,29
ITB3	19,13	19,70	2,71	7,65					29,09	3,99	15,25
ITB4	17,11	15,92	2,71	6,17					32,29	7,19	14,72
ITB5	14,11	17,32	6,52	10,96					33,71	9,97	9,46
ITB6	15,73	9,68	8,56	8,12					37,82	14,17	17,15
ITB7	9,76	15,50	10,41	14,16					37,98	14,99	5,64
ITB8	15,78	23,49	12,16	17,11					33,23	14,38	8,58
ITR1	0,00	14,97	19,70	22,51	8,58	16,50	15,76	22,02			
ITR2	14,97	0,00	18,19	17,32	8,92	9,97	20,82	21,34			
ITR3	19,70	18,19	0,00	4,99	19,64	11,28	8,92	1,41			
ITR4	22,51	17,32	4,99	0,00	21,15	11,37	14,17	7,19			

## 6.6 DEFINIÇÃO DOS CUSTOS

Para a rede de RCD de Curitiba foram definidos como elementos de custos fixos para as instalações de transbordo e instalações de reciclagem os custos do terreno, da edificação e das instalações e equipamentos. Para os valores iniciais destes elementos de custos foram calculados os valores futuros, utilizando-se uma taxa de oportunidade de 12% ao ano e deduzindo-se o seu valor residual no final do período considerado. Os valores futuros obtidos foram divididos pelo período considerado para se definir o montante de custo fixo a ser considerado por instalação por ano. A tabela 17 apresenta os custos fixos a serem considerados por instalação.

TABELA 17 – Custos fixos das instalações

<b>Instalações</b>	(1) Terreno	(2) Edificação	(3) Instalações/Eq.	Total (ano)	Investimento Total
Tempo de amortização (anos)	15	20	10		
Taxa de oportunidade (a.a)	12%	12%	12%		
<b>Instalações</b>					
ITB1	63.908,22	120.578,66	33.543,16	218.030,04	4.973.701,36
ITB2	55.919,69	120.578,66	33.543,16	210.041,52	4.700.023,07
ITB3	47.931,16	120.578,66	33.543,16	202.052,99	4.426.344,79
ITB4	47.931,16	120.578,66	33.543,16	202.052,99	4.426.344,79
ITB5	63.908,22	120.578,66	33.543,16	218.030,04	4.973.701,36
ITB6	47.931,16	120.578,66	33.543,16	202.052,99	4.426.344,79
ITB7	55.919,69	120.578,66	33.543,16	210.041,52	4.700.023,07
ITB8	55.919,69	120.578,66	33.543,16	210.041,52	4.700.023,07
ITR1	28.758,70	60.289,33	58.700,53	147.748,56	2.843.256,60
ITR2	9.586,23	60.289,33	58.700,53	128.576,10	2.186.428,71
ITR3	28.758,70	60.289,33	58.700,53	147.748,56	2.679.049,62
ITR4	9.586,23	60.289,33	58.700,53	128.576,10	2.843.256,60
<b>Total</b>				<b>2.224.992,91</b>	<b>47.878.497,83</b>

Como custos variáveis foram considerados os custos de transporte, de coleta, os custos de classificação, os custos de manuseio e consolidação de carga, o custo de produção e o custo de disposição final em aterro sanitário. A tabela 18 apresenta os custos variáveis a serem considerados na rede.

TABELA 18 – Custos variáveis (em R\$)

<b>Discriminação</b>	<b>Unidade</b>	<b>Geral</b>	<b>ITB</b>	<b>ITR</b>	<b>K</b>	<b>Aterro</b>
Custo de Transporte	m <sup>3</sup> .Km	0,33				
Custo de coleta	m <sup>3</sup>		5,60		5,60	
Custo de classificação	m <sup>3</sup>		1,20			
Custo de manuseio e consolidação	m <sup>3</sup>		0,12			
Custo de produção	m <sup>3</sup>			12,78		
Custo de disposição	m <sup>3</sup>		1,00	1,00		1,00
Penalidade de custo por demanda não atendida	m <sup>3</sup>				800.000,00	
Penalidade de custo por coleta não realizada	m <sup>3</sup>				800.000,00	

## 6.7 APLICAÇÃO DO MODELO DE REDE REVERSA DE RESÍDUOS

O objetivo da aplicação do MRRR ao caso dos resíduos de construção e demolição no Município de Curitiba é formatar a rede de distribuição ótima, definindo as instalações de transbordo e reciclagem que deverão ser capacitadas, que zona de geração deve enviar para que instalação de transbordo e quanto, que instalação de transbordo deverá enviar para que mercado secundário e quanto, que instalação de transbordo deverá enviar para que instalação de reciclagem e quanto, e que instalação de reciclagem deverá atender que zona de consumo e em que quantidade.

Será verificado, também, que impacto terá na solução ótima e no custo total da rede, a variação da taxa de envio de resíduos para o aterro sanitário, reduzindo-se esta e aumentando-se a taxa de envio para as instalações de reciclagem. Através de alteração direta dos coeficientes das variáveis relativas aos imposto incidente sobre os reciclados vendidos nas zonas de consumo, e sobre os recicláveis vendidos no mercado secundário, será verificado o impacto destas variações sobre a base ótima. Finalmente, também através de substituição direta no MRRR, serão verificados, para os diversos patamares de taxa de resíduos enviados para o aterro sanitário, os impactos da alteração da alíquota de imposto.

Os dados de entrada para o modelo são os volumes gerados e consumidos, as instalações candidatas, os custos fixos das instalações, os custos variáveis e os parâmetros. Os volumes nas zonas de geração são obtidos das projeções realizadas para os bairros e os volumes consumidos são obtidos pelas demandas nas áreas de consumo, que são uma fração dos volumes gerados nestas áreas (considera-se que as áreas de geração também são áreas de consumo). Os custos fixos das instalações são definidos na tabela 17 e os custos variáveis são baseados na tabela 18 e compostos da seguinte forma:

- Custo entre zona de geração e instalação de transbordo é igual ao custo de coleta;
- Custo entre instalação de transbordo e instalação de reciclagem é igual ao custo de coleta, mais o custo de transporte (taxa de transporte x distância), mais o custo de classificação, e mais o custo de manuseio e consolidação;
- Custo entre instalação de transbordo e mercado secundário é igual ao custo de coleta, mais o custo de transporte (taxa de transporte x distância), mais o custo de classificação, mais o custo de manuseio e consolidação, e mais o valor do imposto;

- Custo entre instalação de transbordo e aterro sanitário é igual ao custo de coleta, mais o custo de transporte (taxa de transporte x distância), mais o custo de classificação, mais o custo de manuseio e consolidação, e mais o custo de disposição;
- Custo das instalações de reciclagem para as zonas de consumo é igual ao custo de manuseio, mais o custo de transporte (taxa de transporte x distância), mais o custo de produção, e mais o imposto.

Os parâmetros utilizados para aplicação do modelo são apresentados na tabela 19.

TABELA 19 - Parâmetros utilizados no MRRR para a rede de RCD

Parâmetros		1	2	3	4	5	6	7	8
Volume total de entulho (VTE)=94.927 m <sup>3</sup>									
Fração de demanda dos consumidores K	dk	0,2100	0,2200	0,3600	0,2100				
Retorno dos consumidores K	rk	0,2100	0,2200	0,3600	0,2100				
Fração de reciclável que vai de ITB <sub>j</sub> para l	$\gamma_l$	0,4900	0,4900	0,4900	0,4900	0,4900	0,4900	0,4900	0,4900
Fração de entulho que vai de ITB <sub>j</sub> para A	$\gamma_a$	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300	0,2300
Fração de entulho que vai de ITB <sub>j</sub> para M	$\gamma_m$	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800	0,2800
Taxa de imposto	$\theta_i$	0,1700							
Capacidade mínima da ITB <sub>j</sub> (m <sup>3</sup> )	Sl <sub>j</sub>	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Capacidade máxima da ITB <sub>j</sub> (m <sup>3</sup> )	Sh <sub>j</sub>	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Capacidade mínima da ITR <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	Sl <sub>i</sub>	20.000	20.000	20.000	20.000				
Capacidade máxima da ITR <sub>i</sub> (m <sup>3</sup> )	Sh <sub>i</sub>	40.000	40.000	40.000	40.000				

O modelo aplicado ao caso dos RCD em Curitiba é constituído por 80 restrições, 124 variáveis contínuas e 12 variáveis inteiras. O MRRR foi rodado no *Software* LINDO, versão demonstração, que tem capacidade para 150 restrições e 300 variáveis. A aplicação do modelo resultou em 4 instalações de transbordo (ITB<sub>3</sub>, ITB<sub>4</sub>, ITB<sub>6</sub> e ITB<sub>7</sub>) e 2 duas instalações de reciclagem (ITR<sub>2</sub> e ITR<sub>3</sub>) capacitadas.

A tabela 20 apresenta os volumes dos fluxos entre os diversos nós da rede de RCD. Nessa configuração a zona de geração K<sub>1</sub> deverá enviar para as ITB<sub>6</sub> e ITB<sub>7</sub>, a zona K<sub>2</sub> enviará para a ITB<sub>3</sub>, a zona K<sub>3</sub> enviará para as ITB<sub>4</sub> e ITB<sub>6</sub> e a zona K<sub>4</sub> enviará para as ITB<sub>3</sub> e ITB<sub>6</sub>. A instalação de transbordo ITB<sub>3</sub> atenderá a instalação de reciclagem ITR<sub>3</sub> e o mercado secundário M<sub>1</sub>, a ITB<sub>4</sub> atenderá as ITR<sub>2</sub> e ITR<sub>3</sub> e o mercado secundário M<sub>1</sub>, a ITB<sub>6</sub> enviará para a ITR<sub>2</sub> e o mercado secundário M<sub>1</sub> e a ITB<sub>7</sub> atenderá a ITR<sub>3</sub> e o mercado secundário M<sub>2</sub>. Todas as instalações de transbordo encaminharão os resíduos, que são tecnicamente inviáveis para a reciclagem, para o aterro sanitário.

TABELA 20 - Fluxos entre os diversos nós da rede de RCD.

Nós Da Rede	Nós da Rede													Total
	ITB <sub>3</sub>	ITB <sub>4</sub>	ITB <sub>6</sub>	ITB <sub>7</sub>	ITR <sub>2</sub>	ITR <sub>3</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>	Aterro	K <sub>1</sub>	K <sub>2</sub>	K <sub>3</sub>	K <sub>4</sub>	
	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	Volume	
K <sub>1</sub>			4.938	15.000										19.938
K <sub>2</sub>	20.884													20.884
K <sub>3</sub>		30.000	4.174											34.174
K <sub>4</sub>	9.116		10.814											19.930
ITB <sub>3</sub>						14.700	8.400		6.900					30.000
ITB <sub>4</sub>					2.886	11.814	8.400		6.900					30.000
ITB <sub>6</sub>					9.764		5.579		4.583					19.926
ITB <sub>7</sub>					7350			4.200	3.450					15.000
ITR <sub>2</sub>										9.866	10.134			20.000
ITR <sub>3</sub>											203	16.445	9.866	26.514
Total	30.000	30.000	19.926	15.000	20.000	26.514	22.739	4.200	21.833	9.866	10.337	16.445	9.866	

Com relação aos fluxos para atendimento das zonas de consumo de reciclados de construção civil, a instalação de reciclagem ITR<sub>2</sub> atenderá as zonas K<sub>1</sub> e K<sub>2</sub>, e a instalação de reciclagem ITR<sub>3</sub> atenderá às zonas K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub> e K<sub>4</sub>. O custo total anual para esta solução é de R\$ 3.581.906,00.

## 6.8 VARIAÇÃO DA TAXA DE ENVIO PARA O ATERRO SANITÁRIO

Com a possibilidade de melhoria na qualidade dos resíduos nas zonas de geração, através de critérios de separação mais rígidos, as taxas de envio para o aterro sanitário seriam reduzidas e as taxas de RCD encaminhadas para as instalações de reciclagem seriam aumentadas. Analisar-se-á o impacto que a variação dessas taxas causará na solução ótima encontrada em termos de custo total e de alteração da base.

A variação da taxa de envio de entulhos para o aterro sanitário implica na variação do lado direito das restrições, que envolvem os fluxos das instalações de transbordo para o aterro sanitário ( $X_{ja}$ ) e os fluxos das instalações de transbordo para as instalações de reciclagem ( $X_{ji}$ ). Substituindo-se os novos valores em patamares de variação de 10% em 10%, diretamente no MRRR, obteve-se a solução apresentada no quadro 15, onde são mostradas as reduções nas taxas de envio para o aterro sanitário, situação de cada instalação (capacitada ou não capacitada), o nível de ocupação das instalações e o custo total da solução.

QUADRO 15 - Variação do custo total e da base ótima em função da redução da taxa de envio para o aterro sanitário

Redução	ITB2		ITB3		ITB4		ITB6		ITB7		ITR2		ITR3		Custo Total
	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	Sit.	Ocup. %	
0%	NC	0%	CP	100%	CP	100%	CP	66%	CP	50%	CP	50%	CP	66%	3.581.906,00
10%	NC	0%	CP	100%	CP	100%	CP	66%	CP	50%	CP	50%	CP	71%	3.586.010,00
20%	CP	50%	CP	100%	CP	92%	CP	74%	NC	0%	CP	50%	CP	76%	3.597.141,00
30%	CP	50%	CP	100%	CP	96%	CP	71%	NC	0%	CP	50%	CP	81%	3.604.464,00
40%	CP	50%	CP	100%	CP	100%	CP	66%	NC	0%	CP	51%	CP	84%	3.606.309,00
50%	CP	66%	CP	100%	CP	100%	CP	50%	NC	0%	CP	51%	CP	88%	3.615.668,00
60%	CP	66%	CP	100%	CP	100%	CP	50%	NC	0%	CP	51%	CP	91%	3.619.973,00
70%	CP	66%	CP	100%	CP	100%	CP	50%	NC	0%	CP	51%	CP	94%	3.624.326,00
80%	CP	66%	CP	100%	CP	100%	CP	50%	NC	0%	CP	51%	CP	96%	3.628.722,00

Sit. = Situação da Instalação      NC = Instalação Não Capacitada  
Ocup. = Nível de Operação      CP = Instalação Capacitada

Para as faixas de redução na taxa de envio de 0% e 10% não há variação nas instalações capacitadas e as ITB<sub>3</sub> e ITB<sub>4</sub> operam com a sua capacidade máxima. Para os patamares acima de 10% (20% a 80%), a base se altera, saindo a ITB<sub>7</sub> e entrando a ITB<sub>2</sub>. Nesta nova situação (na faixa de 20%), há uma pequena redução na ocupação da ITB<sub>4</sub> (de 100% para 92%), voltando esta instalação a operar com sua capacidade máxima a partir da faixa de redução de 40%. Pode-se observar também, a partir da faixa de 40%, um intercâmbio entre as taxas de ocupação da ITB<sub>2</sub> e da ITB<sub>6</sub>, com um acréscimo da primeira e um decréscimo da segunda. O custo total da solução aumenta com a redução da taxa de envio para o aterro sanitário e o aumento da taxa de envio para as instalações de reciclagem. A equação 39 apresenta a relação entre a variação na taxa de envio e o custo total.

$$y = 57,677x + 3584,6 \quad (39)$$

Onde:

y = Custo total da solução (em R\$.1000);

x = Variação na taxa de envio para aterro sanitário (%);

O coeficiente de correlação ao quadrado ( $R^2$ ) para a equação é de 0,9868.

## 6.9 VARIAÇÃO NA ALÍQUOTA DE IMPOSTO

Uma das possibilidades de redução dos coeficientes de custo da função-objetivo seria a mudança da alíquota de imposto. O imposto incide sobre os produtos comercializados nas

zonas de consumo de reciclados de materiais de construção civil e sobre os recicláveis vendidos em mercados secundários. As variáveis que correspondem a esses fluxos são  $X_{ik}$  e  $X_{jm}$  e como se trata de redução nos impostos, portanto reduções nos coeficientes das variáveis, foram estabelecidas faixas de variação para a redução dos impostos em patamares de 10% até uma redução máxima de 50%. Estes valores de coeficientes foram recalculados e substituídos diretamente no MRRR, considerando-se a base inicial. O quadro 16 apresenta os patamares de redução do valor do imposto, as instalações capacitadas e o custo da solução considerando-se a redução proposta.

QUADRO 16- Impactos da variação de impostos sobre a solução inicial

Redução de Impostos	Instalações							Custo (R\$)
	ITB <sub>2</sub>	ITB <sub>3</sub>	ITB <sub>4</sub>	ITB <sub>6</sub>	ITB <sub>7</sub>	ITR <sub>2</sub>	ITR <sub>3</sub>	
0%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.581.906
10%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.565.373
20%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.549.093
30%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.539.953
40%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.516.212
50%	NC	CP	CP	CP	CP	CP	CP	3.499.718

NC - Instalação não capacitada  
CP - Instalação capacitada

Pode-se observar que os custos totais da solução reduzem com a redução da taxa de impostos e que a base não se altera. A equação 40 mostra a relação entre a variação na taxa de envio e o custo total da solução.

$$y = -162,16x + 3582,6 \quad (40)$$

Onde:

$y$  = Custo total da solução (em R\$.1000);

$x$  = Variação na alíquota de imposto (%);

O coeficiente de correlação ao quadrado ( $R^2$ ) para a equação é de 0,9906.

## 6.10 VARIAÇÃO NA TAXA DE ENVIO E REDUÇÃO NA ALÍQUOTA DE IMPOSTO EM CONJUNTO

Outra possibilidade de alteração na base ótima inicial seria uma variação conjunta da taxa de envio para o aterro sanitário e uma redução na alíquota de imposto. Para estudar este

impacto conjunto sobre a base ótima, o procedimento adotado para o estudo da variação de impostos foi replicado para cada faixa de redução de envio para aterro sanitário. Construiu-se um quadro similar ao quadro 15 para cada faixa, verificando-se neste quadro a coluna custo e as instalações capacitadas na rede. Os resultados foram resumidos na tabela 21, que mostra as combinações de faixa de variação, os valores da solução e as equações que relacionam o custo total da solução com as variações nas taxas.

TABELA 21 - Relação entre redução na alíquota de imposto e redução na taxa de envio para o aterro

Redução da Taxa de Envio	Redução na alíquota de imposto						Equação	R <sup>2</sup>
	0%	10%	20%	30%	40%	50%		
0%	3.581.906	3.565.373	3.549.093	3.539.953	3.516.212	3.499.718	$y = -162,16x + 3582,60$	0,9906
10%	3.586.010	3.568.972	3.551.812	3.537.901	3.517.194	3.499.194	$y = -172,38x + 3586,60$	0,9978
20%	3.597.141	3.569.065	3.561.660	3.547.364	3.526.099	3.508.185	$y = -167,99x + 3593,60$	0,9812
30%	3.604.464	3.586.308	3.568.226	3.553.110	3.531.896	3.513.596	$y = -180,77x + 3604,48$	0,9986
40%	3.606.309	3.587.811	3.569.395	3.553.489	3.532.379	3.513.726	$y = -184,32x + 3606,60$	0,9999
50%	3.615.668	3.596.790	3.577.982	3.561.581	3.540.206	3.521.168	$y = -188,19x + 3615,90$	0,9991
60%	3.619.973	3.600.802	3.581.712	3.565.018	3.543.350	3.524.019	$y = -191,09x + 3620,30$	0,9992
70%	3.624.326	3.604.890	3.585.548	3.568.590	3.546.656	3.527.061	$y = -193,71x + 3624,60$	0,9992
80%	3.628.722	3.609.048	3.589.477	3.572.280	3.550.108	3.530.274	$y = -196,07x + 3629,00$	0,9992
Equação	$y = 57,67x + 3584,60$	$y = 59,40x + 3563,90$	$y = 52,10x + 3549,70$	$y = 44,19x + 3537,80$	$y = 44,46x + 3516,00$	$y = 40,84x + 3498,90$		
R <sup>2</sup>	0,9868	0,9606	0,9801	0,9701	0,9775	0,9707		

Para as reduções acima de 10% da taxa de envio e de 10% na alíquota de imposto, as instalações de transbordo capacitadas passam a ser as ITB<sub>2</sub>, ITB<sub>3</sub>, ITB<sub>4</sub> e ITB<sub>6</sub>, saindo a ITB<sub>7</sub> e mantendo-se as mesmas instalações de reciclagem capacitadas. A redução da taxa de envio para o aterro sanitário impacta de forma crescente os custos totais para todas as faixas de redução de imposto, e a redução do imposto, ao contrário, tem um impacto decrescente nos custos para todas as faixas de redução da taxa de envio.

A relação entre os coeficientes angulares das retas que indicam os impactos da redução de imposto e da redução de taxa de envio vai de -2,81 (-162,16/57,65 para 0% e 0%, respectivamente), para -4,60 (-188,19/40,84 para 50% e 50%, respectivamente), indicando que o impacto da redução de imposto sobre a solução é mais significativo que a redução da taxa de envio para o aterro sanitário. Desta forma, quando se avalia a solução simplesmente pelo lado de custo total, a melhor política seria a redução de impostos.



## 7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Neste capítulo serão apresentadas as principais conclusões a respeito da sistemática proposta, de sua aplicação ao caso do município de Curitiba, dos objetivos relativos à logística reversa e dos impactos diferenciados causados pela alteração na política de impostos e na melhoria da qualidade do resíduo gerado. Além destas conclusões, serão abordados aspectos que poderão ser temas para futuros desenvolvimentos, tanto dentro da logística reversa, quanto no caso específico do problema dos resíduos de construção e demolição e do modelo de rede reversa de resíduos.

### 7.1 CONCLUSÕES

A sistemática para estruturação de uma rede logística reversa de distribuição para o sistema de coleta, processamento e recuperação de resíduos da construção civil, desenvolvida neste trabalho, pode contribuir de maneira eficiente para a formatação de redes reversas de resíduos da construção, ou de redes reversas similares. A aplicação da sistemática ao caso dos resíduos de construção e demolição no município de Curitiba possibilitou o desenho de uma rede otimizada em termos de menor custo total, onde foram localizadas as instalações de transbordo e de reciclagem, dentro de uma estrutura com alguns nós fixos pré-definidos.

No modelo de rede formatado para o município de Curitiba foram capacitadas 4 instalações de transbordo das 8 instalações candidatas e 2 instalações de reciclagem das 4 instalações candidatas. Verificou-se que uma variação na taxa de envio para o aterro sanitário, num patamar superior a 10%, altera a situação inicial das instalações de transbordo capacitadas (saindo a ITB<sub>7</sub> e entrando a ITB<sub>2</sub>). As instalações de transbordo ITB<sub>3</sub> e ITB<sub>4</sub> são as de menor custo dentro da rede, pois têm as maiores taxas de ocupação para qualquer patamar de variação da taxa de envio. Com relação às instalações de reciclagem, a ITR<sub>3</sub> é a instalação de menor custo porque absorve todos os acréscimos de resíduos decorrentes das reduções da taxa de envio para o aterro sanitário.

A variação na taxa de envio para o aterro sanitário tem um impacto crescente no custo total da rede, com incrementos de aproximadamente R\$ 5.767,70 para cada 1% de redução nesta taxa, o que representa em torno de 0,16% do custo total inicial. A variação na alíquota de imposto não altera as instalações capacitadas na solução inicial, mas tem um impacto negativo nos custos iniciais com uma redução de aproximadamente R\$ 16.216,00 para cada 1% de redução na alíquota de imposto, o que equivale a 0,45% do custo total da solução inicial.

Quando são cruzados os incrementos negativos da taxa de envio e da alíquota de imposto, se observa uma redução na sensibilidade à variação na taxa de envio, ou seja, a inclinação da reta formada entre redução de taxa de envio e custo total da rede passa de 57,67, com 0% de redução de imposto e 0% de redução de taxa de envio, para 40,84, com redução de 80% de taxa de envio e 50% de taxa de imposto. Fazendo-se a mesma verificação para a redução do imposto, observa-se um aumento da sensibilidade, passando o coeficiente angular de 162,16, com 0% de redução de imposto e 0% de redução de taxa de envio, para 196,97, com 50% de redução no imposto e 80% de redução na taxa de envio. Isto significa que os acréscimos causados pela redução da taxa de envio são mais do que compensados pela redução dos impostos.

Como todo o estudo foi elaborado levando-se em conta o lado dos custos totais sem considerar as receitas do sistema, para que a melhoria na qualidade do resíduo fosse incentivada, um imposto menor poderia ser utilizado como prêmio por incrementos negativos da taxa de envio para aterro sanitário. O incentivo de imposto é suficiente para compensar os acréscimos de custos causados pela redução das taxas de envio para o aterro sanitário; como pode ser observado, para uma redução de 80% na taxa de envio e um incentivo de 50% na alíquota de imposto, o custo total cai de R\$ 3.581.906,00 na solução inicial para R\$ 3.530.274,00 na nova situação.

Verificou-se, ao longo deste trabalho, que as condicionantes legais vêm forçando as organizações a tomarem medidas relacionadas à gestão ambiental de seus processos, medidas estas que são tratadas dentro dos Sistemas de Gestão Ambiental – SGA. A logística reversa interage diretamente com o SGA na área de gerenciamento de resíduos sólidos, tendo as suas atribuições confundidas com este gerenciamento. Indiretamente, a logística reversa interage com o SGA contribuindo para a redução do consumo de matérias-primas, economia de

energia e melhoria das condições ambientais. Isso vem sendo encarado por algumas empresas como uma oportunidade para a obtenção de vantagens competitivas, através da redução de seus custos com as condições proporcionadas pela aplicação de uma política de gestão ambiental. As reduções de custos podem vir de reduções de despesas com seguros, redução de consumo de matérias-primas e energia, melhorias no controle de custos, redução das atividades que resultam em acidentes, maior facilidade na obtenção de permissões e licenças, redução dos custos de cumprimento das legislações ambientais e melhoria das relações entre a indústria e o Estado.

## 7.2 SUGESTÕES PARA DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

No campo da logística reversa, um assunto que precisa ser melhor esclarecido é a colocação desta disciplina frente ao sistema de gestão ambiental, mostrando exatamente quais são as funções da logística reversa neste sistema. Além disso, uma definição também importante seria sobre o relacionamento da logística reversa com a cadeia de suprimentos tradicional, respondendo questões como: a logística reversa poderia ser tratada como uma extensão da cadeia de suprimentos tradicional ou em que casos isto poderia ocorrer?

Em relação ao estudo de caso abordado neste trabalho, que trata dos resíduos de construção e demolição – RCD no município de Curitiba, são sugeridas três possibilidades para futuros desenvolvimentos.

A primeira refere-se a uma abordagem para o estudo de caso sob o ponto de vista das receitas do sistema, uma vez que o assunto foi tratado sob a ótica do custo total da rede, não levando em conta as receitas obtidas.

A segunda possibilidade refere-se à precariedade dos dados relativos a resíduos de construção e demolição disponíveis no município de Curitiba. A elaboração de um trabalho com o objetivo de definir o perfil dos resíduos sólidos de construção civil no município seria muito importante. Além disso, como desdobramento deste trabalho, poderia ser feita uma padronização do Manifesto de Transporte de Resíduos (MTR), o que possibilitaria, ao longo

do tempo, um acompanhamento de volumes, classificação desses resíduos e a verificação de sua destinação.

Finalmente, a terceira possibilidade de desenvolvimento futuro refere-se ao arranjo institucional para o funcionamento da rede de resíduos de construção e demolição. Este modelo deverá trazer, entre outras, definições sobre a participação dos vários órgãos envolvidos como o poder público, a comunidade, as empresas e as associações de classe ligadas ao problema. O modelo deverá trazer, também, definições sobre a forma de gerenciamento e a participação financeira das diversas entidades envolvidas no sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERTAR-ASSOCIAÇÃO DOS COLETORES E TRANSPORTADORES DE RESÍDUOS DE CURITIBA E REGIÃO. **Relatório anual**. Curitiba, 2000.

ANDRADE, Artemária C.; UBIRACI, E. L. Souza; PALIARI, José S. et al. **Estimativa de quantidade de entulho produzido em obras de construção de edifícios**. Artigo. p. 65-45. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON:São Paulo; Junho 2001.

ANDRADE, Eduardo L. **Introdução à pesquisa operacional**; métodos e técnicas para análise de decisão. Rio de Janeiro:LTC, 1989.

ÂNGULO, Sergio G.; JORDAN, Sergio E.; JHON, Vanderley M. **Desenvolvimento sustentável e reciclagem de resíduos na construção civil**. Artigo. p.. 43 - 56. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Junho 2001.

ANUATTI, Francisco. **Políticas públicas para reciclagem e reutilização de resíduos**. Artigo. 10 p. Departamento de Economia, FEA/USP:Ribeirão Preto – SP,1999.

BALLOU, Ronald H. **Logística empresarial**; transportes, administração de materiais; distribuição física. Editora Atlas: São Paulo, 1993.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**; planejamento organização e logística empresarial. 4ª ed. Boockman: Porto Alegre,2001.

BARROS, A. I. ; DECKER R. Scholten, V. **A two level network for recycling sand**; a case study. European Journal of Operational Resesarch;1998.

BONILHA, Juliana Z. **Textos didáticos de engenharia**; instruções para apresentação de trabalhos. Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 1996.

CALDERONI, Sabetai. **Os bilhões perdidos no lixo**. Humanitas: São Paulo, 1997. 3ª Ed.

CAPRA, Fritjof. **O ponto de mutação**; a ciência, a sociedade e a cultura emergente. Cultrix: São Paulo, 1982.

COMPROMISSO EMPRESARIAL COM A RECICLAGEM-CEMPRE. **CEMPRE – informa**. no.53. ano VIII, Set./Out./2000.

CHENNA, Sinara I.M. **O manejo e a reciclagem de entulho em Belo Horizonte**. Artigo p. 3-11. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Junho, 2001.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimentos**; estratégia para redução de custos e melhoria dos serviços. Pioneira: São Paulo, 1997.

CHRISTOPHER, Martin. **O marketing da logística**; otimizando processos para aproximar fornecedores e clientes. Futura: São Paulo, 1999.

CÓDIGO DE DEFESA DO CONSUMIDOR – CDC. Senado Federal: Brasília, 1999.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA-CNI. **Competitividade e crescimento**; a agenda da indústria. Brasília, 1998. 98p.

CONGRESSO NACIONAL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**; relatório preliminar; institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; acrescenta artigo à Lei 9605. Brasília, Agosto, 2001.

CONSTITUIÇÃO DA REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL. **Coleção manual de legislação atlas**. Editora Atlas: São Paulo, 1991.

CUNHA, Claudio Barbieri. **Roteirização e programação de veículos**. Programa de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Working Paper, São Paulo, 1997.

CZAJA, Mauricio C. **Formação de equipe para o projeto do produto sustentável.** Revista do Meio Ambiente Industrial; Ano V; Ed.31 n. 30; Maio/Junho, 2001.

DEBO; Lourens G.; TOKTAY L. Bril; WASSENHOVE Luk Van. **Market segmentation and production technology;** selection for remanufacturable products. Work Paper, Fontainebleu, France, June 2001.

DITTMANN, Bernd. **Economia e ecologia em conflito.** Série Papers, n.33; p. 37-49. Fundação Konrad Adenauer : Stiftung, 1998.

DORNIER, Philippe-Pierre; ERNEST Richard; FENDER Michel et al. **Logística e operações globais;** Textos e Casos. Atlas: São Paulo, 2000.

FERRAZ, Gentil R.; MASSUDA Osvaldo; ASSIS, Cássia S. et al. **Estações de classificação e transbordo na cidade de São Paulo.** Artigo p. 75-86. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Junho, 2001.

FERREIRA, Aurélio B. H. **Dicionário básico da língua portuguesa.** Nova Fronteira: São Paulo, 1995.

FLEISCHMANN, Moritz; ROELOF, Kuik. **On optimal inventory control with stochastic item returns.** Paper 22 p. Faculty of Business Administration, Erasmus University, Rotterdam, Netherlands, 2000.

FLEISCHMANN, Moritz. **Quantitative models for reverse logistics;** Lecture notes in economics and mathematical systems; 501. Berlin, Germany: Springer, 2001.

GIASANTE, A. E.; LEVY, S. M. **As implicações dos resíduos da construção civil na limpeza pública.** Artigo p. 39-42. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Junho, 2001.

GOERGEN, Lissandra R.; DORKI, Célia ; CASA, Fernando et al. **Análise do ciclo de vida;** ferramenta para avaliação de performance ambiental de produtos; processos e materiais referentes à indústria automobilística. Artigo. < [www.cempre.org.br](http://www.cempre.org.br) >;2000.

HILLEGERSBERG, VAN, Jos; ZUIDWIJK, Rob et al. **Supporting return flow in the supply chain.** Work Paper. Communications of the ACM, June, 2001. v.44, n.6.

HOJDA, Ricardo G. **ISO 14000:** prevenindo o apagão. Revista do Meio Ambiente Industrial. Ano V, Ed. 31 n. 30; Maio/Jun.,2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS – IBAMA. Home Page, <[www2.ibama.gov.br](http://www2.ibama.gov.br)>, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA – IPPUC. **Curitiba rumo ao próximo milênio.** Curitiba, Set.,1998. v. I.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTAS-ITCF. **Coletânea de legislação ambiental compilada.** Curitiba: Imprensa Oficial, 1986.

JHON, Vanderley; AGOPYAN, Vahan. **Reciclagem de resíduos na construção civil.** Artigo 13 p. Departamento de Engenharia de Construção Civil: Escola Politécnica da USP/PCC/USP, 2000.

KOBAYASHI, Shun'Ichi. **Renovação da logística;** como definir estratégias de distribuição física. Atlas: São Paulo, 2000.

KRIKKE, Harold. **Disassembly and recovery of pc-monitors of ROTEB.** Article. [www.roteb.rotterdam.nl/](http://www.roteb.rotterdam.nl/), jan/apr,1997.

LEITE, Paulo Roberto. **Série de artigos.** Rev Tecnológica: São Paulo, Mar/98/Abr/99.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa;** meio ambiente e competitividade.São Paulo: Prentice Hall, 2003.



LIMA, José A. Ribeiro. **Proposição de diretrizes para produção e normalização de resíduos de construção civil reciclado e de suas aplicações em argamassas e concretos.** Dissertação de Mestrado. 249 p.; Escola de Engenharia de São Carlos/USP,1999..

MACDOUGALL, Forbes; **Integrated waste management; LCA and its practical use.** Proctor & Gamble Technical Center, UK. In: Seminar “Lixo Municipal – Gerenciamento Integrado”. São Paulo – Brazil, Maio/2000.

MAKRIDAKIS, Spyros; Wheelwright, Steven C. **Forecasting methods & applications.** The Wiley series in management and administration; John Wiley & Sons: New York, 1978.

MIRANDA, Leonardo F. Rosembach. **Estudo dos fatores que influenciam na fissuração de argamassas de revestimentos com entulho reciclado.** Dissertação de Mestrado. 172 p. Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia Civil; São Paulo, 2000.

OLIVEIRA, Marcio J.E.; MATTOS, Juécio T.; ASSIS, Cássia S.. **Resíduos de concreto; classe III versus classe II.** Artigo. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo. Junho, 2001.

PARELLADA, Lazaro A. R. **Avaliação do sistema de remoção dos resíduos de construção e demolição através de caçambas coletoras posicionadas no espaço público urbano.** Dissertação de Mestrado,154 p. Escola de Engenharia de São Carlos/USP, 2001.

PELLEGRINI, Fernando; FOGLIATTO Flavio S. **Passos para implementação de sistemas de previsão de demanda;** Técnica e Estudo de Caso. Revista Produção. ABEPRO, p. 43-64; Novembro; 2001.

PEREIRA Sândhya A. **A experiência de Porto Alegre na coleta seletiva e reciclagem de resíduos sólidos domiciliares.** Artigo 10 p. Prefeitura Municipal de Porto Alegre, Departamento de Limpeza Pública,1999.

PHOLEN, T.L.; FARRIS II, M. **Reverse Logistics in Plastic Recycling.** International Journal of Physical Distribution & Logistics Management,1992.

PORTER, Michel E. **Estratégia competitiva**; Técnicas para análise de indústria e da concorrência. 7<sup>a</sup> ed. Campos: Rio de Janeiro – RJ, 1986.

PRADO, Darci Santos. **Programação linear**. Ed. Desenvolvimento Gerencial: Belo Horizonte, MG, 1999. Série Pesquisa Operacional, V.I.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA/Secretaria Municipal do Meio Ambiente-PMC/SMMA. **Gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos no município de Curitiba**. Curitiba, Maio/2000.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA – PMC. **Coletânea de legislação ambiental**. Ed. Unificado: Curitiba, 1998. 420p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA-PMC; **Pesquisa sobre os depósitos e coletores informais de materiais recicláveis do município de Curitiba**. Curitiba, 1999 a. v. I/X.

PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA-PMC. **Relatório anual 1999**. Curitiba, 1999 b.

RATLIFF, H. Donald; NULTY, Willian G. **Logistics composite modeling**. Technical Write Papers Series. The Logistics Institute at Georgia Tech: Atlanta, 1996.

RIBEIRO, Fabricio; SILVA, N. G. S., REZENDE, L. R. et al. **Utilização de entulho de construção civil em pavimentos flexíveis**. Artigo 12p. In: 11<sup>a</sup> Reunião de Pavimentação Urbana. Porto Alegre, RS; Julho, 2002.

ROGERS, Dale S.; TIBBEN-LEMBBKE Ronald S. **Going back words**; reverse logistics trends and pratices. University of Nevada: Reno, 1998. Center of Logistics Management, Reverse Logistics Executive Council.

RYAN, Sarah M.; JOKIM K.; LAFSSON Sigurdur. **Experimental study of reverse logistics e\_commerce**. Article. Industrial & Manufacturing Systems Engeneering. Iwoa State University: Ames, Iwoa, USA; 2000.

SECRETARIA DE ESTADO DO PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL – SEPL.  
**Plano integrado da Região Metropolitana de Curitiba;** Documento para Discussão.  
Curitiba, Set., 2001.

SECRETARIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE-SMMA. **Coletânea de legislação ambiental.** Curitiba, Maio/1991.

SILVA, Edna Lucia; MENEZES Estera M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** Universidade Federal de Santa Catarina, PPGEP/LED: Florianópolis, 2000.

SIMPÓSIO NACIONAL. **Desperdício de materiais nos canteiros de obra** – a quebra do mito. EPUSP, 23 a 24/06/1999, São Paulo, 1999.

STAPENHORST, Elizabeth; VALENTE Andréa J. **Estudo de instrumentos de apoio ao mercado de reciclagem com foco em bolsas de resíduos.** Monografia apresentada como requisito à conclusão do curso de especialização em Gerenciamento Ambiental na Indústria, SENAI/UFPR: Curitiba, Julho, 2001.

STOCK, James R. **Reverse logistics.** Council of Logistics Management: Oak Brook,IL, 1992.

TAKAMATSU, Alexandre A.; BUSH Lucio R. F. **Programa rede ZERI Paraná.** Artigo 10 p. Instituto de Tecnologia do Paraná/TECPAR, 1998.

TETRA PAK. **The environmental report in Tetra Pak's value chain.** Corporate Environmental Report, 1999.

THE INTERNATIONAL WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS-REVLOG.  
Coordinating Erasmus University, Rotterdam, Netherlands. Home-page,  
<[www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/](http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/)>,2000.

TEUNTER, Ruud H. **Economic ordering quantities for recoverable item inventory.** Paper 17 p. Aristotelis University of Thessaloniki/Department of Mechanical Engineering: Thessaloniki, Greece, July, 2000.

THONSON, Marjorie; PRINGLE Hamishe. **Marketing social**; maketing para causas sociais e a construção da marca. Makron Brooks, [1999?].

VAZQUEZ, Enric. **Aplicacion de nuevos materiales reciclados en la construccion civil**. Artigo p. 11-21. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Junho, 2001.

VEERAKAMOLMAL, Pitipong; GUPTA, M. Gupta. **Optimizing the supply chain in reverse logistics**.Article,Home-page,< [www.coe.ver.edu/nsmgupta/](http://www.coe.ver.edu/nsmgupta/)>,1998.

VILHENA, André; POLITI, Elie. **Reduzindo, reutilizando, reciclando**; a indústria ecoeficiente. São Paulo: CEMPRE/ SENAI, 2000.

WAGNER, Harvey M. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1986, 2ª.Ed.

WEBER, Jean E. **Matemática para economia e administração**. 2ª Ed. São Paulo: Harper & New do Brasil, 1986.

XAVIER, Luciana L.; ROCHA Janaide C. **Diagnóstico dos resíduos da construção civil**; inicio do caminho para o uso potencial do entulho. Artigo. P.57-63. In: Anais do IV Seminário “Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem na Construção Civil”. IBRACON: São Paulo, Jun. 2001.