

CARLOS ALBERTO FERREIRA LAGARINHOS

**RECICLAGEM DE PNEUS: ANÁLISE DO IMPACTO DA LEGISLAÇÃO
AMBIENTAL ATRAVÉS DA LOGÍSTICA REVERSA**

São Paulo

2011

CARLOS ALBERTO FERREIRA LAGARINHOS

**RECICLAGEM DE PNEUS: ANÁLISE DO IMPACTO DA LEGISLAÇÃO
AMBIENTAL ATRAVÉS DA LOGÍSTICA REVERSA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Engenharia

São Paulo

2011

CARLOS ALBERTO FERREIRA LAGARINHOS

**RECICLAGEM DE PNEUS: ANÁLISE DO IMPACTO DA LEGISLAÇÃO
AMBIENTAL ATRAVÉS DA LOGÍSTICA REVERSA**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo, para obtenção do
título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração:
Engenharia Metalúrgica e de Materiais

Orientador:
Prof.º Dr. Jorge Alberto Soares Tenório

São Paulo

2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, de dezembro de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Lagarinhos, Carlos Alberto Ferreira

Reciclagem de pneus: análise do impacto da legislação ambiental através da logística reversa / C.A.F. Lagarinhos. -- ed.rev. -- São Paulo, 2011.

291 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais.

**1. Pneus (Reciclagem) 2. Impactos ambientais (Análise)
I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais II. t.**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Simone e meus filhos Felipe e Gabriela, pela motivação e incentivo para atingir este objetivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Jorge Alberto Soares Tenório, pela orientação, amizade, profundo conhecimento e experiência; qualidades essenciais para a realização deste trabalho.

Aos amigos do Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, que colaboraram direta ou indiretamente, na execução deste trabalho.

Aos colegas da Goodyear e a Veyance, que cooperaram com sugestões e tempo para a realização das pesquisas.

Ao Srs. César Faccio da Reciclanip; Marcelo Alvarenga da Mazola Logística e Reciclagem de Pneus; José Carlos Arnaldi da AREBOP; Gérson César Souza da Superintendência do Desenvolvimento do Xisto; Renata Aranha do IBAMA; Zilda Maria Veloso do Ministério do Meio Ambiente; Yoshiro Kihara da ABCP; Guilherme Edel da Petrobras Distribuidora; Carlos Thomaz da ABR; Germano Julio Badi da *Tire Industry Association*; Maurílio José Netto da Trelleborg; e outros, que contribuíram com as informações, sugestões, literatura e que me permitiram conhecer as suas instalações.

Nada é imutável, tudo flui, a mudança é uma constante.

(Heráclito de Éfeso 540 a.C.)

RESUMO

O descarte de pneus inservíveis vem se tornando um problema mundial. No Brasil, desde 2002, os fabricantes e importadores são os responsáveis pela coleta e destinação desse material. A partir da revisão da Resolução nº 258/99 e aprovação da Resolução nº 416/09 houve um crescimento no número de pontos de coleta, empresas de pré-tratamento e valorização energética no país. O Brasil possui capacidade ociosa em todos os processos existentes de reciclagem e valorização energética. Este trabalho apresenta um estudo sobre a logística reversa dos pneus usados no Brasil, desde os pontos de coleta até a sua destinação final, avaliando o cenário atual e propondo mudanças para a melhoria dos sistemas implementados pelos fabricantes, importadores, revendas e distribuidores, e pelas empresas de pré-tratamento. Foram realizadas pesquisas de campo em pontos de coleta, empresas de pré-tratamento, borracharias, empresas de coprocessamento, de triagem e seleção, reformadores e recicladores, associações que representam os fabricantes, além de entidades internacionais que trabalham com a reciclagem de pneus com o objetivo de avaliar os modelos utilizados e comparar com o sistema implementado no Brasil. Trata-se de uma alternativa para o cumprimento das metas estabelecidas pelos órgãos ambientais para a redução do passivo ambiental. Foi montado um algoritmo genético para simulação da coleta e destinação dos pneus usados no Estado de São Paulo, sendo o excedente da capacidade enviado para os Estados de Minas Gerais e para o Paraná para coprocessamento.

Palavras-chave: Logística Reversa. Legislação. Tecnologias.

ABSTRACT

The discarding of dischargeable tires has becoming a worldwide problem. In Brazil, since 2002, the manufacturers and importers are responsible for collecting and destination of such product. Since the Resolution revision nº 258/99 and approval of Resolution nº 416/09 there was an improvement in the collect stations, pre-treatment and energetic valorization companies in the country. Brazil has an idle capacity in all existing recycling processes and energetic valorization. This thesis presents an analysis of reverse logistics for the tires used in Brazil, since the collect stations to the final destination, evaluating a nowadays scenario, proposing changes so that to improve the existing systems used by the manufacturers, importers, resale and dealers as well as for the pre-treatment companies. Field researches in the collect stations, pre-treatment, tire repair, co-processing companies, screening and selection, retread and recyclers, associations that represent the manufacturers and international entities which work with tires recycle, viewing analyze the models used by them and compare to the implemented system in Brazil. It is an alternative to comply with the established targets by the environmental entities for the reduction of the environmental liabilities. It was elaborated an algorithm and made a simulation of all collect and destination stations in São Paulo state, being the capacity surplus sent to Minas Gerais and Paraná states for co-processing.

Keywords: Reverse logistics. Legislation. Technologies.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – | Disposição de pneus em aterros sem controle..... | 25 |
| Figura 2 – | Disposição de pneus em vales..... | 25 |
| Figura 3 – | Disposição de pneus em aterros sanitários..... | 26 |
| Figura 4 – | Incêndios acidentais ou provocados..... | 27 |
| Figura 5 – | Diagrama de blocos da metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa..... | 34 |
| Figura 6 – | Pneu desenvolvido com o desenho da banda de rodagem..... | 38 |
| Figura 7 – | Diagrama de blocos do processo de construção de pneus..... | 44 |
| Figura 8 – | Fios (a), torção dos fios (b) e torção no cordonel (c)..... | 45 |
| Figura 9 – | Fios (a), torção nos fios em Z (b) e torção no cordonel em S (c)..... | 45 |
| Figura 10 – | Tecido quadrado (a) e cordonel (b)..... | 46 |
| Figura 11 – | Diagrama de blocos do processo de dipagem de poliéster, nylon, rayon e aramida..... | 48 |
| Figura 12 – | Cenário atual e futuro para a utilização de materiais para a construção de tecidos de engenharia para pneus..... | 50 |
| Figura 13 – | Corte transversal de um pneu de automóvel..... | 56 |
| Figura 14 – | Diagrama de blocos do desgaste da banda de rodagem dos pneus..... | 63 |
| Figura 15 – | Processo de trituração e granulação de pneus a temperatura ambiente..... | 66 |
| Figura 16 – | Centro de recepção e picotagem de pneus em Jundiaí-SP..... | 67 |
| Figura 17 – | Descarregamento dos pneus inservíveis..... | 67 |
| Figura 18 – | Trituração dos pneus em chips de 2”..... | 68 |
| Figura 19 – | Pilha de pneus triturados (a) em chips de 2” (b)..... | 68 |
| Figura 20 – | Estocagem de pneus triturados em chips de 2”..... | 69 |
| Figura 21 – | Carregamento e transporte dos chips de 2” para o coprocessamento na indústria de cimento..... | 69 |
| Figura 22 – | Dutos de talões removidos dos pneus de carga..... | 70 |
| Figura 23 – | Processo criogênico para a trituração e granulação dos pneus..... | 71 |
| Figura 24 – | Coprocessamento de pneus inservíveis no Brasil no período de 2001 a 2009..... | 89 |
| Figura 25 – | Logística reversa dos pneus inservíveis, dos pontos de coleta localizados nas capitais para a indústria de cimento..... | 90 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 26 – Diagrama de blocos do processo de coprocessamento de pneus com a rocha de xisto Pirobetuminoso..... | 95 |
| Figura 27 – Pneus inservíveis triturados, aguardando o coprocessamento na Petrobras SIX..... | 96 |
| Figura 28 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa Petrosix e emissão do certificado de destinação final..... | 99 |
| Figura 29 - Evolução do coprocessamento de pneus triturados com a rocha de xisto pirobetuminoso no período de 2004 a 2010..... | 102 |
| Figura 30 – Diagrama de blocos do sistema de responsabilidade dos fabricantes..... | 104 |
| Figura 31 – Diagrama de blocos do sistema de taxas..... | 105 |
| Figura 32 – Diagrama de blocos do sistema de mercado livre..... | 106 |
| Figura 33 – Pneu remoldado (a) , recauchutado (b) e recapado (c)..... | 107 |
| Figura 34 – Seção transversal do pneu radial (a), convencional ou diagonal (b) e cinturado – diagonal (c)..... | 108 |
| Figura 35 – Frequência de rejeição de produtos que causam impactos negativos ao meio ambiente,no período de 2008 a 2009..... | 129 |
| Figura 36 – Frequência de reciclagem de materiais no período de 2008 a 2009..... | 129 |
| Figura 37 – Diagrama de blocos do processo de logística direta dos fabricantes de pneus..... | 135 |
| Figura 38 – Diagrama de blocos simplificado do processo de logística direta e reversa..... | 139 |
| Figura 39 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos países membros da Comunidade Européia..... | 142 |
| Figura 40 – Reciclagem de pneus na Europa no período de 1992 a 2008.... | 144 |
| Figura 41 – Utilização de pneus inservíveis inteiros em obras de contenção de encostas..... | 145 |
| Figura 42 – Utilização de pneus triturados em obras de drenagem..... | 145 |
| Figura 43 – Utilização de pneus inservíveis triturados no processo de redução da sucata de aço | 146 |
| Figura 44 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa em Portugal..... | 148 |
| Figura 45 – Metas para reciclagem de pneus em Portugal x países membros da Comunidade Européia em 2009 (%)..... | 149 |
| Figura 46 – Reciclagem de pneus em Portugal no período de 2003 a 2009.. | 150 |
| Figura 47 – Logística reversa dos pneus usados na França..... | 152 |
| Figura 48 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados na Espanha..... | 157 |
| Figura 49 – Diagrama de blocos da logística reversa dos pneus usados no Reino Unido..... | 158 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 50 – Diagrama de blocos do processo de reciclagem de pneus usados na Alemanha em 2009..... | 161 |
| Figura 51 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados no Japão..... | 165 |
| Figura 52 – Reciclagem de pneus no Japão no período de 1996 a 2009..... | 165 |
| Figura 53 – Reciclagem de pneus nos Estados Unidos no período de 1990 a 2007..... | 167 |
| Figura 54 – Produção Mundial de pneus em 2008, por região (milhões)..... | 171 |
| Figura 55 – Produção Mundial de Pneus em 2008, por país (milhões)..... | 172 |
| Figura 56 – Mercado para os pneus novos, no período de 2002 a 2010..... | 174 |
| Figura 57 – Importação de pneus usados pelo Brasil no período de 1996 a 2010..... | 176 |
| Figura 58 – Custo para a importação dos pneus usados importados no período de 1996 a 2010..... | 177 |
| Figura 59 – Pneus recauchutados importados no período de 1996 a 2010... | 177 |
| Figura 60 – Diagrama de blocos do processo de gerenciamento da Reciclanip..... | 181 |
| Figura 61 – Diagrama de blocos de todo o processo de definição de metas e destinação dos pneus inservíveis pelos fabricantes..... | 182 |
| Figura 62 – Quantidade destinada no Brasil pelos fabricantes de pneus no período de 2000 a 2010, e a previsão para a reciclagem em 2011 e 2012..... | 183 |
| Figura 63 – Diagrama de blocos de logística reversa dos fabricantes de pneus..... | 187 |
| Figura 64 – Borracharia localizada na Rod. Castello Branco, próximo da Cidade de Barueri – SP, vista frontal..... | 190 |
| Figura 65 – Borracharia localizada na Rod. Castello Branco, próximo da Cidade de Barueri – SP, vista lateral..... | 191 |
| Figura 66 – Ponto de coleta localizado em Santa Catarina..... | 193 |
| Figura 67 – Ponto de coleta na cidade de Arquimedes – RO..... | 193 |
| Figura 68 – Ponto de coleta na cidade de Arquimedes – RO..... | 194 |
| Figura 69 – Ponto de coleta em Tangará - MG..... | 194 |
| Figura 70 – Ponto de Coleta em Perdizes – MG..... | 195 |
| Figura 71 – Ponto de coleta em Perdizes - MG, acondicionamento dos pneus..... | 195 |
| Figura 72 – Ponto de coleta em Apucarana – PR..... | 198 |
| Figura 73 – Separação e armazenamento de pneus de automóveis..... | 198 |
| Figura 74 – Pneus de carga separados dentro do ponto de coleta..... | 199 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 75 – Pneus de motos que são estocados amarrados para facilitar o transporte..... | 199 |
| Figura 76 – Pontos de coleta implementados pelos fabricantes por estado até agosto de 2010..... | 201 |
| Figura 77 – Evolução dos pontos de coleta no período de 2004 a julho de 2011, implementado pelos fabricantes..... | 202 |
| Figura 78 – Localização dos pontos de coleta por região, 31 de março de 2011..... | 204 |
| Figura 79 – Empresas de reciclagem de pneus inservíveis, em 2010..... | 205 |
| Figura 80 – Destinação de pneus no Brasil pelos fabricantes, no período de 2006 a 2010..... | 206 |
| Figura 81 – Destinação pelos fabricantes de pneus no Brasil em 2009..... | 206 |
| Figura 82 – Cadastro dos pontos de coleta realizados pelos fabricantes e importadores de pneus..... | 207 |
| Figura 83 – Declaração de destinação dos pneumáticos inservíveis..... | 208 |
| Figura 84 – Declaração de destinação de pneumáticos, pneu processado | 208 |
| Figura 85 – Declaração de operação dos pneumáticos pelos fabricantes e importadores de pneus..... | 209 |
| Figura 86 – Diagrama de blocos do modelo de logística reversa dos importadores..... | 210 |
| Figura 87 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa das revendas e distribuidores no Brasil..... | 213 |
| Figura 88 – Diagrama de blocos do processo de coleta, triagem, seleção e destinação dos pneus usados coletados em revendas e distribuidores..... | 215 |
| Figura 89 – Caminhão utilizado para a coleta dos pneus em revendas e distribuidoras..... | 216 |
| Figura 90 – Retorno e descarregamento do caminhão com pneus usados | 216 |
| Figura 91 – Caçamba utilizada em revendas e frotistas..... | 217 |
| Figura 92 – Pneu inservível com lona exposta, provocada pelo desalinhamento dos pneus..... | 218 |
| Figura 93 – Pneu inservível que foi trocado em uma revenda de pneu..... | 219 |
| Figura 94 – Pneus servíveis após a 1ª etapa de triagem e seleção, que representa 30% do total coletado..... | 220 |
| Figura 95 – Seleção dos pneus inservíveis após a 1ª etapa da triagem e seleção, que representa 70% do total coletado em Valinhos – SP..... | 220 |
| Figura 96 – Caçambas cobertas aguardando a coleta e destinação final dos pneus inservíveis em Valinhos – SP..... | 221 |
| Figura 97 – 2ª etapa do processo de triagem e seleção..... | 222 |

| | | |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 98 – | Pneus meia-vida pintados com tinta a base d'água..... | 222 |
| Figura 99 – | Área de estocagem dos pneus meia-vida..... | 223 |
| Figura 100– | Área coberta para a armazenagem dos pneus inservíveis convencionais de ônibus e caminhão..... | 224 |
| Figura 101– | Pó e lascas de borracha geradas pelo processo de reforma dos pneus de carga..... | 225 |
| Figura 102– | Cumprimento das Resoluções nº 258/99 e nº 416/09, no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011..... | 230 |
| Figura 103– | Metas e destinação dos pneus no Brasil no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011..... | 230 |
| Figura 104– | Reciclagem de pneus na Europa, América do Norte, Japão e Brasil..... | 233 |
| Figura 105– | Diagrama de blocos da logística reversa com a utilização do algoritmo genético..... | 236 |
| Figura 106– | Melhor solução x iteração 22..... | 242 |
| Figura 107– | Diagrama de blocos proposto para a logística reversa dos pneus usados no Brasil..... | 255 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1 – | Constituintes perigosos dos pneus..... | 26 |
| Tabela 2 – | Composição dos materiais utilizados nos pneus de automóveis e carga por peso | 42 |
| Tabela 3 – | Polímeros utilizados para a fabricação dos pneus de automóveis e carga..... | 43 |
| Tabela 4 – | Fibras utilizadas como reforços nos pneus..... | 47 |
| Tabela 5 – | Composição dos arames de aço em peso, utilizados na construção dos pneus radiais..... | 53 |
| Tabela 6 – | Componentes dos pneus de automóveis e carga..... | 57 |
| Tabela 7 – | Vida útil dos pneus para aplicações industriais, agrícolas, fora de estrada, passeio, ônibus e caminhão..... | 62 |
| Tabela 8 – | Parâmetros de referência para a trituração dos pneus a temperatura ambiente..... | 70 |
| Tabela 9 – | Comparativo entre o processo de temperatura ambiente e o criogênio..... | 72 |
| Tabela 10 – | Mercado de reforma de pneus no Brasil (unidades x 10 ³)... | 73 |
| Tabela 11 – | Custos e capacidades de produção de borracha desvulcanizada pelo processo químico e por ultrassom.... | 84 |
| Tabela 12 – | Comparação entre os sistemas de coprocessamento dos pneus inservíveis inteiros e triturados..... | 87 |
| Tabela 13 – | Capacidade de coprocessamento de pneus inservíveis por região..... | 91 |
| Tabela 14 – | Metas para a reciclagem de pneus (fabricantes e importadores)..... | 111 |
| Tabela 15 – | Limites máximos de emissão conforme Resolução nº 264/99 | 113 |
| Tabela 16 – | Comparativo entre as exigências das emissões para o coprocessamento de resíduos na Alemanha, Comunidade Européia e Brasil..... | 115 |
| Tabela 17 – | Regulamentações para a destinação final dos pneus usados no Brasil, Estados Unidos, Comunidade Européia e Japão | 126 |
| Tabela 18 – | Fabricantes de pneus no Brasil a partir de 1939..... | 133 |
| Tabela 19 – | Participação da indústria de pneus em 2010 e previsão para 2011 e 2012 (%)..... | 136 |
| Tabela 20 – | Comparação entre a logística direta x reversa..... | 140 |
| Tabela 21 – | Metas para coleta e destinação final em Portugal entre 2003 e 2013..... | 146 |

| | | |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 22 – | Comparação dos sistemas e tecnologias utilizadas para a destinação dos pneus usados no Japão, Estados Unidos, Comunidade Européia e Brasil..... | 169 |
| Tabela 23 – | Custos de coleta, pré-tratamento e destinação dos pneus em Portugal, França, Alemanha e Brasil..... | 170 |
| Tabela 24 – | Produção de pneus no Brasil por categoria, no período de 2006 a 2010 (milhões)..... | 175 |
| Tabela 25 – | Vendas de pneus no Brasil por categoria, no período de 2006 a 2010 (milhões)..... | 175 |
| Tabela 26 – | Custo da coleta até a destinação final dos pneus inservíveis | 187 |
| Tabela 27 – | Distribuição dos pontos de coleta no Brasil por unidade federativa e região geográfica no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, implementados pelos fabricantes e importadores de pneus | 203 |
| Tabela 28 – | Reciclagem de pneus inservíveis pelos importadores de pneus novos no período de 2002 a 2010..... | 227 |
| Tabela 29 – | Reciclagem de pneus pelos importadores de pneus usados no período de agosto de 2003 a junho de 2009 | 228 |
| Tabela 30 – | Reciclagem de pneus no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011, pelos fabricantes de pneus..... | 229 |
| Tabela 31 – | Destinação dos pneus inservíveis no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, conforme o CTF..... | 231 |
| Tabela 32 – | Cálculo da distância do ponto de coleta ao ponto de processamento ou coprocessamento dos pneus inservíveis.. | 240 |
| Tabela 33 – | Destinação dos pneus inservíveis nos Estado de São Paulo, Minas Gerais e Paraná..... | 241 |
| Tabela 34 – | Classificação dos vetores de solução..... | 241 |
| Tabela 35 – | Avaliação da cadeia de reciclagem de pneus no Brasil..... | 244 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------|
| ABCP | Associação Brasileira de Cimento Portland |
| ABIP | Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ABR | Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus |
| Abrapneus | Associação Brasileira das Revendas de Pneus |
| Abrelpe | Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais |
| ADPF | Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental |
| Aliapur | Filière de Valorisation des Pneus Usagés |
| AMB | Asfalto Modificado por Pó de Borracha |
| Anfavea | Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores |
| ANIP | Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos |
| ANP | Agência Nacional do Petróleo |
| Arebop | Associação Nacional das Empresas de Reciclagem de Pneus e Artefatos de borracha |
| BR | Polibutadieno “ <i>Butadiene Rubber</i> ” |
| CAP | Cimento Asfáltico de Petróleo |
| CD | Centro de Distribuição |
| CDR | Centro de Deposição de Resíduos |
| Cempre | Compromisso Empresarial para Reciclagem |
| Cetesb | Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental |
| CLM | <i>Council of Logistics Management</i> |
| CNPJ | Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica |
| Conama | Conselho Nacional do Meio Ambiente |
| Contran | Conselho Nacional de Trânsito |
| CSCMP | <i>Council of Supplier Chain Management Professional</i> |
| CTF | Cadastro Técnico Federal |
| Decex | Departamento de Comércio Exterior |
| Detran | Departamento de Trânsito |
| Diqua | Diretoria de Qualidade Ambiental |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| Doue | Diario Oficial <i>De La Union Europea</i> |
| EO | Equipamento Original |

| | |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|
| EPA | <i>United States Environmental Protection Agency</i> |
| EPR | <i>Extended Product Responsibility</i> |
| ETRMA | <i>European Tyre & Rubber Manufactures Association</i> |
| Globescan | <i>National Geographic & Gloescan</i> |
| GLX | Gás Liquefeito de Xisto |
| IAP | Instituto Ambiental do Paraná |
| Ibama | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IIR | <i>Isobutylene-Isoprene Rubber / Butyl Rubber</i> |
| IISRP | <i>International Institute of Synthetic Rubber Producers</i> |
| INEA | Instituto Estadual do Ambiente |
| IPT | Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo |
| IR | Índice de Recapabilidade |
| ISO | <i>Internacional Organization for Standardization</i> |
| Jatma | <i>The Japan Automotive Tyre Manufactures Association</i> |
| LI | Licença de Importação |
| Mercosul | Mercado Comum do Sul |
| MMA | Ministério do Meio Ambiente |
| MPPR | Ministério Público do Estado do Paraná |
| MR | Mercado de Reposição |
| NCM | Nomenclatura Comum do Mercosul |
| NOx | Óxido de Nitrogênio |
| NR | <i>Natural Rubber</i> |
| OECD | <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> |
| OMC | Organização Mundial do Comércio |
| PAHs | Hidrocarbonetos poliaromáticos |
| PBO | <i>Polybenzoxalone</i> |
| PCDF | Dibenzo furanos policlorados |
| PCI | <i>Post Cure Inflator</i> |
| PCOPs | Principais Compostos Orgânicos Perigosos |
| PERS | Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos |
| PIB | Produto Interno Bruto |
| PNMA | Política Nacional de Meio Ambiente |
| PNRS | Política Nacional de Resíduos Sólidos |

| | |
|-----------|-------------------------------------------------------------------|
| POPs | Poluentes Orgânicos Persistentes |
| Quercus | Associação Nacional de Conservação da Natureza |
| Revlog | <i>The European Working Group on Reverse Logistics</i> |
| RFL | Resorcinol, Formadeido e Látex |
| RMA | <i>Rubber Manufactures Association</i> |
| RSU | Resíduos Sólidos Urbanos |
| SBR | <i>Styrene-Butadiene Rubber</i> |
| Secex | Secretária de Comércio Exterior |
| SEMA | Secretária de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos |
| Signus | Sistema Integrado de Gestão de Neumáticos |
| Sinima | Sistema Nacional de Informação sobre o Meio Ambiente |
| Sinir | Sistema Nacional de Informações sobre os Resíduos Sólidos Urbanos |
| Sisnama | Sistema Nacional do Meio Ambiente |
| SMA | Secretária de Estado de Meio Ambiente |
| STF | Supremo Tribunal Federal |
| SVS | Secretaria de Vigilância em Saúde |
| TCDD | Tetracloro-dibenzo-para-dioxina |
| TCFA | Taxa de Controle de Fiscalização Ambiental |
| TDF | <i>Tire Derived Fuel</i> |
| TEQ | Total de Toxicidade Equivalente |
| TWI | <i>Tread Wear Indicator</i> |
| Unep | <i>United Nations Environment Programme</i> |
| Unicamp | Universidade Estadual de Campinas |
| USP | Universidade de São Paulo |
| Valorpneu | Sociedade de Gestão de Pneus |
| VOCs | <i>Volatile Organic Compound</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 21 |
| 1.1 PROBLEMAS RELACIONADOS À DISPOSIÇÃO DOS PNEUS..... | 23 |
| 1.2 PASSIVO AMBIENTAL DOS PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL..... | 27 |
| 1.3 OBJETIVOS..... | 28 |
| 1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO..... | 29 |
| 2 METODOLOGIA..... | 31 |
| 3 HISTÓRIA DOS PNEUS..... | 35 |
| 4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PNEUS..... | 42 |
| 4.1 COMPONENTES DOS PNEUS..... | 55 |
| 4.2 VIDA ÚTIL DOS PNEUS..... | 60 |
| 5 TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA A REUTILIZAÇÃO, RECICLAGEM E VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA..... | 64 |
| 5.1 REUTILIZAÇÃO..... | 64 |
| 5.2 RECICLAGEM..... | 65 |
| 5.2.1 Empresas de pré-tratamento..... | 65 |
| 5.2.2 Recapagem, recauchutagem e remoldagem de pneus..... | 72 |
| 5.2.3 Laminação de pneus..... | 77 |
| 5.2.4 Pavimentação asfáltica..... | 78 |
| 5.2.5 Desvulcanização..... | 81 |
| 5.3 VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA..... | 84 |
| 5.3.1 Coprocessamento em fornos de clínquer..... | 84 |
| 5.3.2 Coprocessamento de pneus com a rocha de xisto pirobetuminoso..... | 91 |
| 5.3.3 Valorização energética de pneus em caldeira de leito fluidizado..... | 102 |
| 6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL..... | 103 |
| 6.1 LEGISLAÇÃO NA EUROPA..... | 103 |
| 6.2 LEGISLAÇÃO NO BRASIL..... | 106 |
| 6.3 LEGISLAÇÃO SOBRE A IMPORTAÇÃO DE PNEUS USADOS E RECAUCHUTADOS..... | 122 |
| 6.4 COMPARATIVO ENTRE AS REGULAMENTAÇÕES PARA A DESTINAÇÃO DOS PNEUS USADOS..... | 125 |
| 7 LOGÍSTICA REVERSA E AS TECNOLOGIAS PARA A RECICLAGEM DE PNEUS..... | 128 |

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 7.1 INTRODUÇÃO..... | 128 |
| 7.2 O PRINCÍPIO DA REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM - 3R'S NA INDÚSTRIA DE PNEUS..... | 129 |
| 7.3 RESPONSABILIDADES ESTENDIDAS AO PRODUTOR..... | 131 |
| 7.4 LOGÍSTICA DIRETA..... | 132 |
| 7.5 LOGÍSTICA REVERSA..... | 134 |
| 7.6 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NA EUROPA..... | 141 |
| 7.6.1 Logística reversa dos pneus usados em Portugal..... | 146 |
| 7.6.2 Logística reversa dos pneus usados na França..... | 150 |
| 7.6.3 Logística reversa dos pneus usados na Polônia..... | 153 |
| 7.6.4 Logística reversa dos pneus usados na Dinamarca..... | 153 |
| 7.6.5 Logística reversa dos pneus usados na Espanha..... | 155 |
| 7.6.6 Logística reversa dos pneus usados no Reino Unido..... | 157 |
| 7.6.7 Logística reversa dos pneus usados na Alemanha..... | 159 |
| 7.6.8 Logística reversa dos pneus usados na Itália..... | 162 |
| 7.7 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO JAPÃO..... | 163 |
| 7.8 RECICLAGEM DE PNEUS NOS ESTADOS UNIDOS..... | 166 |
| 7.9 COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS IMPLEMENTADOS NO JAPÃO, ESTADOS UNIDOS, COMUNIDADE EUROPÉIA E BRASIL..... | 168 |
| 8 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO BRASIL ... | 171 |
| 8.1 MERCADO MUNDIAL DE PNEUS..... | 171 |
| 8.2 PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL..... | 172 |
| 8.3 IMPORTAÇÃO DE PNEUS USADOS E RECAUCHUTADOS..... | 175 |
| 8.4 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO BRASIL..... | 178 |
| 9 RESULTADOS E DISCUSSÕES..... | 180 |
| 9.1 RECICLAGEM DE PNEUS PELOS FABRICANTES..... | 180 |
| 9.2 RECICLAGEM DE PNEUS PELOS IMPORTADORES..... | 209 |
| 9.3 DISTRIBUIDORAS E REVENDAS DE PNEUS..... | 211 |
| 9.4 EMPRESAS DE SELEÇÃO E TRIAGEM DOS PNEUS USADOS..... | 214 |
| 9.5 CUMPRIMENTO DA RESOLUÇÃO Nº 258/99 E Nº 416/09..... | 226 |
| 9.6 MODELO DE LOGÍSTICA REVERSA..... | 234 |
| 9.6.1 Modelagem..... | 234 |
| 9.6.2 Modelo de Logística Reversa com a utilização do Algoritmo Genético..... | 236 |
| 9.7 CENÁRIOS ATUAL E PROPOSTO..... | 242 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10 CONCLUSÃO..... | 256 |
| REFERÊNCIAS..... | 259 |
| APÊNDICE A – Pesquisas nos Pontos de Coleta..... | 271 |
| APÊNDICE B – Pesquisas nas Borracharias..... | 272 |
| APÊNDICE C – Pesquisa na Associação que Representa os Recicladores de Pneus no Brasil..... | 273 |
| APÊNDICE D – Pesquisa na Associação que Representa os Fabricantes – RECICLANIP..... | 276 |
| APÊNDICE E – Código da Macro VBA / Fluxograma..... | 278 |
| APÊNDICE F - Geração de pneus inservíveis pela frota de veículos licenciadas no Brasil..... | 283 |
| APÊNDICE G – Resultados da simulação com a utilização do algoritmo genético..... | 284 |

1 INTRODUÇÃO

O rápido desenvolvimento tecnológico, aumento da população e demanda por novas tecnologias com redução do ciclo de vida dos produtos tem contribuído para o aumento do descarte. Como consequência, ocorre o crescimento do volume destinado a aterros, consumo de recursos naturais, energia, poluição do ar, das águas superficiais e dos lençóis freáticos, aumento dos custos envolvidos no processo de coleta e destinação dos resíduos e esgotamento dos aterros próximos aos pontos de geração de resíduos.

Com o aumento da conscientização da população para a preservação do meio ambiente e saúde pública têm se definido políticas federais, estaduais e municipais. Além disso, houve uma mudança na postura de algumas empresas com relação ao projeto de novos produtos e à preocupação com a disposição final dos produtos pós-consumo.

O foco desta pesquisa é apresentar o sistema atual de logística reversa implementada no Brasil para a coleta e destinação dos pneus usados, estabelecendo modelos logísticos para a otimização do processo de gerenciamento dos pneus inservíveis. A partir das informações da pesquisa junto aos pontos de coleta, empresas de pré-tratamento, de destinação, órgãos ambientais estaduais e federais, associações que representam os fabricantes, recicladores e empresas de limpeza pública, foi possível traçar o modelo atual de logística reversa para os pneus usados no Brasil e estabelecer um novo modelo com a utilização do algoritmo genético.

A partir da aprovação da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 258/99 (BRASIL, 2008), os fabricantes e importadores de pneus novos são os responsáveis pela coleta e destinação dos pneus inservíveis.

A partir de 2005, a Resolução nº 258/99 entrou em revisão, com a participação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), do Ministério do Meio Ambiente (MMA), Associação Brasileira da Indústria de Pneus Remoldados (ABIP), Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus (ABR), Associação Nacional das Empresas de Reciclagem de Pneus e Artefatos de

Borracha (Arebop), Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (ANIP), Reciclanip e entidades ambientais, entre outras, devido ao não cumprimento das metas estabelecidas.

Em 2009, foi aprovada a Resolução nº 416/09 (BRASIL, 2009), que revogou a Resolução nº 258/99.

Problemas ambientais

Os problemas ambientais estão relacionados à instalação de grandes depósitos de pneus inservíveis, que ocupam áreas extensas e ficam sujeitos à queima acidental ou provocada, causando prejuízos à qualidade do ar, devido à liberação de substâncias tóxicas. Esses depósitos são igualmente danosos por se constituírem em criadouros de mosquitos, especialmente o *Aedes aegypti*, que é o transmissor da dengue e da febre amarela; e o *Anopholes*, que é o transmissor da malária, pelas condições climáticas favoráveis ao mosquito, principalmente no período de janeiro a maio, quando ocorre a sua reprodução.

A febre amarela, uma das doenças transmitidas pelo mosquito *Aedes aegypti*, é uma doença infecciosa febril aguda, transmitida por vetores artrópodes. Existem dois tipos de febre amarela: a urbana e a silvestre. A urbana é transmitida pelo mosquito *Aedes Aegypti*. Nas matas, a febre amarela ocorre em macacos e os principais transmissores são os mosquitos dos gêneros *Haemagogus e Sabethes*, que picam os macacos e o homem (SECRETÁRIA DE VIGILÂNCIA DE SAÚDE, 2009).

No Brasil, além da dengue, a malária ou pauladismo é uma doença infecciosa aguda ou crônica causada por protozoários parasitas do gênero *Plasmodium*, transmitidos pela picada do mosquito *Anopholes*. Os mosquitos vetores da malária pertencem ao gênero *Anopheles Meigen*, que compreende aproximadamente 400 espécies, das quais aproximadamente 60 ocorrem no Brasil. Os vetores criam-se, normalmente, em águas profundas, límpidas, sombreadas e com pouco aporte de matéria orgânica e sais; criadouros temporários, água salobra; também podem utilizar a água acumulada em vasos, latas, pneus usados e plantas com depósito de água como, por exemplo, bromélias (SECRETÁRIA DE VIGILÂNCIA DE SAÚDE, 2009).

Segundo o estudo realizado pela Secretaria de Vigilância em Saúde (SVS), 3,5% dos depósitos positivos para o *Aedes aegypti* eram pneus usados.

Os principais agentes causadores da reprodução da dengue no Brasil são: tonéis e tambores, 40,5%; vasos de plantas, 21,2%; resíduos sólidos, 14,4%; lajes e calhas, 6,3% e depósitos naturais, 1,7% (FERNANDES, 2008).

Na década de 80, através dos pneus usados importados (FRANCO NETO, 2008), houve a introdução de outra espécie de mosquito no Brasil, o *Aedes albopictus*, que transmite a dengue e a febre amarela.

Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010b), em 2 de agosto de 2010, os fabricantes, distribuidores, importadores e comerciantes de agrotóxicos, pilhas e baterias, pneus, óleos lubrificantes, lâmpadas fluorescentes, de vapor de sódio e mercúrio e de luz mista, produtos eletrônicos e seus componentes, estão obrigados a desenvolverem um sistema de logística reversa para o retorno de produtos e embalagens no final da vida útil, que independe do serviço público de limpeza urbana. Além disso, determina que a gestão dos resíduos seja de responsabilidade de todos: governo federal, estados, municípios, empresas e sociedade.

No Brasil, o não cumprimento das metas estabelecidas para a reciclagem de pneus gerou o aumento do passivo ambiental negativo, proliferação do mosquito transmissor da dengue, febre amarela e malária, queimadas acidentais ou provocadas e aumento do descarte de pneus em aterros, lixões, rios, córregos, entre outros.

Devido à não implementação de um modelo de logística reversa para os pneus usados no Brasil, faz-se necessário uma nova pesquisa a partir de um levantamento de campo, atualizando novos dados.

1.1 PROBLEMAS RELACIONADOS À DISPOSIÇÃO DOS PNEUS

A grande quantidade de pneus descartados e a sua longa durabilidade no meio ambiente têm motivado a proposição de medidas mitigadoras dos impactos ambientais negativos e a realização de pesquisas em vários países (LAGARINHOS, 2004).

De acordo com Zilda Maria Veloso, gerente de resíduos perigosos do MMA, (VELOSO, 2010), ao transportar os pneus inservíveis para a destinação final, que muitas das vezes ocorre em estados diferentes daquele que gerou o resíduo, há a movimentação de vetores de várias doenças, entre elas a dengue e a febre amarela. O Comitê de Saúde Ambiental do Quebec, no Canadá, notou que o transporte de pneus usados de uma região para a outra foi identificado como o principal fator por trás da propagação do *Aedes albopictus* nos Estados Unidos (VELOSO, 2010).

Segundo Almério de Castro Gomes, do Departamento de Epidemiologia da Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP),

[...] mais recentemente, defronta-se com a clara tendência do *Aedes albopictus* para percorrer o mesmo caminho do *Aedes aegypti*, utilizando-se de oviposições, principalmente em pneus usados. Assim sendo, partindo da Ásia, desde a década de 80, o *Aedes albopictus* já venceu barreiras intercontinentais em várias partes do mundo, incluindo o Brasil. (GOMES, 1998).

A disposição em aterros torna-se inviável porque apresentam baixa compressibilidade, não sofrem biodegradação e formam um resíduo volumoso, que ocupa muito espaço. Além disso, quando os pneus são enterrados, tendem a subir e sair para a superfície (LAGARINHOS, 2004).

De acordo com Michael Blumenthal (1993), não é recomendada a disposição de pneus inservíveis em aterros sanitários devido a sua forma e composição, dificuldade de compactação, decomposição e redução da vida útil do aterro. Os pneus podem reter ar e gases em seu interior, fazendo com que o pneu tenda a ir para a superfície do aterro, rompendo a camada de cobertura. Com a abertura da camada de cobertura, os resíduos ficam expostos, atraindo insetos, roedores e pássaros e permitindo que os gases escapem do aterro. Ademais, ocorre a infiltração da água das chuvas aumentando com isso a formação de chorume (BLUMENTHAL, 1993). As figuras 1 e 2 apresentam a disposição de pneus em aterros sem controle e em vales respectivamente.



Figura 1 – Disposição de pneus em aterros sem controle.
Referência: Veloso (2010)



Figura 2 – Disposição de pneus em vales.
Referência: Veloso (2010)

Segundo Zilda Maria Veloso (2010), no Brasil, é proibida a disposição em aterros desde 1999, devido à dificuldade de compactação e à redução da expectativa de vida dos aterros. A figura 3 apresenta a disposição de pneus em aterros controlados, no qual pode-se observar a retirada da água e a eliminação dos gases.

O maior risco associado à disposição ilegal de pneus inservíveis é o acúmulo desses materiais em aterros; enchentes provocadas por pneus abandonados em rios e córregos; e o risco de incêndios, causando problemas às pessoas e ao meio ambiente (LAGARINHOS, 2004).

A queima de pneus ao ar livre gera vários produtos de combustão incompleta, que são nocivos à saúde. Estas emissões são extremamente tóxicas e como

resultado da queima há a liberação de poluentes como CO, NO_x, SO_x, compostos orgânicos voláteis (VOCs), bem como os hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), dioxinas, furanos, ácido clorídrico, benzeno, arsênio, cádmio, níquel, zinco, mercúrio, cromo e vanádio (LAGARINHOS, 2004). A figura 4 é um exemplo de incêndio em uma área utilizada para o armazenamento dos pneus inservíveis.

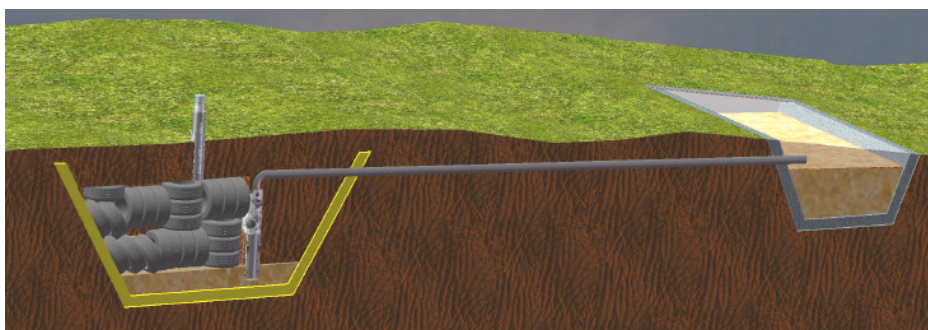


Figura 3 – Disposição de pneus em aterros sanitários.

Todas essas emissões podem representar significativos riscos à saúde, tanto agudos, a curto prazo, como crônicos, a longo prazo, para todos aqueles que estiverem sujeitos às mesmas. Dependendo da duração e do grau de exposição, esses efeitos à saúde podem resultar em irritação na pele, olhos e mucosas, problemas respiratórios, depressão do sistema nervoso central e câncer (RIBEIRO; MORELLI, 2009; LAGARINHOS, 2004; VELOSO, 2010). A tabela 1 apresenta os constituintes perigosos utilizados nos pneus.

No local da queima permanecem as cinzas e a fração líquida composta por hidrocarbonetos, responsáveis pela contaminação do solo, águas superficiais e lençol freático (LAGARINHOS, 2004).

Tabela 1 – Constituintes perigosos dos pneus.

| | |
|-------------------------------------------|----------------------------------|
| Compostos de cobre | Aprox. 0,2% |
| Compostos de zinco | Aprox. 1% |
| Cádmio | Max. 0,001% |
| Chumbo e seus compostos | 0,005% |
| Soluções ácidas ou ácidos na forma sólida | Aprox. 0,3% |
| Compostos organoclorados | Conteúdo de halogênios max. 0,1% |

Referência: United Nations Environment Programme (1999)



Figura 4 – Incêndios acidentais ou provocados.
Referência: Veloso (2010)

1.2 PASSIVO AMBIENTAL DOS PNEUS INSERVÍVEIS NO BRASIL

No Brasil, ainda não existe um monitoramento por parte do governo, nem do setor privado, sobre o inventário de pneus inservíveis em lixões, aterros, terrenos baldios, rios, entre outros.

Quando da elaboração da Resolução nº 258/99, estava previsto um passivo ambiental negativo de 100 milhões de pneus inservíveis (BRASIL, 2008).

No período de 2002 a 2010, foram reciclados 12 milhões de pneus inservíveis abandonados, em parceria com os poderes públicos municipais (RECICLANIP, 2007; MURAD, 2008; RECICLANIP, 2011).

Em São Paulo, o maior depósito estava localizado na cidade de Sorocaba, com 10 milhões de unidades, ao lado de uma empresa que utilizava os pneus inservíveis no processo de fabricação de tapetes automotivos, no qual parte da borracha triturada e regenerada é reaproveitada (ARNALDI, 2003).

Durante as obras de rebaixamento da calha do Rio Tietê em São Paulo, no período de 2002 a 2005, foram retirados 240.000 pneus inservíveis, em 22 km de extensão das obras (RECICLANIP, 2007).

Após a retirada desse material, era feita uma estocagem nas margens do rio, de forma a se obter uma quantidade mínima para o transporte. Nesses locais, os pneus inservíveis eram cobertos com uma lona de polietileno, evitando com isso o acúmulo de água da chuva e a formação e proliferação de vetores. Os pneus

inservíveis eram transportados para locais específicos no qual eram lavados com jatos de água sob pressão. Para facilitar a lavagem, eram feitos furos circulares e cortados os pneus em várias fatias, procedimento necessário para evitar o acúmulo de água no interior dos mesmos. Durante o processo de lavagem eram utilizadas escovas de aço para a remoção do material impregnado na parte externa e interna dos pneus. Após o término da limpeza dos pneus, os mesmos eram colocados em caminhões para o transporte até o Centro de Deposição de Resíduos Pedreira (CDR), para armazenamento temporário e posterior coleta pelos fabricantes e importadores de pneus (LAGARINHOS, 2004).

1.3 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é apresentar a logística reversa dos pneus usados no Brasil e o desenvolvimento de um novo modelo de logística reversa para a melhoria do processo de gerenciamento dos pneus usados no país.

Para atingir o objetivo principal, procurou-se:

- fazer um levantamento de legislações específicas sobre a reciclagem de pneus em diversos países; resultados obtidos, tecnologias e modelos logísticos utilizados;
- elaborar um comparativo entre as políticas existentes na Europa e Brasil sobre a reciclagem de pneus;
- avaliar o sistema de logística reversa implementada pela associação que representa os fabricantes no Brasil;
- propor o desenvolvimento de um modelo de logística reversa para a reciclagem de pneus no Brasil.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O trabalho foi dividido em dez capítulos. O capítulo 2 apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento dos diagrama de blocos da logística reversa dos fabricantes, importadores de pneus, revendas e distribuidores e para o desenvolvimento do algoritmo para a logística reversa.

O capítulo 3 contém o histórico do desenvolvimento dos pneus.

O capítulo 4 trata do processo de construção. No processo de construção são apresentadas todas as fases de produção e materiais utilizados para a fabricação e testes dos pneus. O objetivo é analisar todos os componentes utilizados nos pneus para a posterior reutilização, reciclagem ou valorização energética.

No capítulo 5, serão apresentadas as tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e a valorização energética. A reutilização e a reforma de pneus no Brasil não são atividades regulamentadas pelo Ibama. Nas atividades de reciclagem e valorização energética dos pneus inservíveis, serão apresentadas todas as tecnologias implementadas no Brasil.

O capítulo 6 trata da revisão da legislação na Comunidade Européia e Brasil. Com o levantamento realizado foi feito um comparativo entre as propostas estabelecidas pela legislação e os resultados obtidos.

No capítulo 7, são apresentados os sistemas logísticos e as tecnologias utilizadas para a destinação dos pneus na Europa, Estados Unidos, Japão e Brasil. No Japão e países membros da Comunidade Européia a reforma de pneus servíveis e exportação de pneus usados são consideradas na estatística de reciclagem de pneus. No Brasil, a reforma é considerada uma atividade que prolonga a vida útil dos pneus usados.

No capítulo 8, será explicado todo o processo de logística reversa dos pneus usados no Brasil, dos fabricantes, importadores, revendas e distribuidores, empresa de triagem e seleção dos pneus. Além disso, será apresentado o modelo de logística reversa implementado pela associação que representa os fabricantes de pneus no Brasil.

No capítulo 9, serão apresentados os resultados e discussões sobre os modelos de logística reversa implementados no Brasil. Será apresentado o cumprimento das metas pelos fabricantes e importadores de pneus novos e

importadores de pneus usados, a evolução dos pontos de coleta no Brasil e um comparativo da reciclagem de pneus no Brasil, Europa e América do Norte. Além disso, será apresentado o modelo de logística reversa com a utilização do algoritmo genético, com a utilização de dados levantados nos pontos de coleta e destinação no Estado de São Paulo, com excedente de capacidade enviados para os Estados de Minas Gerais e Paraná. Será apresentada uma avaliação do cenário atual e uma proposta para a melhoria de cada elo da cadeia de reciclagem de pneus no Brasil.

No capítulo 10, será apresentada a conclusão da pesquisa realizada.

2 METODOLOGIA

Foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a reciclagem de pneus e a logística reversa, no qual foram levantadas as tecnologias utilizadas para reutilização, reciclagem e valorização energética dos pneus inservíveis; no processo de reforma dos pneus servíveis e sobre o mercado para a venda dos pneus meia-vida.

Para conhecer o processo de reciclagem de pneus, a logística reversa e as legislações de outros países, foi realizada uma pesquisa com as associações que representam os fabricantes de pneus nos Estados Unidos a *Rubber Manufacturing Association* (RMA); no Japão o *The Japan Automotive Tyre Manufacturing Association* (Jatma); na Comunidade Européia a *European Tyre & Rubber Manufacturing Association* (ETRMA); em Portugal, a Valorpneu; na França, a Aliapur; na Alemanha, a WDK; na Espanha, a Signus, e outras. Foi realizado um comparativo entre as informações obtidas, a legislação e o modelo de logística reversa utilizado no Brasil.

Para entender o cenário da logística reversa no Brasil, foram realizadas pesquisas de campo em pontos de coleta, borracheiros, empresas de pré-tratamento, coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso, coprocessamento em fornos de clínquer, associações que representam as empresas de reciclagem e a associação que representa os fabricantes de pneus, o que permitiu a montagem dos diagrama de blocos da logística reversa dos fabricantes e dos importadores de pneus, das revendas, distribuidores e empresas de pré-tratamento.

Foram levantados os custos logísticos para a coleta e transporte dos pontos de coleta até as empresas de pré-tratamento, para o coprocessamento de pneus inteiros e triturados, pirólise, laminação e coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso. As pesquisas foram realizadas com a utilização de questionários, conforme abaixo:

- Pesquisas nos Pontos de Coleta (APÊNDICE A) - foram enviados os questionários por email para 50% dos pontos de coleta implementados pelas prefeituras em convênio com a Reciclanip, em 2010.

As informações sobre os pontos de coleta foram obtidas com a Reciclanip, que informou os estados, municípios onde foram implementados os pontos de coleta, os responsáveis e os telefones de contato. Na primeira fase da pesquisa foi realizada uma checagem das informações obtidas, sendo que quase 30% dos responsáveis e telefones informados foram alterados. Somente 5% dos questionários enviados foram respondidos pelas prefeituras responsáveis pelo gerenciamento dos pontos de coleta.

Os motivos para a não devolução dos questionários respondidos foram:

- a) falta de autorização das prefeituras para a divulgação de informações referentes aos pontos de coleta;
 - b) os pontos de coleta divulgados pela Reciclanip não estavam atualizados, o que dificultou a identificação do responsável pelos mesmos;
 - c) alguns responsáveis pelos pontos de coleta informaram que não iriam responder o questionário enviado;
 - d) alguns pontos de coleta solicitaram o encaminhamento do questionário para a Reciclanip. A Reciclanip é responsável pela coleta e destinação e não pelo gerenciamento do ponto de coleta;
 - e) no município de São Paulo, não foi autorizada a visita aos pontos de coleta. Somente a assessoria de imprensa da subprefeitura da Vila Guilherme / Vila Maria enviou o questionário da pesquisa respondido pelos cinco pontos de coleta.
- Pesquisas nas Borracharias (APÊNDICE B) – foram realizadas entrevistas nas borracharias localizadas nas zonas leste e oeste no município de São Paulo para a realização da pesquisa. Foram pesquisadas 40 borracharias, sendo 20 na zona leste, no bairro do Tatuapé e 20 na zona oeste, no bairro de Pirituba. Os responsáveis por algumas borracharias não responderam às informações solicitadas por achar que se tratava de uma fiscalização.
 - Pesquisa na Associação que Representa os Recicladores de Pneus – Arebop (APÊNDICE C) – foram realizadas entrevistas na sede da associação em Santo André – SP, em 2010 e 2011.
 - Pesquisa na Associação que Representa os Fabricantes – Reciclanip (APÊNDICE D) foram realizadas entrevistas na sede da associação em São

Paulo - SP. Foram realizadas oito visitas à associação para obter as respostas dos questionários enviados por email, no período de 2009 a 2011.

Foram realizadas visitas a empresas de coprocessamento em fornos de clínquer e rocha de xisto pirobetuminoso, empresas de pré-tratamento, empresa de triagem e seleção, empresa do setor calçadista que utiliza os pneus inservíveis em seu processo de produção, entre outras.

Além disso, foram solicitadas informações sobre a reciclagem de pneus inservíveis no Brasil, para o Ibama, MMA e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Cetesb).

Foram realizadas pesquisas com fabricantes de pneus Goodyear e com importadores de pneus Trelleborg para conhecer o processo de logística direta e a reciclagem de pneus inservíveis.

Com todo o levantamento realizado foi possível montar um diagrama de blocos ideal para a reciclagem de pneus e um algoritmo genético para a logística reversa.

No algoritmo genético, foram utilizadas as informações de capacidade, distâncias dos pontos de geração até o destino final, hierarquia dos resíduos, custos para a destinação final. O levantamento levou em consideração os pontos de coleta, empresas de pré-tratamento, coprocessamento e artefatos de borracha, localizadas no Estado de São Paulo.

A figura 5 a seguir apresenta o diagrama de blocos da metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa.

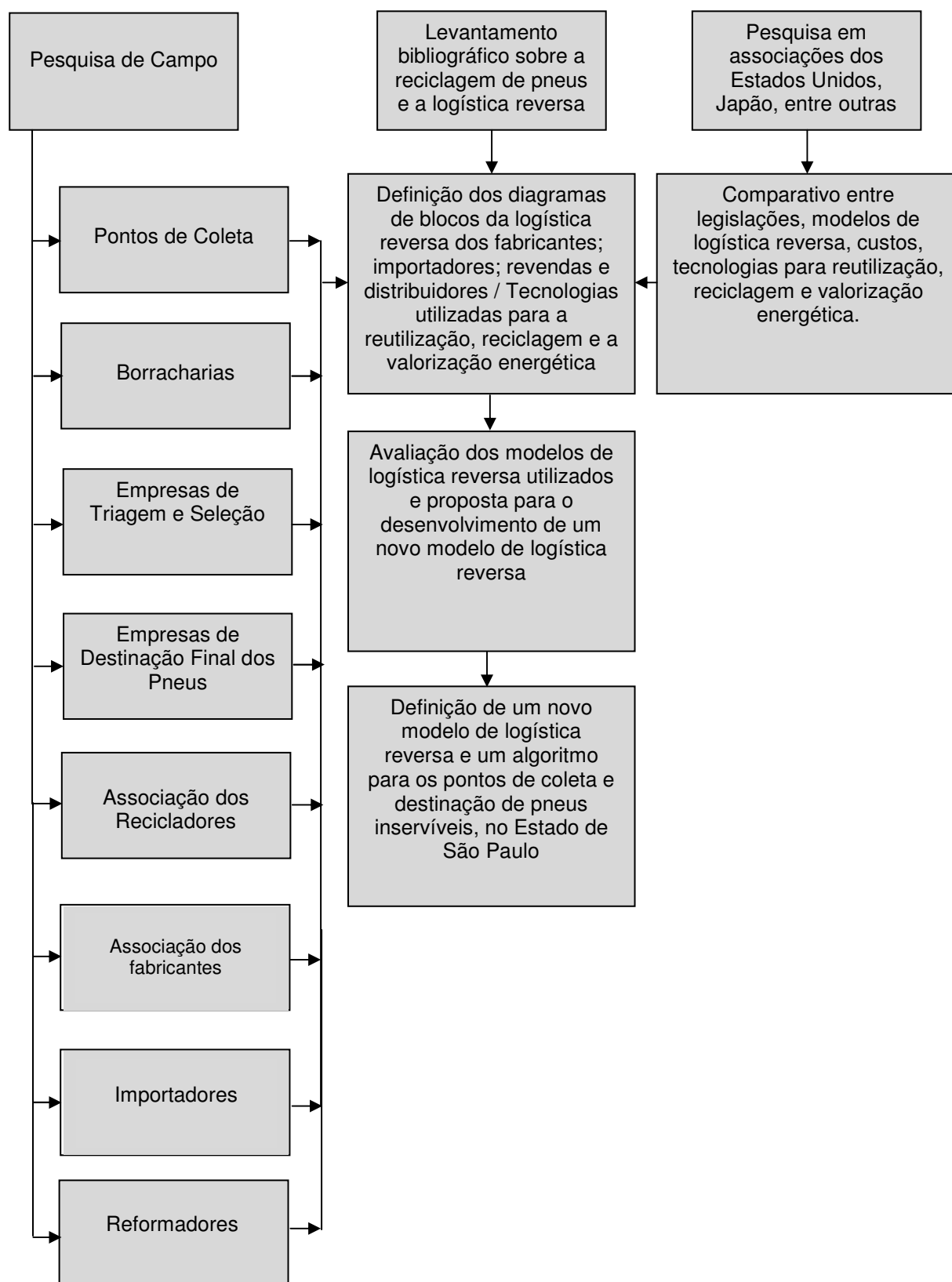


Figura 5 - Diagrama de blocos da metodologia utilizada para a elaboração da pesquisa.

3 HISTÓRIA DOS PNEUS

Nossos antigos ancestrais devem ter sentido a necessidade de melhorar e facilitar o transporte de coisas assim como deles próprios de um lugar a outro. Consequentemente, foi inventada a roda e muitos dizem que este foi o mais importante marco de desenvolvimento na história da humanidade (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

A história dos pneus¹ também começa com a roda. O registro mais antigo de uma roda veicular data de 3.500 a.C., aproximadamente. Ela apareceu em um desenho feito por um indivíduo da antiga Suméria no Oriente Médio. Essa roda tinha cerca de 24 polegadas de diâmetro e era feita de pranchas arredondadas de madeira, presas por pedaços de madeira em forma de cruz (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

As rodas eram usadas por oleiros, cerca de 5.000 anos atrás, pelos egípcios e gregos para a confecção de potes de barro e, na mesma época, foram utilizadas em carroças, possibilitando o transporte de pessoas e carga. A roda raiada surgiu por volta de 2.000 a.C., mais leve, foi empregada em carros de guerra. Os rolamentos, que facilitam a rotação da roda, foram desenvolvidos por volta de 100 a.C., pelos fabricantes de carroças dinamarqueses, que montaram os rolamentos de madeira em torno de um eixo (INVENÇÕES..., 1994).

Outros também iam descobrindo as vantagens da roda. Um exemplo é a roda pré-histórica feita numa única peça de metal, encontrada em Nimes, na França.

Os antigos egípcios também fizeram contribuições para o desenvolvimento da roda. No entanto, o auge tecnológico na evolução da roda aconteceu entre os celtas da Europa Ocidental, durante a época do Império Romano (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Esses povos tinham carroças com eixos dianteiros giratórios. Eles haviam até desenvolvido uma espécie de suporte para a roda, de modo que essa não girasse

¹ A palavra pneu tem sua origem na Grécia antiga. Os gregos usavam o termo *pneuma* com o significado de sopro, vento ou ar. A partir desse termo, nasceu *pneumatikós*, com o significado de ao sopro, ao ar, à respiração. Os romanos antigos tomaram a palavra emprestada do grego, passando a grafá-la como *pneumaticus* em seu idioma, o latim. Da Roma antiga, a palavra se estendeu às línguas latinas, como o francês, o italiano, o espanhol e o português. Foi por influência do francês que passamos a utilizar pneu com o significado atual (FOI DADA..., 2008).

ou virasse diretamente com o eixo, mas independente dele. As rodas desenvolvidas pelos celtas já possuíam uma espécie de pneu. Era feito com uma única peça de aço, aquecido e martelado no formato de um aro. Era encaixado na roda ainda quente e ao esfriar, o metal contraía e fixava-se na roda. Esse tipo de roda era, provavelmente, adequado aos veículos conduzidos por animais, comuns naquela época (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

No começo do século XIX, aparecia em cena a máquina a vapor que logo estava sendo usada para mover não apenas barcos, mas também veículos que percorriam estradas. A maioria das rodas tinha aros de aço e pneus de madeira. Os veículos eram pesados, extremamente difíceis de dirigir e as rodas não duravam muito. Embora uma das primeiras utilizações da borracha vulcanizada tenham sido os pneus de borracha sólida, estes não eram muito diferentes das rodas de aço ou de madeira (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Deste modo, as ferrovias, com suas características de resistência, desenvolveram-se rapidamente ao passo que o desenvolvimento de boas estradas e de veículos eficientes acabou ficando estagnado. O pneu de borracha começou a surgir em 1845, sete anos depois da descoberta da vulcanização (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

O primeiro exemplar foi obra de Robert W. Thompson, um engenheiro civil escocês de 23 anos. Ele demonstrou que uma roda revestida com borracha inflada reduzia as derrapagens e o ruído das carruagens. A patente inglesa, lançada em 1854, descreve claramente os princípios básicos do pneumático (ALLEN, 1949; GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

No entanto, devido ao peso dos veículos movidos a vapor e a relativa fragilidade dos materiais disponíveis na época, o conceito do pneumático de Robert Willian Thompson não se desenvolveu. Uma das razões talvez tenha sido o surgimento das ferrovias. A colocação de trilhos de aço e de rodas de friso cônico tornou possível o movimento de vagões enormes e pesados (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Em 1856, a Boston Belting Company foi a primeira empresa americana a produzir os pneus sólidos (ALLEN, 1949). A empresa Goodrich, Tew & Co foi pioneira na utilização do pneu sólido em bicicletas no mercado britânico em 1870 (ALLEN, 1949).

Dezoito anos depois, aconteceu algo que deu nova vida ao transporte veicular. Nesse ano, o cirurgião-veterinário irlandês, John Boyd Dunlop, reinventou o pneumático e adaptou-o à bicicleta do seu filho. Seu pneu era feito de tubos de borracha cobertos por lona e cimentados na roda. Esse pneu era inflado através de uma válvula de direção única (ALLEN, 1949; KOVAC, 1973).

A idéia de Dunlop de adaptar o pneu à bicicleta, associada à de Thompson, foi definitiva para o processo de evolução: estava inventado o primeiro pneumático de bicicleta, que Dunlop patenteou em 1888. Além das carruagens, o *boom* das bicicletas, em 1890, deu nova vida ao negócio e os automóveis eram uma grande promessa (ALLEN, 1949).

Em 1894, foi construído o primeiro pneu experimental por Duryea, King and Haynes (ALLEN, 1949).

Alguns anos mais tarde, em 1895, outro evento importante ocorreu quando Edward Michelin tornou-se a primeira pessoa a utilizar o pneumático em um veículo a motor. O fato ocorreu durante uma corrida de Paris a Bordeaux, na França (MICHELIN, 2010).

Em 1895, a empresa Dunlop Pneumatic Tyre Co., Ltd, iniciou a produção de pneus de bicicletas (ALLEN, 1949) e três anos depois, Frank Seiberling funda, nos Estados Unidos, The Goodyear Tire & Rubber Company. O nome Goodyear foi utilizado em homenagem ao inventor da vulcanização da borracha (ALLEN, 1949; KNEPPER, 1981).

A Goodyear produziu o seu primeiro pneu automobilístico em 1899. Era um pneu de câmara única preso à roda por um aro com formato de meia-lua. O maior problema com esse tipo de pneu de aro era a impossibilidade de consertá-lo ou trocá-lo na estrada (KNEPPER, 1981).

No entanto, esse modelo dava maior mobilidade aos automóveis. Quando os carros começaram a ficar mais pesados e mais rápidos, o desenvolvimento do pneu também os acompanhou. Na verdade, foi a capacidade do pneu transmitir potência e desempenho na estrada, que permitiu o desenvolvimento do automóvel.

Em 1900, Harvey S. Firestone funda a Firestone Tire & Rubber Co., nos Estados Unidos. Pela qualidade do produto, esses pneus são escolhidos por Henry Ford, fundador da Ford Motor Company para equipar o primeiro automóvel produzido em série no mundo: o Ford T (KNEPPER, 1981).

Em 1901, o primeiro carro produzido pela Daimler, com o nome Mercedes, ganha a corrida Nice-Salon-Nice, equipado com pneus fabricados pela Continental. No mesmo ano, a Pirelli iniciou a produção de pneus para automóveis (PIRELLI TYRE, 2006) e dois anos mais tarde, Paul W. Litchfield, da Goodyear Tire Company, patenteou o primeiro pneu *tubeless* que, no entanto, nunca foi explorado comercialmente até 1954 (ALLEN, 1949).

Em 1904, a Continental foi a primeira companhia mundial a desenvolver e produzir pneus de automóveis com desenho de banda de rodagem (CONTINENTAL, 2009). A figura 6 apresenta o pneu desenvolvido com esse desenho.

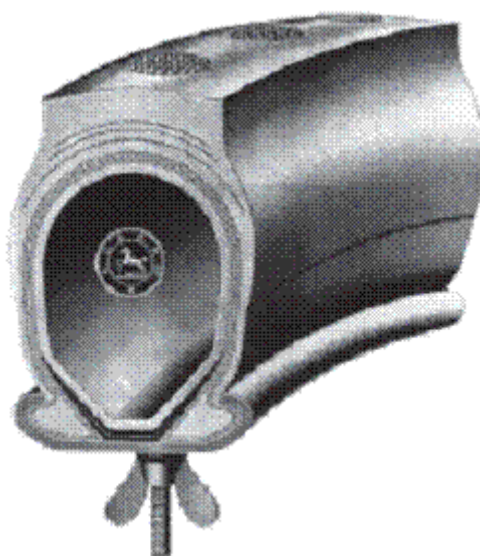


Figura 6 – Pneu desenvolvido com o desenho da banda de rodagem.
Referência: Continental (2009)

O ano de 1906 marcou o desenvolvimento do pneu de costado reto. Esse pneu era preso ao aro por um talão de arame e foi um grande progresso. Até então, esse talão precisava ser esticado no aro, pois tinha a extremidade curva para segurar o pneu. O pneu de costado reto foi idealizado para suprir essa dificuldade. Tratava-se de um pneu removível, preso por um flange lateral. O aro tinha a superfície lisa para impedir cortes; os talões eram feitos de arame trançados e prendiam o pneu ao aro (GOODYEAR DO BRASIL, 2003). Nesse mesmo ano, a Goodyear fabricava 900 pneus por dia e respondia por 36% do mercado de equipamento original (EO) nos Estados Unidos (ALLEN, 1949).

O aro universal, que surgiu na mesma época, podia ser usado tanto com o pneu de encaixe, como com o pneu de costado reto e permaneceu em uso por muitos anos, até o aparecimento do pneu balão, no início da década de 20. O pneu balão foi desenvolvido para absorver os choques e reduzir as despesas de manutenção dos veículos de carga (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Em 1908, Frank Seiberling, da Goodyear, inventou as ranhuras dos pneus de tração. A Continental no mesmo ano inventou a roda desmontável para automóveis, o que permitiu economia de tempo e de esforço na troca do pneu (ALLEN, 1949).

Amostras de borracha sintética, desenvolvidas pelos laboratórios Bayer, são vulcanizadas com sucesso pela Continental e testadas, pela primeira vez, em pneus.

Em 1909, a Goodyear foi a primeira empresa a produzir os pneus de aviões (ALLEN, 1949). No ano seguinte, BF Goodrich Company aumentou a vida útil dos pneus utilizando o negro de fumo na composição da borracha (MILLER; VANDOME; MCBREWSTER, 2009).

O projeto do primeiro pneu radial foi patenteado em 1915 por Artur W. Savage, um fabricante de pneumáticos de San Diego, CA, cuja patente expirou em 1949 (MILLER; VANDOME; MCBREWSTER, 2009). Em 1921, a Continental é a primeira empresa alemã a lançar no mercado pneus com tecido de engenharia. O tecido rígido de linho deu lugar a outro, com fibra mais flexível (CONTINENTAL, 2009).

Em 1926, o negro de fumo passa a ser utilizado para conferir ao pneu maior resistência ao desgaste e envelhecimento, bem como sua cor característica. E em 1940, a empresa BFGoodrich Company introduz a utilização de borracha sintética no processo de manufatura dos pneus (MILLER; VANDOME; MCBREWSTER, 2009).

No início do século 20, havia uma grande concorrência no mercado de pneus, sendo: pneus para carruagens, para bicicletas e para automóveis. Durante a década de 20, surgiu o tecido de rayon², mas somente em 1938 esse material foi

² O rayon foi desenvolvido pelo químico e industrial francês Hilaire Berigaud, que iniciou o desenvolvimento da fibra artificial em 1878. Enquanto trabalhava em uma câmara escura fotográfica, Chardonnet acidentalmente derrubou uma garrafa de nitrocelulose, quando ele começou a limpar o derramamento, a nitrocelulose apresentou uma viscosidade decorrente da evaporação. Durante a limpeza, Chardonnet percebeu a formação de fibras semelhantes à da seda, mas que eram inflamáveis. Foi utilizado o sulfeto de amônia para reduzir a inflamabilidade do material. A patente desse material foi obtida em 1884. Em 1889, foi apresentado o rayon pela primeira vez ao público e em 1924, a fibra artificial passou a ser conhecida como rayon (BAILEY, 1997).

desenvolvido para uso apropriado em pneus, substituindo o algodão utilizado nos tecidos de engenharia, adotado na construção dos pneus. Durante a II Guerra Mundial, toda espécie de veículo militar rodava com pneus de rayon (KOVAC, 1973; GOODYEAR DO BRASIL, 2003). Nas últimas etapas da guerra, aviões mais pesados e mais rápidos começaram a operar e os pneus com cordoneis de rayon não se adequavam as suas necessidades. O rayon foi substituído pelo nylon³, que era firme, elástico e flexível, em 1942 (KOVAC, 1973).

Logo após a II Segunda Guerra, a Goodyear começou a construir pneus para caminhões com cordoneis⁴ de nylon. Por ser muito superior, o nylon rapidamente tornou-se o cordoneis preferido para uso em pneus de aviões, caminhões, equipamentos fora de estrada, veículos militares e carros de corrida (GOODYEAR DO BRASIL, 2003; ALLEN, 1949).

A II Guerra Mundial também viu o surgimento da borracha sintética como fator essencial na indústria, principalmente em sua utilização para pneus. Como exemplo, houve o desenvolvimento da borracha de copolímero de butadieno e estireno (SBR), na Alemanha, por razão do fechamento de suas fronteiras com os países fornecedores de borracha natural (CANEVAROLO JUNIOR, 2002). O surgimento do polímero sintético foi fator essencial na indústria, principalmente em sua utilização para pneus.

Em 1954, a Goodyear revelou seu famoso processo 3-T (Temperatura, Tensão, Tempo) para cordoneis do pneu, abrindo as portas para o desenvolvimento em alta escala de modelos sem câmara. O processo 3-T, patenteado pela empresa, faz com que cada cordoneis, individualmente, se torne impenetrável à passagem de ar, com aumento das propriedades físicas, tais como alongamento à ruptura, carga de ruptura, redução do encolhimento total e permanente dos cordoneis e aumento da adesão entre os cordoneis e a borracha (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Em 1955, a Goodyear introduziu um programa de pneus sem câmara para caminhões de todos os tamanhos. Com essa realização, a empresa tornou-se o primeiro fabricante a oferecer as vantagens da construção sem câmara para todos

³ O químico americano Wallace H. Carothers formaliza, a partir de 1929, as reações das poliamidas. A primeira poliamida 6.6 foi sinterizada em 1935 e patenteada como nylon. Depois de anos de desenvolvimento, o nylon foi anunciado ao público na Feira Mundial de 1939, em Nova York. (BAILEY, 1997).

⁴ Cordoneis é composto por vários fios com torção S ou Z, que formam os cordoneis. Exemplo: 1100/3/2 – 1100 dTex, três cabos com torção em S e dois cabos com torção em Z, formam um cordoneis.

os segmentos da indústria de caminhões. Na realidade, esse desenvolvimento em particular foi considerado por muitos como sendo a contribuição mais importante para o transporte em rodovias, uma vez que os caminhões começaram a utilizar pneus em 1917 (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Assim como foi a primeira a introduzir os cordonéis de rayon e de nylon, a Goodyear foi a primeira a lançar o cordonel de poliéster⁵. Devido a sua resistência à tração, durabilidade e características de maciez, esse cordonel é bastante usado em pneus de automóveis e caminhões leves. O pneu radial foi desenvolvido na Europa e apareceu pela primeira vez, um pouco antes do início da II Guerra Mundial. Embora o conceito de radial tenha sido lentamente aceito nos Estados Unidos, já dominava o mercado europeu há anos. Mais recentemente, o cordonel de aço para as lonas da carcaça, assim como para as lonas das cintas tem sido a ordem do dia em matéria de pneus automobilísticos e de caminhões em muitos países do mundo (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

Em 1974, a fibra de Kevlar⁶ foi utilizada pela primeira vez como matéria-prima para a utilização em cordonéis de pneus (GOODYEAR DO BRASIL, 2003).

⁵ O poliéster foi desenvolvido pelos químicos britânicos John Rex Whinfield e James Tennat Dickson. Eles patentearam o poli(tereftalado de etileno) - PET, em 1941 depois do avanço da pesquisa de Wallace Carothers. O poliéster é fabricado a partir de substâncias químicas encontradas no petróleo (BAILEY, 1997).

⁶ Em 1965, Stephanie Kwolek desenvolve o Kevlar, fibra de alta resistência, baixa densidade, baixa condutividade elétrica, alta resistência química, excelente estabilidade dimensional, resistente a chama e auto-extinguível (DUPONT ADVANCED FIBERS SYSTEMS, 2001).

4 PROCESSO DE PRODUÇÃO DOS PNEUS

Os pneus são o único contato entre o veículo e o solo, suportam o peso, transmissão, aceleração e paradas; absorvem as irregularidades do asfalto e ruído, usam pouca energia e garantem a performance de todos esses itens que devem ser mantidos por longos períodos.

A produção de pneus consiste em seis processos básicos: 1 - mistura de polímeros, negro de fumo e outros componentes químicos utilizados na formulação do composto; 2 - construção de tecidos de engenharia e arames de aço com cobertura de borracha; 3 - extrusão de bandas de rodagem, costados e outros componentes de borracha; 4 - montagem dos componentes na máquina de construção de pneus; 5 - vulcanização dos pneus sob temperatura e pressão; 6 - finalização do processo com inspeção final, testes, estocagem e o embarque dos pneus.

A composição dos materiais utilizados na construção dos pneus de automóveis, ônibus e caminhões é apresentada na tabela 2.

Tabela 2 – Composição dos materiais utilizados nos pneus de automóveis e carga por peso (*adaptado de Adhikari, De e Maiti (2000); Brasil (2003)*).

| Materiais | Pneu de Automóveis (%) | Pneu de Carga (%) |
|-----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Borracha Natural | 14 | 27 |
| Borracha Sintética | 27 | 14 |
| Negro de Fumo | 28 | 28 |
| Aço | 14 - 15 | 14 - 15 |
| Tecido, aceleradores, antioxidante, óleos, entre outros. | 16 - 17 | 16 - 17 |
| Peso Total | Peso médio do pneu novo 8,5 kg. No Brasil, o pneu inservível pesa 5 kg, conforme a Instrução Normativa nº 008 do Ibama, de 15 de maio de 2002 (*) | No Brasil, o pneu inservível pesa 40 kg, conforme a Instrução Normativa nº 008 do Ibama, de 15 de maio de 2002 (*) |

(*) Na Instrução Normativa nº 008/02 consta a informação da equivalência em peso dos pneus de automóveis, ônibus, caminhões, motos e pneus fora de estrada. Em 2010, com a aprovação da Instrução Normativa nº 001/10, foi revogada a Instrução Normativa nº 008/02. Não existe um levantamento de campo do peso dos pneus inservíveis de automóveis, motos, ônibus e caminhões, realizado com as empresas de pré-tratamento e destinação desses produtos.

Referência: Adhikari, De e Maiti (2000); Brasil (2003)

Segundo Badi (2011)⁷, o peso médio dos pneus inservíveis de automóveis, ônibus e caminhões é 11,3 kg. Os pneus de ônibus e caminhões que são enviados para as empresas de reforma de pneus pesam em torno de 60 kg, tendo perdido 10% do peso devido ao desgaste da banda de rodagem.

Polímeros

Os polímeros utilizados na construção dos pneus são a borracha natural e a sintética. A borracha natural é obtida principalmente das árvores *Hevea brasiliensis*, na forma de látex, as quais são sangradas por um corte na casca mais externa. O látex líquido é coletado em pequenos recipientes e em seguida coagulado com a finalidade de obter a borracha sólida. A tabela 3 apresenta os polímeros utilizados na fabricação dos pneus de automóveis, ônibus e caminhões (DATTA, 2005).

Tabela 3 - Polímeros utilizados para a fabricação dos pneus de automóveis e carga.

| Componente | Pneus de Automóveis | Pneus de Carga (*) |
|------------------|---------------------|---------------------|
| Banda de Rodagem | SBR- BR | NR - BR ou SBR - BR |
| Cintas | NR | NR |
| Carcaça | NR - SBR + NR | NR - BR |
| Costado | NR - BR ou NR - SBR | NR - BR |
| Liner | NR - SBR - IIR | NR - IIR |

(*) Pneus de ônibus e caminhões

Legenda:

NR - Borracha Natural (*Isoprene Rubber / Natural Rubber*)

SBR - Borracha de estireno-butadieno (*Styrene-Butadiene Rubber*)

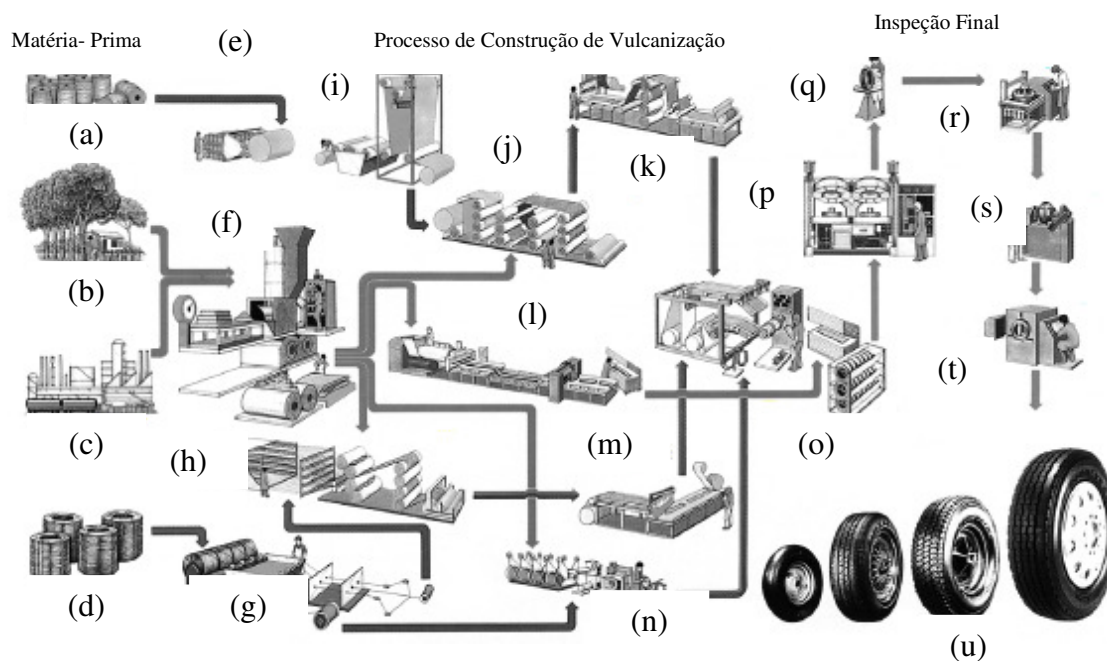
BR - Polibutadieno (*Butadiene Rubber*)

IIR - Borracha Butílica (*Isobutylene-Isoprene Rubber / Butyl Rubber*)

Referência: Datta (2005)

A figura 7 apresenta o diagrama de blocos do processo de construção e testes dos pneus (GOODYEAR DO BRASIL, 2004; RODGERS; WADDEL, 2005; COMO NASCE..., 2005).

⁷ Informação obtida através de entrevista com Germano Júlio Badi da *Tire Industry Association* – TIA em 2011.



- a) Indústria têxtil (fibras, cordonéis, tecidos de engenharia)
- b) Plantação de borracha natural – NR
- c) Indústria química
- d) Indústria siderúrgica (arames para a banda de rodagem e talão)
- e) Tear (máquina utilizada para a fabricação do tecido de engenharia)
- f) Misturador Banbury (mistura dos compostos de borracha)
- g) Montagem do arame da carcaça e do talão
- h) Calandra de arame (utilizada para a construção dos reforços da banda de rodagem)
- i) Dipagem dos tecidos de engenharia (*nylon*, *rayon*, poliéster, fibra de vidro, aramida);
- j) Calandragem do tecido de engenharia
- k) Corte do tecido de engenharia em ângulo para a construção dos pneus
- l) Extrusoras para a banda de rodagem e diversos componentes utilizados na construção dos pneus
- m) Corte do reforço de arame após o processo de calandragem
- n) Construção do talão, que é utilizado para a fixação do pneu no aro
- o) Máquina de construção do pneu
- p) Prensa de vulcanização e PCI
- q) Inspeção visual e remoção de rebarbas do processo de vulcanização
- r) Balanceamento
- s) Variação de força
- t) Raio-X (Sherografia).
- u) Produto acabado (pneus de automóveis, caminhões, ônibus, aviões, entre outros).

Figura 7 – Diagrama de blocos do processo de construção de pneus.
 Referência: Goodyear (2004); Rodgers e Waddel (2005); Como Nasce... (2005)

A borracha sintética é derivada do petróleo. O negro de fumo utilizado na composição da borracha é obtido pela queima do petróleo em fornos. Há outros ingredientes que são utilizados na formulação da borracha, tais como: aceleradores, enxofre, plastificantes, antioxidantes, entre outros.

Fabricação de tecidos de engenharia

As fibras têxteis são agrupadas em cordonéis, conforme ilustram as figuras 8 e 9, que formam o urdume⁸, que é o primeiro componente do tecido, conforme a figura 10. O tear coloca os fios leves transversais ou tramas, que são o segundo componente, construindo o tecido. Em seguida, o tecido é impregnado com uma solução especial para proporcionar a adesão com a borracha⁹.

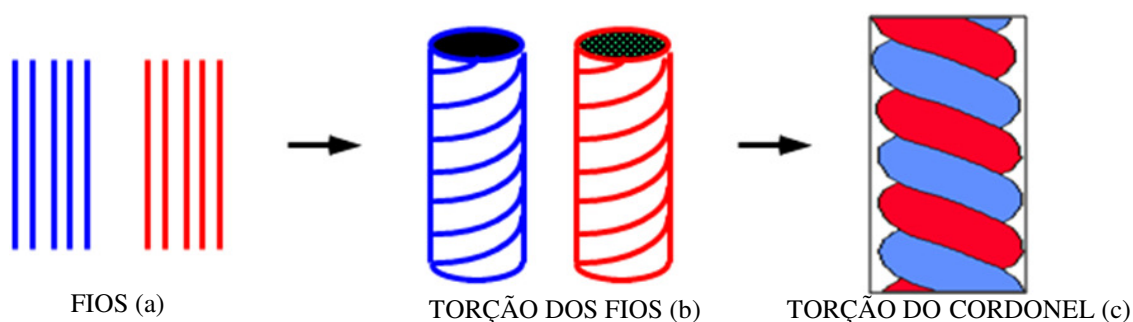


Figura 8 – Fios (a), torção dos fios (b) e torção no cordonel (c).

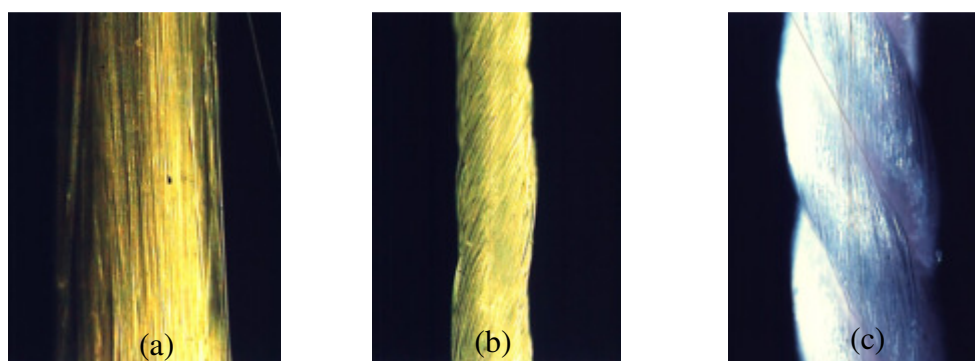


Figura 9 – Fios (a), torção nos fios em Z (b) e torção no cordonel em S (c).

⁸ O urdume é o conjunto de fios ou cordonéis dispostos longitudinalmente através dos quais a trama é tecida. Cada fio ou cordonel em um tecido é chamado de "urdume final" (BASTIAN, 2009).

⁹ Experiência adquirida em trabalhos realizados na indústria têxtil, de dipagem e de pneumáticos.

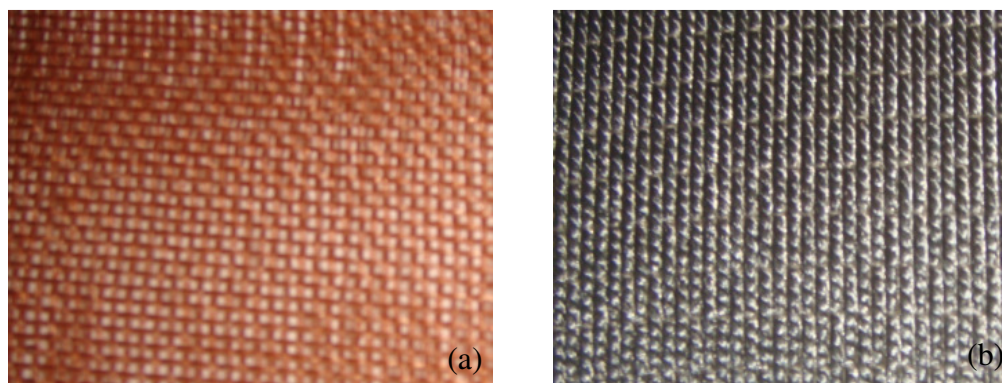


Figura 10 – Tecido quadrado (a) e cordonel (b).

O processo de dipagem de tecidos ou impregnação por imersão é a operação de impregnação dos filamentos, cordonéis ou tecido com um adesivo para facilitar a adesão com a borracha. O material a ser dipado passa por uma solução de RFL (Resorcinol, Formadeido e Látex) com o objetivo de estabilizar o tecido para operações subseqüentes, equalizar as diferenças entre os diversos fornecedores de fios e melhorar a adesão e as características físicas dos cordonéis, tais como: encolhimento, resistência à ruptura, alongamento, rigidez, alongamento a 5% da tensão, entre outras. A solução de dipagem muda em função do tipo de material a ser dipado: fibras convencionais (poliéster, *nylon* e aramida) ou especiais (fibra de vidro e carbono). A tabela 4 apresenta o desenvolvimento das fibras utilizadas como reforços na construção dos pneus.

Tabela 4 – Fibras utilizadas como reforços nos pneus.

| Ano | Material dos cordonéis |
|-------------------------|-------------------------------|
| 1900 - 1956 | Algodão |
| 1939 até o presente (*) | <i>Rayon</i> |
| 1950 até o presente | <i>Nylon</i> |
| 1965 até o presente | Poliéster |
| 1970 até o presente | Cordonéis de aço |
| 1975 – 1985 | Fibra de Vidro |
| 1980 até o presente | Aramida |
| 1990 até o presente | Cordonéis Híbridos |

(*) Utilizado nos pneus diagonais ou convencionais.
Referência: Rodgers e Waddel (2005)

O tecido é montado em um conjunto desenrolador e é passado um tecido para puxar o tecido cru por dentro de todo o sistema de dipagem até o conjunto enrolador do material. Os banhos não ficam em contato com o tecido de passagem. Após isso é iniciado o processo de dipagem, no qual a tensão é controlada por células de carga. Além disso, são controlados a temperatura e o tempo de residência dentro das estufas de secagem e de aquecimento.

O primeiro banho é aplicado no tecido, que passa por um sistema de roletes e um sistema de vácuo, que tem a função de eliminar o excesso de solução aplicada no tecido. O tecido passa por uma zona de secagem e depois por uma zona de aquecimento, chamada de zona 1. Na sequência, é aplicado o 2º banho de solução e removido o excesso por um sistema igual ao descrito na zona 1. O tecido passa por outra zona de secagem, aquecimento, denominada zona 2. A figura 11 apresenta o diagrama de blocos do processo de dipagem dos tecidos de engenharia.

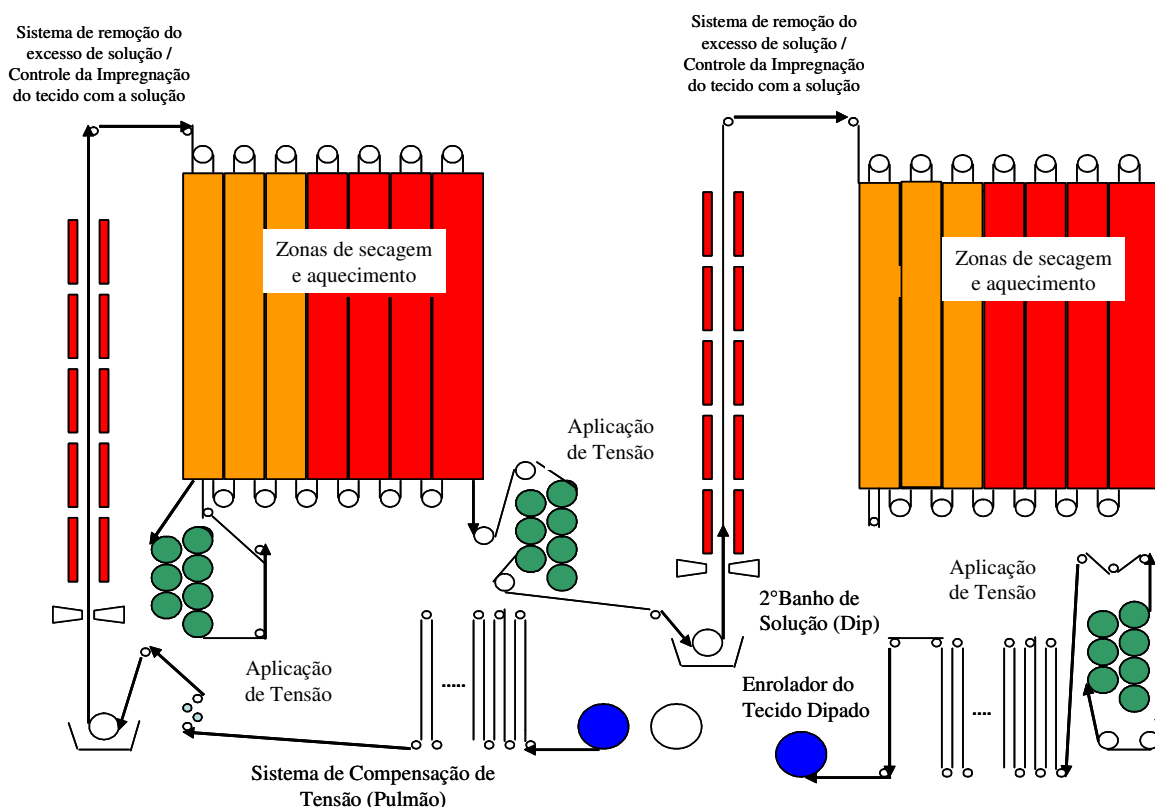


Figura 11 – Diagrama de blocos do processo de dipagem de poliéster, *nylon*, *rayon* e aramida. Referência: Goodyear Tire & Rubber Company (2006); Rodgers e Waddel (2005)

Após isso, o tecido passa por uma zona de resfriamento e é enrolado no conjunto enrolador. A temperatura e a tensão determinam a relação de área cristalina ou amorfa das fibras e a orientação de cristalinidade que define as propriedades físicas dos cordonéis.

Em todo o processo, é verificada a condição de dipagem do tecido, controle de largura e porcentagem de impregnação da solução de látex nos cordonéis ou tecido.

As temperaturas de ativação da solução do dip de RFL nos cordonéis dos tecidos variam de 199°C a 499°C. Para a ativação do poliéster, a temperatura varia entre 205°C a 250°C.

A 1ª zona de dipagem controla a tensão de ruptura dos fios. A 2ª zona controla a carga de ruptura com 5% de alongamento, que é chamado de lase 5%.

A dipagem com múltiplas zonas controla o crescimento das fibras e a sua estabilização.

Os tecidos são embalados com filme de polietileno para evitar qualquer tipo de contaminação e absorção de umidade, o que prejudica a adesão com a borracha após o processo de vulcanização.

A adesão com a borracha é um item importante dentro do processo de fabricação dos pneus. Os itens que influenciam a adesão são: a quantidade de óleo de enzimagem¹⁰ dos fios simples; tipo de enzimagem; formulação da solução para a dipagem; porcentagem de absorção do composto de látex; composto de borracha; construção do cordonel e tecido; tamanho da amostra; temperatura, tempo e pressão durante o processo de vulcanização; contaminação, umidade, entre outros (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1968).

Existem vários estudos em andamento para a utilização de outras fibras para o reforço dos pneus, conforme a figura 12 (GOODYEAR TIRE & RUBBER COMPANY, 2006). A polybenzoxalone (PBO) é uma nova família de materiais compósitos com propriedades que a torna única entre as fibras orgânicas conhecidas. Combina elevado módulo, resistência à tração e ao calor e densidade de 1,34 g/cm³. Não apresenta boa resistência quando exposta a umidade. (CUENCA, 2010; GOODYEAR TIRE & RUBBER COMPANY, 2006).

Uma dificuldade encontrada para a reciclagem de fibras após o processo de dipagem é a remoção da solução de látex que está incorporada às fibras e dificulta o seu retorno para o processo de fiação.

¹⁰ Os óleos de enzimagem são utilizados com a finalidade de lubrificar os fios das fibras têxteis, naturais ou sintéticas, visando impedir o acúmulo de cargas estáticas nas fibras (que provocam a repulsão e eriçamento das fibrilas, podendo levar à quebra ou rompimento dos fios no processo), facilitar o deslizamento dos fios nas guias e maquinários e aumentar a coesão das fibras (BASTIAN, 2009).

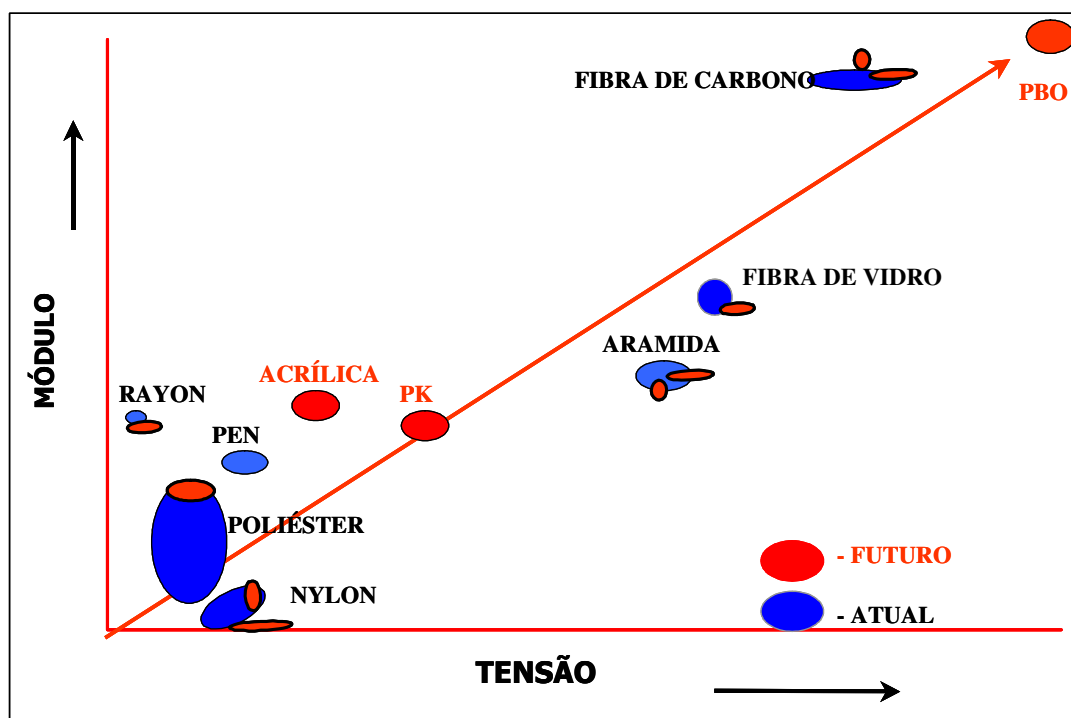


Figura 12 – Cenário atual e futuro para a utilização de materiais para a construção de tecidos de engenharia para pneus.

Referência: Goodyear Tire & Rubber Company (2006)

Mistura da borracha

A borracha natural e sintética são misturadas em um misturador interno chamado banbury junto com outros ingredientes que fazem parte da composição do composto de borracha. A formulação depende de quatro pontos básicos: o polímero, a carga ou partículas de reforço, o sistema de estabilização e a vulcanização. Uma série de outros componentes são adicionados aos materiais secundários tais como resinas, óleos, fibras de reforço. A quebra e a mistura do composto ocorre em temperaturas acima de 180 °C.

Os misturadores internos são constituídos de dois rolos que giram em rotações contrárias nos quais são adicionados os polímeros, aditivos e outros ingredientes. A mistura é feita em três a quatro etapas para incorporar os ingredientes na ordem desejada.

Os compostos também podem ser misturados em misturadores abertos, chamados de moinhos, onde são adicionados os componentes manualmente ou com a utilização de pás. Os pesos dos lotes são menores e, por isso, o sistema de

misturador interno não é eficiente, o grau de automação e a uniformidade são baixos.

O grau de quebra com a utilização dos dois tipos de equipamentos depende da razão do atrito ou da diferença entre a velocidade dos rolos, no caso dos moinhos, ou dos rotores, no caso dos misturadores internos. Além disso, a condição das superfícies do rotor, pressão, desgaste e diferenças de temperaturas no alojamento do conjunto misturador influenciam a velocidade.

Os misturadores internos possuem controle de consumo de energia, tempo de mistura, temperatura e tempo de adição de cada componente da formulação, entre outros. Os moinhos possuem controle de velocidade, o resfriamento é feito através de um sistema de união rotativa com um tubo tipo pescador, cuja função principal é resfriar os rolos dos moinhos durante sua utilização. Não existe um sistema de controle de temperatura e registros da sequência de adição dos componentes.

A operação de mistura é projetada para obter a dispersão uniforme de todos os materiais utilizados na formulação do composto. Para cada lote de composto misturado há um período de tempo definido, uma velocidade do moinho ou da mistura e uma sequência de adição do material.

A sequência típica é: (a) polímeros, neste estágio ocorre uma redução do peso molecular; (b) plastificantes, negro de fumo ou sílica e óleos são adicionados após o início da quebra; (c) saldo de cargas e antioxidantes e (d) componentes do sistema de vulcanização.

A construção de um ciclo de mistura é regida por um conjunto de regras empíricas: (a) manter as resinas com alta adesão separadas do pó seco; (b) manter as temperaturas dos lotes acima do ponto de amolecimento das resinas rígidas; (c) conter líquidos para evitar fugas; (d) fazer uso das propriedades ao cisalhamento da borracha para acelerar a mistura; (e) evitar a queima e a formação de partículas vulcanizadas.

Depois da mistura, a carga de borracha cai em um misturador aberto no qual são formadas as mantas de borracha, que passam na sequência por um sistema de resfriamento chamado de *“batch-off”*, cuja função é resfriar o composto e evitar sua aderência entre as mantas posicionadas nos *skids* ou *pallets* metálicos. As lâminas de borracha são identificadas com o código do composto e delas são retiradas amostras para a realização de testes, conforme a especificação do composto.

Calandra de tecido

A calandragem é a operação de conformação em que o composto de borracha é aplicado em ambos os lados do tecido em calandras de três ou quatro rolos coquilhados com superfície cromada que giram em direções opostas. Os rolos possuem superfície côncava e convexa, o que permite o espalhamento da borracha uniformemente sobre o tecido. É utilizado um sistema de controle de temperatura com vapor e água, que é injetado dentro dos rolos por um sistema de união rotativa e existe um sistema de tubos pescadores para a recirculação d'água. A espessura de borracha pode ser ajustada manualmente, pela abertura e fechamento dos rolos, ou automaticamente, com a utilização de um sistema de leitura da espessura de borracha que faz o ajuste automático durante o processo de calandragem. O composto é alimentado nos moinhos que fazem o cisalhamento e são alimentados na banca da calandra através de esteiras, que podem ser fixas ou móveis, permitindo uma boa distribuição da borracha na banca da calandra.

Existem duas opções para o processo de calandragem de tecidos, sendo: o processo de fricção e o de revestimento. No processo de fricção, o rolo intermediário da calandra possui uma velocidade maior que o rolo inferior, a borracha é pressionada no tecido e tem a máxima penetração de borracha. Com isso, no processo de vulcanização a adesão ocorre entre a 1ª e a 2ª camadas aplicadas sobre o tecido. No processo de revestimento, o rolo intermediário possui a mesma velocidade que o rolo inferior e há uma menor penetração da borracha no tecido.

A calandra possui um sistema desenrolador de tecido, que passa na sequência por um sistema de compensação, que funciona como um pulmão do processo. Em seguida é aplicado à borracha um conjunto perfurador do tecido calandrado que tem como função evitar a formação de bolhas durante o processo de aplicação do tratamento nos pneus. O tecido calandrado pode ser enrolado com filme de polietileno ou em forro de polipropileno.

Calandra de Arame

Na calandra de arame, antes da entrada da calandra existe um sistema de *creel*, no qual são montadas as bobinas de arames de aço utilizada na construção das cintas dos pneus radiais. Os arames são passados em pentes distribuidores

antes da entrada na calandra. O processo de funcionamento é similar ao da calandra de tecido. A tabela 5 apresenta a composição dos arames de aço utilizados na construção dos pneus radiais.

Tabela 5 – Composição dos arames de aço em peso, utilizados na construção dos pneus radiais.

| Elemento | Composição (%) |
|-----------------|-----------------------|
| Carbono | 0,65 |
| Cromo | 0,05 |
| Cobre | 0,02 |
| Manganês | 0,6 |
| Silício | 0,25 |
| Enxofre | 0,03 |

Referência: Mark, Erman e Eirich (2005)

Extrusoras

O costado, a banda de rodagem e os outros componentes dos pneus são extrudados em contornos definidos e cortados no comprimento para a sua utilização no processo de construção do pneu. São utilizadas extrusoras *duplex* ou *quadruplex* para a extrusão, sendo que a *quadruplex* pode extrudar até quatro compostos diferentes, que são utilizados na banda de rodagem.

As extrusoras são divididas em dois sistemas de alimentação: alimentação a quente ou a frio. No sistema de alimentação a quente, o composto passa pelo moinho que alimenta a extrusora. No sistema de alimentação a frio, o composto é cortado em tiras durante o processo de mistura no banbury e é alimentado na extrusora por um sistema de rolos puxadores, que fazem a alimentação da máquina. O material entra em uma rosca, que possui três zonas principais, sendo: alimentação, compressão e medição. Na zona de alimentação, os filetes da rosca são bem espaçados para otimizar o fluxo do composto. Na zona de compressão o material é aquecido para a redução da viscosidade e passa, na sequência, por uma matriz para a extrusão do perfil de borracha.

A relação comprimento e diâmetro da rosca para a extrusão a quente é da ordem de 4:1 ou 6:1. No caso da alimentação a frio, a relação é da ordem de 24:1. Nos dois sistemas são controlados temperatura, pressão e fluxo de material. O controle de temperatura é feito em cada zona de aquecimento por trocadores de

calor ou através do aquecimento d'água por resistências elétricas. A pressão é controlada por um transdutor de pressão instalado próximo da saída do perfil extrudado.

Cortadoras de lonas

As lonas são cortadas em determinadas larguras e ângulos após o processo de calandragem para a construção dos pneus. Nestes equipamentos existe um sistema desenrolador, um sistema com carro de corte em ângulo, uma mesa para reposicionamento da lona cortada e um conjunto enrolador. As emendas das lonas podem ser feitas manualmente ou automaticamente por um sistema de aquecimento e posterior corte. As lonas cortadas são enroladas em tubos que serão utilizados para a fixação na máquina de construção de pneus.

Talão

O talão é construído com arame de aço que forma um anel. A borracha é aplicada em volta deste anel formando um talão, que varia em função do tipo de pneu a ser utilizado.

Máquina construtora de pneus

Nessa máquina é construído o pneu cru, que é o agrupamento de todos os componentes. A sequência de montagem dos pneus: laminados de borracha; aplicação de lonas e amortecedores; talões em ambos os lados dos pneus e aplicação da banda de rodagem no centro da carcaça do pneu.

Vulcanização dos Pneus

Depois de construídos, os pneus são direcionados para a área de vulcanização, onde são fixados nos conjuntos alimentadores. Esse sistema posiciona o pneu nos moldes para o início de sua conformação com o auxílio do

*blader*¹¹, que é inflado com água, vapor ou gás inerte, e o fechamento do molde. A temperatura fica em torno de 177°C e a pressão é de 24,2 bar. O tempo e a temperatura de vulcanização variam em função do tipo de pneu, por exemplo, um pneu de automóvel é vulcanizado em aproximadamente 15 minutos e um pneu fora de estrada pode ser vulcanizado em até 24 horas.

O pneu cru é montado em uma prensa e através de um ciclo de entrada de nitrogênio na parte interna, inicia-se o processo de conformação do pneu dentro do molde. Na parte externa circula vapor, que é responsável pelo ciclo de vulcanização. Os pneus são retirados das prensas após o término do ciclo de vulcanização e colocados em um sistema chamado *Post Cure Inflator* (PCI), onde são inflados com ar comprimido para evitar deformações durante o processo de resfriamento.

Inspeção Final

Depois do processo de vulcanização, os pneus são inspecionados para verificar a existência de defeitos visuais tais como: bolhas, cabos expostos, manchas, entre outros. Nessa fase são removidas as rebarbas de borracha. Alguns pneus são inspecionados em um equipamento de Raio-X ou Sherografia, cuja função é identificar falhas internas após o processo de vulcanização e espaçamento dos cabos dos pneus radiais. Além disso, são feitas amostragens estatísticas de pneus em teste de durabilidade, uniformidade e equilíbrio dinâmico.

Os pneus são estocados na fábrica até o envio para exportação, montadoras revendas ou distribuidores.

4.1 COMPONENTES DOS PNEUS

Banda de rodagem

A banda de rodagem é composta de uma mistura de copolímero de estireno-butadieno (SBR), borracha natural (NR) e borracha de polibutadieno (BR), negro de fumo, sílica, óleos, aceleradores, pigmentos e outros produtos químicos. A borracha

¹¹ O *blader* é um equipamento montado no centro da prensa de vulcanização, que tem o objetivo principal conformar a parte interna do pneu cru durante o fechamento / vulcanização. É construído com borracha butílica em uma máquina de talões e vulcanizada em autoclave. O desenho externo do *blader* durante o processo de vulcanização é transferido para a parte interna do pneu.

natural é utilizada em pneus de ônibus, caminhões e aviões. O negro de fumo e sílica servem para aumentar a resistência à abrasão e são considerados como reforços. Nos pneus de automóvel são utilizados os compostos SBR e BR e nos pneus de ônibus e caminhões utilizam-se NR, BR ou SBR, BR. A composição da borracha, o formato do corte transversal da banda de rodagem, o número de raias e sulcos, e o modelo da banda de rodagem são importantes para determinar o desgaste, a tração e a temperatura de funcionamento do pneu.

A banda de rodagem é composta por: blocos, raias, sulcos e lâminas. Os blocos são os elementos que efetivamente tocam o solo, garantindo a tração e a capacidade de frenagem do pneu. Apesar de apresentarem, em geral, o mesmo formato, os blocos têm tamanhos diferenciados. Essa característica denomina-se assimetria e tem a função de evitar a formação de ondas sonoras e, conseqüentemente, a ressonância.

As raias são um conjunto de blocos longitudinais da banda de rodagem. As raias são responsáveis pelo sentido longitudinal do pneu. A figura 13 apresenta, em detalhes, o corte transversal de um pneu de automóvel.

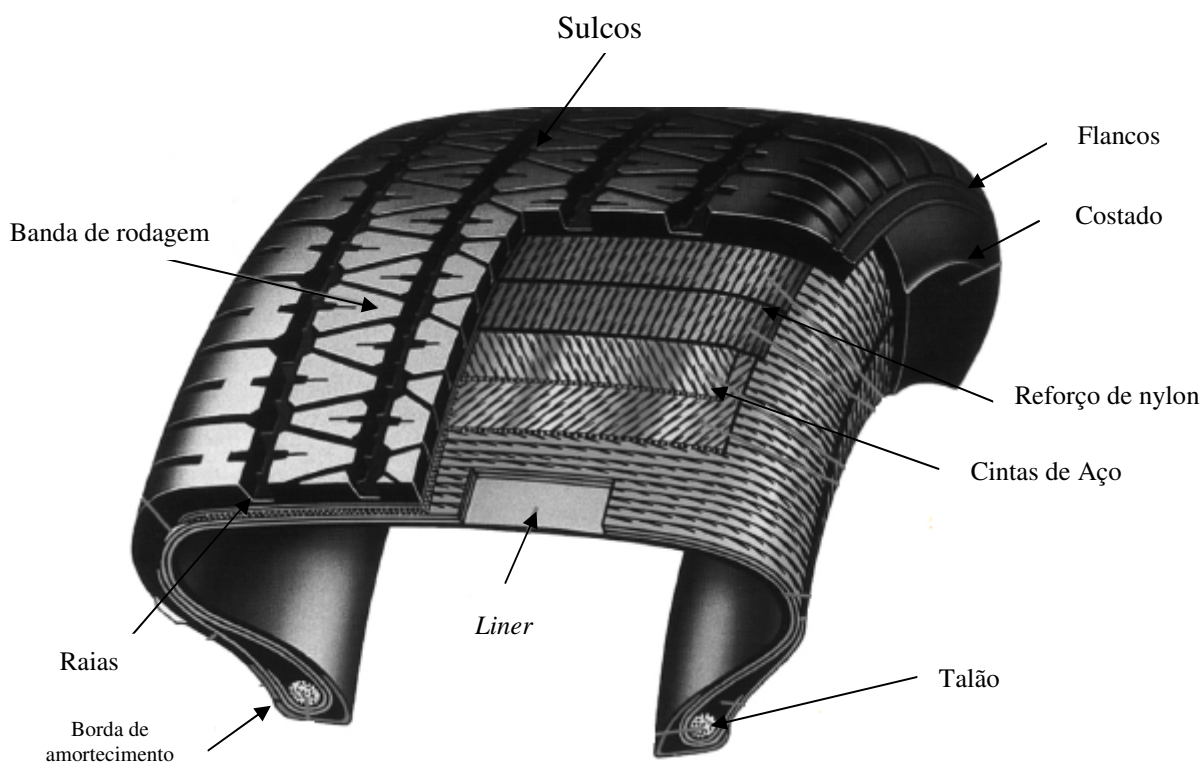


Figura 13 – Corte transversal de um pneu de automóvel.
Referência: Rodgers e Waddel (2005)

Os sulcos são canais entre as raias da banda de rodagem. Eles são essenciais para a tração, o controle direcional e as propriedades de resfriamento. Indicadores de desgaste, chamados de *Tread Wear Indicator* (TWI), são moldados na parte de baixo dos sulcos na banda de rodagem e indicam quando o pneu deve ser trocado.

A tabela 6 apresenta os componentes utilizados na construção dos pneus de automóveis, caminhões e ônibus, com o tipo de material e requisitos.

Tabela 6 – Componentes dos pneus de automóveis e carga.

| Parte do pneu | Tipo de material | Requisito do material |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Banda de rodagem | Copolímero estireno-butadieno (SBR) (laminado) | Aderência e resistência ao desgaste |
| Costado | Composto de borracha (laminado) | Resistência à flexão, a rachaduras, a impactos, fricções e a fadiga |
| Carcaça | Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, ou poliéster ou de aço impregnados com borracha | Capacidade de carga, resistência à flexão e à fadiga |
| Talão | Arames de aço isolados com borracha | Flexibilidade e resistência a carga |
| Amortecedores | Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, impregnados com borracha | Resistência contra impactos e penetrações |
| Cintas estabilizadoras | Fios de aço impregnados de borracha | Resistência contra impactos e perfurações |
| <i>Overlay</i> | Cordonéis de <i>nylon</i> dipados, impregnados com borracha | Resistência contra impactos e perfurações |
| <i>Liner</i> | Composto de borracha butílica (para pneus sem câmara) e composto de borracha comum (para pneus tipo com câmara) | Ausência de porosidade e resistência a fricções |

Referência: Goodyear do Brasil (2009b)

Costado

O costado é a parte do contorno do pneu entre os talões e o ombro. Ele é a capa de NR, SBR e BR, para pneus de automóvel, e NR e BR, para pneus de carga, e é utilizado para proteger a carcaça contra danos na lateral do pneu. O costado apresenta resistência à flexão, rachaduras, impactos, fricções e fadiga. O tecido utilizado no costado dos pneus pode ser de *nylon* 6.6 ou aramida.

O principal uso de uma blenda de polímeros em sua produção é a redução da perda de histerese¹² e a resistência ao rolamento como principal objetivo (DATTA, 2005).

Ombros

Os ombros são as partes superiores do costado, exatamente embaixo da borda da banda de rodagem. O modelo do ombro afeta o comportamento da transferência do calor no pneu e as características de angulação dos tecidos de engenharia.

Talões

Os talões são construídos com cordoalhas de aço de alta resistência formada em aros inextensíveis. O talão ancora as lonas e prende o conjunto no aro da roda. O formato ou contorno do talão é adaptado ao friso da roda e impede o pneu de balançar ou escapar do aro. O objetivo principal do talão é garantir a flexibilidade, a resistência a esforços radiais e axiais, e a vedação entre o pneu e o aro. O talão é revestido com borracha sintética.

Tecidos

As lonas são camadas de tecidos de engenharia que se estendem de talão a talão, formando a carcaça do pneu. As lonas são dobradas sobre o talão fazendo a ancoragem na carcaça do pneu. A carcaça do pneu é composta por tecidos de engenharia construídos com cordonéis de *nylon*, poliéster e *rayon* dipados ou de aço impregnado com borracha. O tecido de poliéster e *rayon* é calandrado com borracha e tem como função principal suportar a pressão interna e prender o pneu no aro. Os tecidos de *nylon* são utilizados para controlar o aumento das dimensões dos pneus devido às forças centrífugas em altas velocidades.

¹² A histerese atua na dissipação de energia. Transforma parte da energia elástica em energia térmica, durante a deformação e relaxação dos pneus. Quanto maior a histerese, maior a geração de calor, devido às rápidas flexões que ocorrem quando o pneu está em movimento. A menor histerese, em um único elastômero exige a redução da quantidade da carga de negro de fumo ou aumento da densidade de reticulação (MARK; ERMAN; EIRICH, 2005).

Cintas

As cintas são camadas de cabos de aço de alta resistência impregnados com borracha, montadas abaixo da banda de rodagem do pneu. São menores, em ângulo, do que as lonas da carcaça, servem para fazer a amarração à carcaça e têm como função melhorar a forma e estabilidade, a resistência ao rolamento e aumentar a vida útil do pneu.

A base da banda de rodagem reduz a resistência ao rolamento e amortece o choque de transmissão para a carcaça. A borracha utilizada deve garantir uma boa adesão entre a banda de rodagem e os tecidos utilizados como reforço e permitir a dissipação do calor da banda de rodagem.

Os cabos de aço utilizados na construção dos pneus são normalmente definidos pela estrutura ou configuração da cordolha; pelo comprimento e direção e pelo tipo de produto.

Amortecedores

Os amortecedores em pneus de lona oblíqua parecem ser iguais às cintas, mas possuem quase o mesmo ângulo da carcaça. Em consequência, não dão amarração às lonas da carcaça, mas acrescentam volume e amortecimento na área da banda de rodagem. O material utilizado na construção do amortecedor é o *nylon* 6.6., sua função principal é resistir a impactos, penetrações e melhorar o desempenho dos pneus em altas velocidades.

Liner

O *liner* é uma fina camada de borracha butílica (IIR) (*polyisobutyle* com aproximadamente 2% de isoprene), NR e SBR para pneus de automóvel e NR-IIR para pneus de carga. É utilizado em pneus sem câmara e aplicado na parte interna dos pneus para fazer a vedação interior e evitar a perda de ar.

Antifricção

O antifricção é composto por tiras estreitas de materiais colocadas ao redor da parte externa do talão para proteger os cordonéis da lona contra desgaste e

cortes feitos pelo aro. Ele ajuda a distribuir a flexibilidade acima do aro e impedir a penetração de umidade e sujeira dentro do pneu.

Cobre talão

O cobre talão é o tecido de reforço ao redor do arame do talão, utilizado para prendê-lo à carcaça.

Sub-banda de rodagem

A sub-banda de rodagem é a parte do composto da banda de rodagem entre a parte externa dos sulcos da banda e a interna da lona ou cinta superior. As lonas da carcaça, os talões, as cintas e a banda de rodagem são considerados componentes primários porque são responsáveis pelas características fundamentais do pneu, tais como: formato geométrico e capacidade de carga. Os componentes secundários são a antifricção, os amortecedores, e os estabilizadores que reforçam e protegem os componentes primários contra altas concentrações de esforços, distribuindo as forças por áreas maiores ou para materiais capazes de suportar condições específicas de esforço. Os componentes secundários são usados para modificar as propriedades mecânicas do pneu e obter características especiais.

4.2 VIDA ÚTIL DOS PNEUS

Os fatores que influenciam a vida útil dos pneus (GOODYEAR DO BRASIL, 2010; ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO DE REFORMAS DE PNEUS, 2011; BADI, 2011¹³) são:

- a pressão baixa gera deflexão excessiva do pneu provocando desgaste, trincas superficiais na área do talão, aumento no consumo do combustível, reduzindo a vida útil do pneu e, no final da vida útil, os pneus são classificados como inservíveis, diminuindo a quantidade disponível para o processo de reforma;

¹³ Informação obtida através de entrevista com Germano Júlio Badi da *Tire Industry Association* – TIA em 2011.

- a pressão alta reduz a capacidade de flexão do pneu, deixando de amortecer os impactos e causando rupturas na carcaça do pneu com maior facilidade. O pneu tem desgaste nas raias centrais da banda de rodagem nos pneus diagonais / convencionais e desgaste nos ombros nos pneus radiais;
- a geometria veicular é um conjunto de parâmetros geométricos que rege o posicionamento dos eixos e rodas de um veículo para assegurar que as rodas sempre rodem sem deslizamento ou arrasto, evitando, com isso, o desgaste excessivo dos pneus, o excesso de consumo de combustível, o desgaste ou a quebra prematura dos componentes do sistema de suspensão;
- o camber é o ângulo que representa a inclinação da parte superior das rodas dianteiras para dentro e para fora do veículo, no sentido transversal. Quando o camber está fora do especificado, ocorre o desgaste irregular dos pneus, problemas de dirigibilidade, interferência na convergência e aumento da resistência ao rolamento;
- o rodízio dos pneus evita desgastes irregulares e desenvolve um trabalho particular sobre o desenho do pneu. Após a mudança para uma outra posição, o pneu passa por um período de adaptação no qual o desgaste é acentuado. O rodízio deve ser realizado a cada 10.000 km;
- o alinhamento das rodas (convergência e divergência) tem a função de compensar a elasticidade do mecanismo de direção (pivôs, braços, terminais, barras de direção e ligação) em razão da carga e velocidade, e faz as rodas ficarem paralelas quando o veículo está em movimento. No caso do alinhamento fora do especificado, ocorre o desgaste prematuro dos pneus;
- todos os eixos devem estar paralelos entre si e perpendiculares ao chassi para manter a direção em linha reta;
- combinação e espaçamento de pneus duplos;
- montagem das rodas;
- atitude do motorista ao dirigir;
- tipo de estrada em que roda o veículo, com ou sem asfalto;
- posicionamento da carga, acelerações bruscas e frenagens súbitas;

- impactos em guias e buracos, temperatura ambiente, entre outros.

A vida útil dos pneus de automóveis, de carga, industriais, aviões e fora de estrada é apresentada na tabela 7.

Tabela 7 – Vida útil dos pneus para aplicações industriais, agrícolas, fora de estrada, passeio, ônibus e caminhão.

| Tipo de Pneu | Vida Útil (1) |
|-----------------------|-----------------------------|
| Trator | 10 a 12 anos |
| Transbordo Canavieiro | 4 a 5 anos (2) |
| Empilhadeiras | 4.000 a 5.000 horas |
| Automóveis | até 80.000 km (3) |
| Ônibus e Caminhões | até 200.000 km (4) |
| Motos | 30.000 km |
| Aviões | 200 pousos e decolagens (5) |
| Agrícolas | 8.000 a 10.000 horas |

- (1) Considerando a 1ª vida do pneu, com utilização do pneu em condições normais e devidamente controlado.
- (2) Existe uma grande diversidade de pneus fora de estrada “*Off the Road – OTR*”, a vida útil depende do tamanho do pneu e severidade do serviço prestado.
- (3) Os pneus de automóveis podem ser reformados uma única vez.
- (4) Os pneus de carga (ônibus e caminhões) podem ser reformados de duas a três vezes.
- (5) Depende da frequência de uso dos aviões e número de escalas, entre outros.

Segundo Frederick J. Kovac (1973), os fatores que influenciam no desgaste da banda de rodagem são: o composto da banda de rodagem, o projeto do pneu, o tecido do reforço, rodovias, ruas e avenidas, motorista e severidade do serviço prestado, conforme a figura 14.

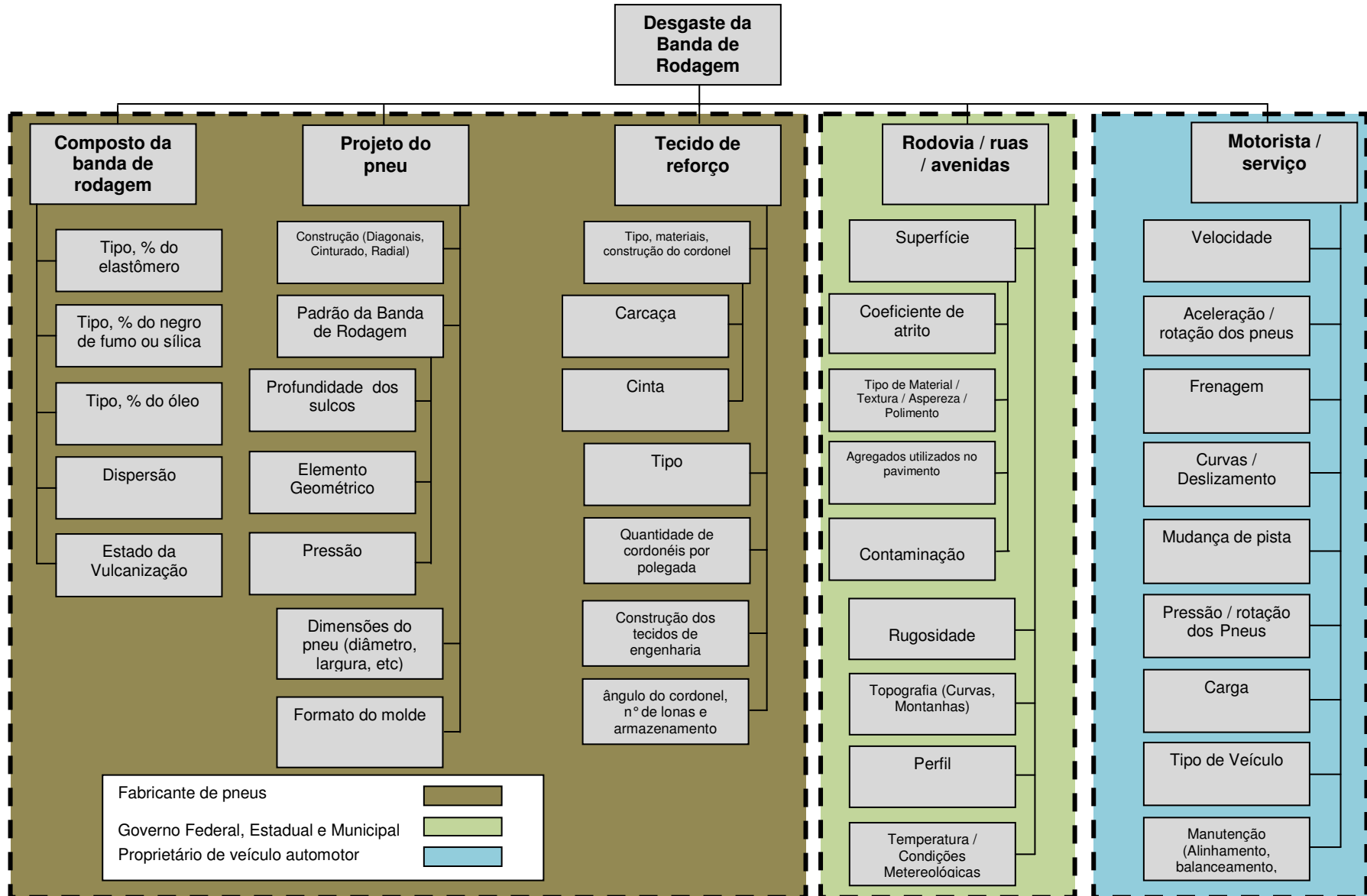


Figura 14 – Diagrama de blocos do desgaste da banda de rodagem dos pneus.

Referência: KOVAC, 1973 (adaptado pelo autor)

5 TECNOLOGIAS UTILIZADAS PARA A REUTILIZAÇÃO, RECICLAGEM E VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

As tecnologias mais utilizadas para a reutilização, reciclagem e a valorização energética de pneus usados, servíveis e inservíveis, são: recapagem, recauchutagem e remoldagem de pneus; coprocessamento em fornos de cimenteiras; retortagem ou coprocessamento de pneus com a rocha de xisto pirobetuminoso; pavimentação com asfalto-borracha; queima de pneus inservíveis em caldeiras; utilização na construção civil; regeneração de borracha; desvulcanização; obras de contenção de encostas (geotecnia); indústria moveleira; equipamentos agrícolas; mineração; tapetes para reposição da indústria; solados de sapato; cintas de sofás; borrachas de rodos; pisos esportivos; equipamentos de *playground*; tapetes automotivos; borracha de vedação; confecção de tatames; criadouros de peixes e camarões; amortecedores para cancelas em fazendas; leitos de drenagem em aterros entre outros.

No Brasil, em média 64 caminhões retiram 850 toneladas de pneus usados dos pontos de coleta. Diariamente cada carreta percorre em média de 250 a 300 km. Do total, 23 caminhões, com aproximadamente 300 toneladas levam os pneus inteiros diretamente para o coprocessamento em fornos de clínquer, 27 caminhões levam os pneus para as empresas de pré-tratamento. Após o processo de trituração, são carregadas 13 carretas, com aproximadamente 350 toneladas, que levam os pneus triturados para o coprocessamento em fornos de clínquer. Os outros 14 caminhões levam os pneus usados inteiros para as empresas de pré-tratamento, para o processo de granulação (Reciclanip, 2011).

5.1 REUTILIZAÇÃO

No Brasil, a reutilização de pneus inservíveis não é regulamentada pelo Ibama como uma atividade de destinação final.

Os pneus inservíveis são utilizados em obras de geotécnica para proteção de encostas, postes e garagens; identificação de borracharias; equipamentos de *playgrounds*; proteção de docas e embarcações, entre outras aplicações.

Não existe uma avaliação dos impactos ambientais negativos com a reutilização dos pneus inservíveis no Brasil.

A utilização dos pneus inservíveis na proteção de postes geralmente ocorre em postos de gasolina ou locais onde existe algum tipo restrição para entrada e saída de carros como nos estacionamento de lojas. Nesse caso, os pneus são cortados e montados no poste, um sobre o outro, ficando expostos ao tempo e sujeitos ao acúmulo d'água em seu interior durante a época de chuvas.

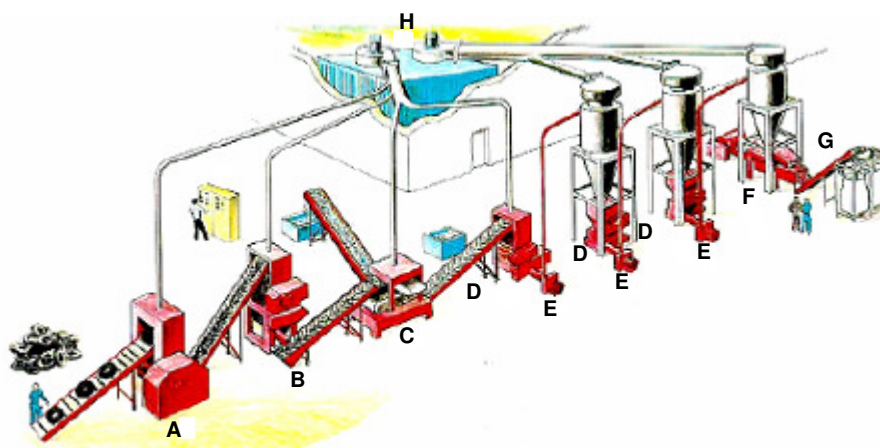
Em equipamentos de *playgrounds*, dependendo da forma como o pneu inservível é posicionado, esse também pode acumular a água da chuvas.

5.2 RECICLAGEM

5.2.1 Empresas de Pré-Tratamento

Processo de trituração a temperatura ambiente

No sistema de reciclagem a temperatura ambiente, os pneus inservíveis são, em primeiro lugar, triturados em pedaços de 50 mm no moinho de facas (A). Os pedaços de pneus entram no granulador (B). Nesta etapa ocorre uma redução do material triturado para 10 mm, enquanto é liberada a maior parte do aço, *nylon*, poliéster, *rayon* do granulado da borracha. Depois, o aço é removido em uma esteira magnética e as frações das fibras têxteis com uma combinação de parafusos e esteiras vibratórias (C). A demanda para granulado de borracha de 10 mm, e muitas aplicações é solicitada para granulados em torno de 10 a 20 mesh (2 a 0,841 mm). Por essa razão, muitas empresas de pré-tratamento possuem um número consecutivo de passos de trituração (D) (REISCHNER, 2009). A figura 15 apresenta o processo de temperatura ambiente.



Legenda:

A – Triturador primário;

B – Granulador;

C – Remoção de aço e fibras têxteis;

D – Etapas consecutivas de trituradores;

E – Sistema pneumático de transporte;

F – Esteira vibratória;

G – Separação magnética secundária;

H – Remoção de fibras e partículas.

Figura 15 - Processo de trituração e granulação de pneus a temperatura ambiente.

Referência: Reischner (2009)

Segunda Alvarenga (informação verbal)¹⁴ a trituração só é viável desde que processados no mínimo 1.000 toneladas por mês. Uma das dificuldades para o investimento no processo de trituração e granulação de pneus é o custo de aquisição dos equipamentos, cerca de € 15 milhões. No Brasil, somente o sistema de esteiras transportadoras e o triturador tem custo de R\$ 1 milhão. Outro ponto levantado, foi que o pó e as lascas de borracha do processo de recauchutagem depois de peneirados, apresentam custo inferior ao custo da trituração e granulação dos pneus inservíveis.

No centro de recepção e trituração da empresa Cimpor, localizada na cidade de Jundiaí - SP, são trituradas 50 toneladas de pneus inservíveis por dia, conforme a figura 16. Atualmente estes centros, não recebem de forma voluntária os pneus inservíveis somente os coletados pela Reciclanip.

¹⁴ Entrevista realizada com Marcelo Alvarenga, diretor da Mazola Logística e Reciclagem, Valinhos em 2011.



Figura 16 – Centro de recepção e picotagem de pneus em Jundiaí - SP.
Referência: Arnaldi (2003)

Os caminhões são pesados antes e após o descarregamento para controle do peso dos pneus inservíveis entregues na unidade, conforme a figura 17. Atualmente, para a movimentação dos pneus inservíveis no Brasil, não é necessária a emissão da nota fiscal, o que dificulta o controle do fluxo e rastreabilidade do processo de logística reversa em cada estado e município.



Figura 17 – Descarregamento dos pneus inservíveis.
Referência: Arnaldi (2003)

Na figura 18 vê-se o sistema de trituração, no qual os pneus inservíveis são colocados em uma esteira de correia transportadora de forma manual, caindo sobre o triturador, que tritura os pneus em chips de 2", conforme a figura 19.



Figura 18 – Trituração dos pneus em chips de 2".
Referência: Arnaldi (2003)



Figura 19 – Pilha de pneus triturados (a) em chips de 2" (b).
Referência: Arnaldi (2003)

Após o término do processo de trituração, os chips de 2" são movimentados para posterior carregamento em carretas, conforme a figura 20. A carreta tem capacidade de transportar 27 toneladas de pneus triturados e 10 toneladas de pneus inteiros. Deve ser coberta para evitar o acúmulo de água da chuva durante o transporte até a sua destinação final, conforme figura 21.



Figura 20 – Estocagem de pneus triturados em chips de 2".
Referência: Arnaldi (2003)



Figura 21 – Carregamento e transporte dos chips de 2" para o
coprocessamento na indústria de cimento.
Referência: Arnaldi (2003)

Os resíduos gerados pelo processo de remoção do talão dos pneus de ônibus e caminhões são utilizados como dutos para o transporte de água pluvial, conforme a figura 22.



Figura 22 – Dutos de talões removidos dos pneus de carga.

Na tabela 8 são apresentados os parâmetros de referência para a trituração de pneus inservíveis a temperatura ambiente.

Tabela 8 – Parâmetros de referência para a trituração dos pneus a temperatura ambiente.

| Material a ser triturado pelo processo de trituração ambiente | Pneus de automóveis e carga |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Capacidade de pneus de automóveis e carga | 2,8 t/h |
| Produtividade | 1 t/h com granulometria de 3,8 a 4,8 mm |
| | 0,7 t/h com granulometria de 1,8 a 3,8 mm |
| | 0,3 t/h com granulometria de 0 a 1,8 mm |
| Aço removido dos pneus | 0,75 t/h (27%) |
| Fibras têxteis extraídas | 0,05 t/h (2%) |
| Mão-de-obra necessária para a operação | 4 |
| Horas de trabalho por dia | 4 turnos de 6 horas |
| Quantidade triturado por ano | 16,13 mil toneladas por ano |

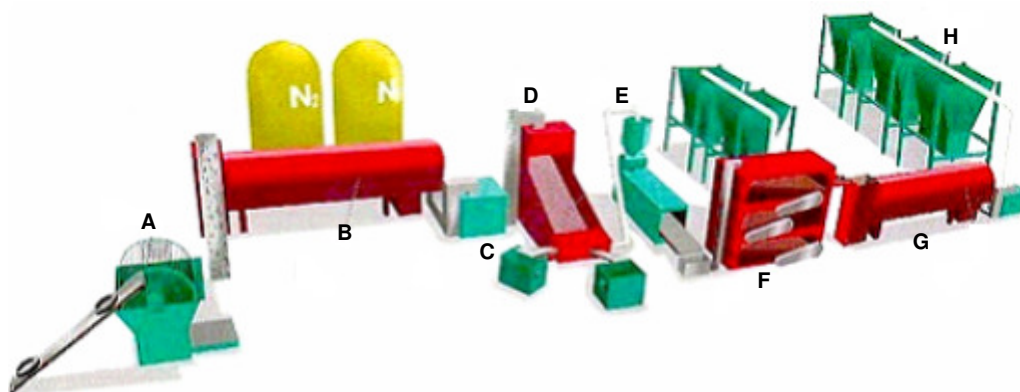
Referência: TPA do Brasil (2003)¹⁵

¹⁵ TPA DO BRASIL. **Sistema de tratamento de pneumáticos fora de uso.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <paesani@terra.com.br> recebida em: 10 nov. 2003.

Processo de trituração pelo processo criogênico

O processo é chamado criogênico porque os pneus inservíveis ou parte deles são resfriados a uma temperatura abaixo de -120°C . A seguir a borracha é cortada e reduzida ao tamanho especificado. O processo de criogenia apresenta vantagens na redução do consumo de energia para a realização do corte, redução da quantidade de máquinas para a trituração, liberação do aço e fibras têxteis, obtendo um material limpo. A desvantagem deste processo é o custo do nitrogênio líquido.

Neste processo, os pedaços de pneus triturados de 50 mm são resfriados em um túnel contínuo de refrigeração (B) com temperaturas abaixo de -120°C e logo após são enviados para um moinho de facas (C). No moinho de facas os pedaços são triturados em partículas e ocorre a liberação do aço e fibras têxteis. Após esse processo o material é seco (E), as partículas são classificadas e separadas (F) (REISCHNER, 2009). A figura 23 apresenta o processo criogênico.



Legenda:

A – Triturador primário;

B – Túnel de resfriamento;

C – Moinho de martelo;

D – Remoção de fibras e aço;

E – Secador;

F – Classificador;

G – Triturador secundário;

H – Silos de estocagem de produto.

Figura 23 – Processo criogênico para a trituração e granulação dos pneus.

Referência: Reischner (2009)

A tabela 9 apresenta um comparativo dos parâmetros de trituração a temperatura ambiente e criogênico. No Brasil, o sistema utilizado para a trituração e a granulação dos pneus inservíveis é o de temperatura ambiente.

Tabela 9 - Comparativo entre o processo de temperatura ambiente e o criogênico.

| Parâmetro | Processo Ambiente | Processo Criogênico |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Temperatura de operação / redução de tamanho | Temp. amb. Máxima 120°C (Trituração / Granulação) | Temp. abaixo - 80°C (Quebra da borracha em pedaços) |
| Morfologia da partícula / Distribuição do tamanho da partícula | Redução do tamanho (0,2 a 10 mm) | Tamanhos limitados |
| Custo de Manutenção | Alto | Baixo |
| Consumo de Eletricidade | Alto | Baixo |
| Consumo de N ₂ líquido | Não aplicável | 0,5 - 1 kg N ₂ /kg de pneu inservível |

Referência: Reischner (2009)

5.2.2 Recapagem, recauchutagem e remoldagem de pneus

O pneu é reconstruído a partir de outro usado, colocando-se uma nova banda de rodagem. Pode-se incluir a renovação da superfície externa lateral, abrangendo os seguintes métodos e processos: recapagem, recauchutagem e remoldagem. O processo de recapagem consiste na remoção da banda de rodagem, no reparo estrutural da carcaça com cordões de borracha e na utilização de cimento para colar a banda de rodagem na carcaça. Os ombros dos pneus não são removidos nesse processo.

O processo de recauchutagem consiste na remoção da banda de rodagem e dos ombros do pneu. Existem dois sistemas para recauchutagem dos pneus: o processo a frio, um método mais eficiente, e a recauchutagem a quente, que demanda menos espaço e oferece ganho de produtividade.

O processo a frio utiliza bandas pré-curadas que são coladas nas carcaças após os reparos das mesmas. São utilizados outros componentes para o reparo e união entre a carcaça e a banda de rodagem, são eles: o *coxim*, que é uma lâmina fina de borracha que vai entre a carcaça e a banda pré-curada; e o cordão de borracha utilizado para preencher furos e danos estruturais do pneu. Para a recauchutagem a quente é utilizada uma manta de borracha, na qual é necessária a utilização de moldes para a vulcanização e a formação do desenho na banda de rodagem. No processo a frio o desenho já está pré-vulcanizado nas bandas de rodagem a serem aplicadas nas carcaças dos pneus. Além disso, nesse processo os pneus são vulcanizados em autoclaves, não necessitando de moldes para a

formação do desenho no pneu (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS, 2005).

A tabela 10 apresenta o mercado de reforma de pneus no Brasil no período de 2001 a 2010.

Tabela 10 - Mercado de reforma de pneus no Brasil (unidades x 10³).

| Ano | Caminhão / Ônibus | Automóvel | Moto | Agrícola Off Road |
|------|----------------------|-----------|-------|----------------------|
| 2001 | 7.550 | 6.500 | | |
| 2002 | 8.000 | 7.500 | | |
| 2003 | 8.557 | 9.000 | | |
| 2004 | 8.700 | 9.900 | | |
| 2005 | 7.900 | 10.800 | 1.200 | |
| 2006 | 7.500 | 10.200 | 1.100 | 300 |
| 2007 | 7.650 | 8.000 | 2.000 | 300 |
| 2008 | 7.764 | 6.000 | 2.200 | 327 |
| 2009 | 7.841 | 6.300 | 2.200 | 353 |
| 2010 | 8.200 | 7.500 | | |

Referência: Dados... (2008); Associação Brasileira do Segmento de Reformas de Pneus (2007)

O processo de remoldagem de pneus consiste em remover a borracha das carcaças, de talão a talão. Em seguida, o pneu é totalmente reconstruído e vulcanizado, sem qualquer emenda, proporcionando balanceamento, apresentação e segurança.

No Brasil, ocorreu em 2009 um crescimento de 4% no mercado de reforma de pneus. Para 2011 foi considerado um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) de 5%. Espera-se um aumento do volume de reforma de pneus de 2%, após o crescimento de 5% em 2010 contra um PIB de 7,8%, gerando 8,2 milhões de pneus reformados no Brasil. Para 2012, existe uma previsão em torno de 3,5 a 4%, considerando o volume de vendas da indústria automotiva de 2010, porque os pneus novos equipados nos carros, ônibus e caminhões devem esgotar a sua primeira vida em 2011 e entrar no mercado de reforma de 2012.

Recapagem e Recauchutagem de Pneus

Poucos pneus de automóvel são reformados nos Estados Unidos devido a fatores econômicos (LAGARINHOS, 2004; LAGARINHOS; TENÓRIO, 2008).

No Japão, o índice de recapabilidade (IR) em 2009, que é definido como sendo a quantidade de pneus reformados de ônibus e caminhões sobre a quantidade de pneus novos, foi 1, enquanto no Brasil foi 1,5; na Europa, 1 e nos Estados Unidos, 1¹⁶.

Europa e Japão possuem baixos índices de recapabilidade pois grande parte dos pneus usados de ônibus e caminhão são exportados após o término da primeira vida do pneu.

Não existe um índice ideal de recapabilidade. É evidente que quanto maior for esse índice, maior a disponibilidade e a reforma dos pneus servíveis. Entretanto, deve ser considerado que é importante estender a vida útil e a quilometragem dos pneus na 1ª vida.

A recapabilidade de um pneu de moto é substancialmente diferente de um pneu de avião. O pneu de moto deve ser reformado uma única vez por motivos técnicos como a estrutura da carcaça, tipo de uso, temperatura, entre outros. No caso dos pneus de aviões, o índice de recapabilidade é 5. O pneu de avião é recapado a cada 200 pousos e decolagens, portanto aproximadamente 80% dos pneus em uso na aviação comercial são reformados. No caso dos pneus de automóveis, normalmente, é feita uma única reforma. Para pneus de carga, ônibus e caminhões o índice de recapabilidade varia de 1 a 2, sendo que em alguns casos pode chegar a 6.

A recapabilidade depende da qualidade da carcaça de cada fabricante, do motorista, das condições de uso, da qualidade da reforma, do clima e suas variações durante o uso, da adequada calibragem, geometria do veículo, manutenção dos freios, entre outras.

No Brasil, em 2010, o IR foi 1,4. A queda desse índice ocorreu por diversos fatores, entre eles:

- aumento da radialização dos pneus, que em 2010 ficou em torno de 90%;
- redução da quantidade de pneus convencionais e diagonais no mercado;

¹⁶ THOMAZ, C. **Informação sobre o Índice de Reciclagem e a Remoldagem de Pneus no Brasil.** Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneu (ABR). [mensagem pessoal]. Enviado por: <técnico@abr.com.br> recebida em: 03 fev. 2011.

- condições das estradas aumentam a quantidade de pneus inservíveis. Dos pneus considerados servíveis enviados para o processo de reforma, entre 17 e 20% são considerados inservíveis durante a análise técnica das carcaças pelos reformadores;
- os pneus servíveis podem ser reformados no máximo até 7 anos da data de fabricação;
- com a melhoria na engenharia de produto, foi prolongada a vida útil dos pneus na 1ª vida, diminuindo com isso o número de reformas;
- não é realizada a triagem e seleção dos pneus usados recolhidos nos pontos de coleta. Os pneus usados são todos considerados inservíveis, diminuindo a quantidade de pneus servíveis para o processo de reforma;
- existe uma campanha das associações que representam os fabricantes e reformadores dos pneus para conscientização dos motoristas a retirarem dos seus veículos os pneus quando atingido o TWI. O objetivo é aumentar a disponibilidade de pneus para a reforma e reduzir o número de acidentes, entre outros.

Na Europa, a recapabilidade restringiu-se a uma reforma por pneu. Além disso, a atividade de reforma é considerada “verde” e as empresas recebem incentivos para a montagem de empresas com essa finalidade.

Nos Estados Unidos, o presidente Bill Clinton aprovou o Decreto nº 12.873, em outubro de 1993, que determina o uso da reforma em todos os pneus de veículos públicos. A única exceção são os veículos do presidente por motivos de segurança (TIRE INDUSTRY ASSOCIATION, 2009).

No Brasil, não existe nenhum incentivo para a reforma de pneus. Há alguns entraves para a indústria desde 2004, quando foi proibida a reforma de pneus de motos sendo liberada após a comprovação por testes de eficiência e durabilidade realizados em laboratórios no exterior. Entretanto, foi novamente proibida e encontra-se em discussão jurídica e técnica com o Conselho Nacional de Trânsito (Contran) desde 2004.

Existe uma série de vantagens da recapagem e recauchutagem de pneus, entre elas: empregam 25% do material utilizado na fabricação de um pneu novo; o pneu é o segundo custo do transporte rodoviário; o pneu depois de reformado

apresenta rendimento semelhante ao pneu novo, com custo 70% menor; os pneus de carga são reformados em média duas vezes, gerando três vidas para cada carcaça; economizam 57 litros de petróleo por pneu reformado, ou seja, isso representa uma economia de 798 milhões de litros de óleo diesel/ano no Brasil; postergam a destinação final da carcaça, reduzindo os impactos negativos ao ambiente (LAGARINHOS; TENORIO, 2008).

Remoldagem de Pneus

Na Europa, 20% dos veículos de passeio e utilitários, 50% da frota de caminhões e 98% dos aviões das linhas aéreas internacionais utilizam pneus remoldados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS, 2005). No Brasil, em 2006, foram produzidos 2,4 milhões de pneus remoldados (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS, 2005).

Até 2009, as carcaças de pneus usados vindas da Europa, Estados Unidos e Japão entravam no Brasil através de liminares. Com a proibição da importação de pneus usados pelo STF, a tendência para os próximos anos é a redução da produção de pneus remoldados no país.

Atualmente, o processo de remoldagem tem de utilizar os pneus servíveis gerados no Brasil, concorrendo com a recauchutagem e recapagem.

Em 2010, foram remoldados 200.000 pneus de carga, 2% do volume total reformado. No caso dos pneus de automóveis, a participação foi de 70% do volume total reformado, ou seja, 5.250.000 pneus. Considerando somente os pneus de carga e automóveis, o processo de remoldagem participou com 43,7% do volume total em 2010.

Os pneus fora de estrada são reformados pelos processos de recapagem e recauchutagem a quente, devido as suas dimensões.

O pneu remoldado custa em média 30% a 50% menos que um pneu novo (MORÃES; RIOS, 2006), o que acaba atraindo a atenção do consumidor no momento da compra.

Segundo a ABIP, das 10,5 milhões de carcaças usadas importadas em 2005, 4 milhões foram remoldadas, 3 milhões foram recauchutadas, 2 milhões estão

estocadas e 1,5 milhões foram vendidos como pneus meia-vida (MORÃES; RIOS, 2006).

Segundo Carlos Thomaz¹⁷ (2011), a porcentagem de reforma de pneus de automóveis pelo processo de remoldagem em 2007 foi de 8 milhões de unidades de automóveis (100%); em 2008, 4,2 milhões (70%); e em 2009, 4,41 milhões (70%).

Existe uma série de vantagens para a remoldagem de pneus, entre elas: a relação de resistência ao movimento é 3% maior quando comparado com os pneus novos; usam 2,3 vezes menos energia, 1,8 vezes menos ar comprimido, 25 vezes menos água em comparação aos pneus novos; reduzem as emissões, a poluição da água e resíduos produzidos são baixos quando comparados com os pneus novos; o potencial de aquecimento global é de 1,8 vezes menor que o de um pneu novo; economizam 20 litros de petróleo em comparação ao que é necessário para produzir um pneu tradicional, ou 40 litros no caso de um pneu de caminhonete (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS, 2005).

5.2.3 Laminação de pneus

O processo de laminação consiste em diversas operações de cortes efetuadas em pneus inservíveis, para extrair lâminas e trechos de contornos definidos. As empresas que trabalham com o processo de laminação de pneus possuem uma estrutura de coleta de pneus convencionais ou diagonais. Esses pneus não possuem, em sua construção, as malhas de aço, o que facilita a sua reciclagem. Alguns laminadores também estão utilizando pneus radiais inservíveis para a laminação. Os talões dos pneus radiais e diagonais e as bandas de rodagem com lonas de aço dos pneus radiais não são aproveitados no processo de laminação, devido à dificuldade da realização do corte e devem ser descartados. Os talões e bandas de rodagem devem ser reciclados em um dos processos anteriormente descritos. Os pneus laminados são utilizados em diversas aplicações,

¹⁷ THOMAZ, C. **Informações sobre o processo de reforma de pneus.** Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus (ABR). [mensagem pessoal]. Enviado por: <técnico@abr.com.br> recebida em: 06 jan. 2010. 1p.

tais como: indústria de estofados, indústria de calçados, fábricas de rodos, tubos para águas pluviais, tubos para combate a erosões e passagem de níveis, solados, saltos e palmilhas de pneus, percintas para sofás, solados de calçados, tiras para móveis, sofás e poltronas, cestos, e inúmeras outras aplicações (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2004).

O processo de laminação de pneus é uma atividade de baixo custo e que não causa impactos ao meio ambiente, desde que os resíduos gerados pelo processo sejam corretamente descartados e devidamente acondicionados em cada etapa.

A tendência para esse tipo de pneu é a diminuição gradativa da produção em todo o mundo, com o incremento da fabricação dos pneus radiais.

Até o terceiro trimestre de 2010, foram laminadas 41,4 mil toneladas, o equivalente a 8,28 milhões de pneus de automóveis conforme Faccio (informação verbal) ¹⁸

5.2.4 Pavimentação asfáltica

Muitos países têm desenvolvido legislação para direcionar seus departamentos de estradas de rodagem a investigar a possibilidade de utilização de materiais recicláveis em obras de pavimentação (ESTAKHRI; JOE; FERNANDO, 1992).

Nas misturas asfálticas existem dois processos: o processo úmido e o processo seco (ESTAKHRI; JOE; FERNANDO, 1992). No processo úmido são adicionadas borrachas com granulometria 0,6 mm no Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), produzindo um novo tipo de ligante denominado “asfalto-borracha”. No processo seco, partículas de borracha substituem parte dos agregados pétreos. Após a adição do ligante forma-se um produto denominado “concreto asfáltico modificado pela adição da borracha”.

As misturas de asfalto-borracha têm sido bastante empregadas nos Estados Unidos, principalmente nos estados do Arizona, Califórnia, Flórida e Texas, em

¹⁸ Entrevista realizada com César Faccio, gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip. São Paulo, em 2011.

trabalhos de recuperação estrutural de pavimentos degradados, em camadas de revestimentos de pavimentos novos e também em serviços de manutenção corretiva (EDEL, 2002).

Nos Estados Unidos alguns estados obrigam a utilização de pó de borracha de pneus para a fabricação e aplicação do asfalto-borracha, devido à melhoria das condições do pavimento. O Departamento de Transportes da Flórida, após a conclusão de vários estudos realizados sobre a utilização do pó de borracha de pneus inservíveis, iniciou a elaboração de especificações para a utilização desse material em todas as misturas empregadas em revestimentos asfálticos. No período de 1994 a 1999, mais de 2,7 milhões de toneladas de misturas asfálticas modificadas com borracha foram utilizadas na execução de pavimentos (SMITH et al., 2000). Na Flórida, o teor de pó de borracha utilizada foi de 5% a 20%. No Estado do Arizona, mais de 90% das pavimentações foram realizadas com o asfalto-borracha (CHOUBANE, et al., 1999).

No Brasil, a utilização do asfalto-borracha ainda é incipiente. Não existe nenhum incentivo por parte do governo para a utilização desse material. A primeira aplicação no país foi feita em agosto de 2001. As concessionárias das rodovias privatizadas estão fazendo alguns testes com a aplicação do asfalto-borracha que tem inúmeras vantagens, entre elas: aumentar a vida útil do pavimento em 30%, quando comparado com o asfalto convencional; retardar o aparecimento de trincas e selar as já existentes; reduzir a espessura da camada aplicada em até 50%, quando comparada a projetos que usam o asfalto convencional; apresentar potencial para utilização de um número significativo de pneus usados; reduzir o ruído e a manutenção do pavimento; aumentar o atrito entre o pneu e o asfalto; aumentar a drenabilidade superficial, melhorando a visibilidade e reduzindo o risco de aquaplanagem em dias de chuva; possui maior viscosidade e resistência à oxidação, quando comparado ao asfalto convencional, entre outras.

O asfalto-borracha já está sendo utilizado em alguns Estados da Região Sul e Sudeste desde 2001. Os maiores fornecedores no Brasil de asfalto-borracha são a Petrobras Distribuidora e o Grupo Greca Asfaltos. O asfalto-borracha representa 5% do consumo total e cerca de 10% das vendas (EDEL, 2010).

O asfalto-borracha custa em torno de 30% mais caro que o convencional, mas devido às suas qualidades superiores, a durabilidade do pavimento pode chegar a ser o dobro se considerarmos a mesma espessura da camada de massa asfáltica.

Pode-se, alternativamente, fazer uma camada mais delgada do pavimento para obter a mesma durabilidade e, assim, o pavimento sairá cerca de 7% mais barato.

A Greca Asfaltos, até o final de 2006, utilizou mais de 2 milhões de pneus para a fabricação e pavimentação com o asfalto-borracha (CERATTI et al., 2006).

O asfalto-borracha é regulamentado pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) como Asfalto Modificado por Pó de Borracha (AMB). Atualmente o pó de pneus é uma *commodity* na qual há várias empresas que coletam os pneus inservíveis, trituram e comercializam os subprodutos: aço, fibras têxteis e pó de borracha. A empresa compra o pó de borracha e mistura até 15% em peso da borracha no CAP. O pó de borracha não substitui o ligante asfáltico, nem os materiais pétreos.

A empresa Greca Asfaltos, asfaltou 4.000 km de pavimentos com o asfalto-borracha e foram utilizados aproximadamente 4 milhões de pneus inservíveis¹⁹. Existe uma série de vantagens na utilização do asfalto-borracha, entre elas: redução dos recursos naturais não renováveis como os materiais pétreos e queima de combustíveis, durabilidade do pavimento e redução do nível de manutenções corretivas dos pavimentos. Atualmente, as obras de pavimentação estão usando o CAP. O processo utilizado é o via úmida, que propicia a melhor condição do ligante asfáltico, aumentando a duração do pavimento. O processo via seca é apenas uma forma de destinação dos pneus inservíveis, não ocorre melhoria na durabilidade dos pavimentos.

Foram criadas duas normas pelo Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT) para a padronização dos serviços e materiais. A norma DNIT nº 112/2009 é uma especificação de serviços para pavimentos flexíveis, que utilizam o concreto asfáltico com borracha, através do processo via úmida. A norma DNIT nº 111/2009 é uma especificação de materiais a serem utilizados na pavimentação flexível, no cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo via úmida.

Após a publicação dessas especificações, a tecnologia de pavimentação com o asfalto-borracha será difundida no Brasil. Os estados do Paraná, São Paulo e Rio

¹⁹ OMENA, W. **Utilização dos pneus inservíveis no asfalto borracha no Brasil.** Greca Asfaltos. [mensagem pessoal]. Enviado por: <Wander@grecaasfaltos.com.br> recebida em: 26 jan. 2011. 2p.

de Janeiro estão utilizando o asfalto-borracha há alguns anos, principalmente nas concessionárias de rodovias.

Segundo Guilherme Edel²⁰, da Petrobras Distribuidora, o consumo está estagnado desde 2003. Em função das dificuldades adicionais para fabricação, estocagem, transporte e aplicação, a tecnologia nunca será utilizada em larga escala, a menos que se torne obrigatório por lei. A Petrobras Distribuidora asfaltou 900 km com o asfalto-borracha até 2011.

Uma das maiores dificuldades na obtenção de um asfalto-borracha com qualidade constante é a diversidade da origem da borracha: pneus de caminhões, de tratores, de empilhadeiras, de máquinas fora de estrada e de automóveis são diferentes em sua composição, e não existe um controle da origem do pneu que foi utilizado para a fabricação do pó de borracha. Não há norma que estabeleça o tipo de pneu a ser usado. As normas em vigor estipulam apenas os parâmetros a serem obtidos no asfalto-borracha acabado. Cada fabricante de asfalto-borracha tem seus segredos industriais e determina a melhor borracha de pneu a ser utilizada.

No Rio de Janeiro, durante a realização do Workshop Fluxo de Resíduos e Logística Reversa em 2010, uma das medidas a ser estabelecida dentro da nova norma estadual é a utilização do pó de borracha dos pneus inservíveis na produção do asfalto para pavimentação de ruas e avenidas (INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE, 2010).

Em 2009, foram utilizadas apenas 5 mil toneladas, o equivalente a 1 milhão de pneus de automóveis nesse processo (FACCIO, 2010).

5.2.5 Desvulcanização

O processo de desvulcanização envolve duas etapas distintas, a redução de tamanho e a quebra de ligações químicas, que pode ser feita através de quatro processos com custos e tecnologias bem diferenciados. Existem aproximadamente

²⁰ EDEL, G. **Informações sobre o asfalto-borracha no Brasil.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <edel@br-petrobras.com.br> recebida em: 19 jan. 2011.

25 tecnologias de desvulcanização que estão desenvolvidas ou em fase de desenvolvimento no mundo. Entretanto, um pequeno número de tecnologias de desvulcanização está em operação no momento (CAL RECOVERY, 2004).

Serão mostrados a seguir os processos de desvulcanização que já estão sendo utilizados comercialmente e os processos que foram desenvolvidos ou estão em fase de desenvolvimento (REISCHNER, 2009; ADHIKARI; DE; MAITI, 2000; REIS; FERRÃO, 2000; FUKOMORI; MATSUSHITA, 2003; LE BRAS, 1969; PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2006).

Processos de desvulcanização comerciais

No Brasil, o processo de desvulcanização utilizado comercialmente é o de desvulcanização química ou processo de regeneração da borracha. Existem várias empresas no país que utilizam os pneus inservíveis como matéria-prima para a regeneração de borracha.

A regeneração é um processo de desvulcanização no qual os pneus, depois de triturados, são submetidos a temperatura e pressão, e recebem oxigênio e vapor de produtos químicos, como álcalis e óleos minerais, dentro de uma autoclave rotativa. Os pneus usados são cortados em lascas ou raspas que passam por um processo de moagem mecânica, no qual são transformados em pó de borracha e tratados por um sistema de separação com peneiras e cilindros magnéticos. Em seguida, em autoclaves rotativas que utilizam o vapor saturado, o material recebe oxigênio e é submetido a uma temperatura de 180°C e a uma pressão de 15 bar, provocando o rompimento das pontes de [enxofre-enxofre] e [carbono-enxofre] entre as cadeias poliméricas. Assim, a borracha é transformada em material passível de novas formulações. A massa de borracha resultante desse processo sofre uma trituração mecânica, aumentando a viscosidade para depois ser prensada.

No final do processo, o material ganha a forma de fardos de borracha. Essa borracha pode ser utilizada na formulação de novos artefatos com demanda e aplicações limitadas, porque possui propriedades mecânicas inferiores em comparação à borracha original. O material regenerado tem várias aplicações, tais como: cobrir áreas de lazer e quadras esportivas, tapetes para automóveis, passadeiras, saltos e solados de sapatos, colas e adesivos, câmaras de ar utilizadas

em pneus convencionais ou diagonais, rodos metálicos, tiras para indústrias de estofados, entre outras (MORANDI, 1992).

Em 2009, foram utilizadas 17,5 mil toneladas, o equivalente a 3,5 milhões de pneus de automóveis nesse processo (FACCIO, 2010).

Processos de desvulcanização que estão em fase de desenvolvimento

Serão apresentados a seguir os processos de desvulcanização por ultrassom, por bactérias e por microondas.

No processo de desvulcanização por ultrassom, a borracha dos pneus é triturada e suas partículas são carregadas em uma caçamba, alimentando uma extrusora, que comprime e estica a borracha alternativamente. A ação mecânica aquece e amolece a borracha. O sistema de ultrassom é instalado no centro ou no ponto de descarga da extrusora, ou seja, a borracha nessas regiões está submetida à energia ultrassônica.

Na saída da extrusora, existe um tanque com água para o resfriamento da borracha. A combinação de calor, pressão e ação mecânica são suficientes para desvulcanizar a borracha.

O conceito de utilização de bactérias para a desvulcanização de resíduos de borracha tem sido investigado nos últimos 30 anos. No processo de desvulcanização biológico ou por bactérias, as partículas de borracha são expostas em uma solução aquosa com bactérias que consomem o enxofre e compostos de enxofre como, por exemplo, o *thibacillus, rodococcus* e o *sulfolobus*. Com a utilização desse processo, podem ser incorporadas à fabricação de pneus novos 15% de borracha reciclada sem alterar a qualidade dos pneus produzidos (REIS; FERRÃO, 2000; PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY, 2006).

O processo de desvulcanização por microondas aplica energia térmica rápida e uniformemente sobre a borracha. Entretanto, a borracha vulcanizada para ser utilizada no processo de desvulcanização por microondas deve ter uma estrutura polar que permita a absorção da energia a uma taxa adequada. Porém, a borracha da grande maioria dos pneus não possui essa estrutura polar, limitando a sua aplicação (ADHIKARI; DE; MAITI, 2000).

A seguir serão apresentados os impactos ambientais do processo químico, além dos custos e a capacidade de produção.

As principais informações disponíveis sobre impactos ambientais do processo de desvulcanização são limitadas aos processos químicos e por ultrassom. Em ambos os casos, há emissões de poluentes atmosféricos e efluentes líquidos. O trabalho da Calrecovery Inc., lista aproximadamente 50 compostos orgânicos emitidos durante o processo, dentre eles: benzeno, tolueno, heptano e outros. Existe a possibilidade de liberação de H₂S e SO₂, gerados como resultado de oxidação do H₂S. Assim sendo, o processo necessita filtros para controle de emissões e lavadores de gases para retirada do SO₂. Quanto aos efluentes líquidos provenientes do lavador, esses deverão ser tratados adequadamente antes de seu lançamento no corpo receptor (CAL RECOVERY, 2004).

A tabela 11 apresenta os custos e as capacidades de produção de borracha desvulcanizada dos processos químicos e por ultrassom.

Tabela 11 – Custos e capacidades de produção de borracha desvulcanizada pelo processo químico e por ultrassom.

| Item | Processo químico | Processo ultrassom |
|----------------------------------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Capacidade (kg/h) | 34 | 34 |
| Custo (Capital) (US\$ x 10 ³) | 166 | 163 |
| Custo de Operação e Manutenção (US\$ x 10 ³) | 172 | 136 |

Referência: Cal Recovery (2004)

5.3 VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

5.3.1 Coprocessamento em fornos de clínquer

Cenário Internacional

Devido à quantidade de energia requerida em uma fábrica de cimento, as indústrias cimenteiras buscam continuamente alternativas mais econômicas para a utilização dos combustíveis.

Nos países membros da Comunidade Européia, Estados Unidos e Japão o coprocessamento é uma atividade regulamentada desde a década de 70.

Nos Estados Unidos, existem 43 fábricas de cimento licenciadas para a utilização dos pneus inservíveis triturados ou inteiros em 22 estados (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION, 2005).

Na Alemanha, o coprocessamento de resíduos como combustível alternativo levou a uma substituição térmica de 52% em 2007, o que corresponde à substituição de mais de 1,8 milhão de toneladas de carvão.

Na Comunidade Européia, a taxa de substituição de combustível por resíduos é de 18%, sendo 5% em substituição a matéria-prima (EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION, 2010). Na Áustria, Bélgica, França e Alemanha a taxa é maior que 50%. No Brasil, o índice de substituição de combustível por resíduos é em torno de 15% (SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO, 2011).

Na América Latina, a atividade de coprocessamento de resíduos está em expansão, sendo que o Brasil é um dos países que se destaca na atividade.

O coprocessamento de resíduos industriais no Brasil teve início na década de 90, no Estado de São Paulo, estendendo-se posteriormente para o Rio de Janeiro, Paraná, Rio Grande do Sul e Minas Gerais.

Em 2008, foram coprocessados 1 milhão de toneladas de resíduos, sendo que 39,4% eram resíduos com poder calorífico; 16,6%, pneus inservíveis e 44% substitutos de matéria-prima (KIHARA, 2009a).

No ano seguinte, foram geradas cerca de 2,7 milhões de toneladas de resíduos nas indústrias siderúrgicas, petroquímica, automobilística, de alumínio, tintas, embalagens, papel e pneumáticos.

A capacidade potencial para o coprocessamento de resíduos pode chegar a 2,5 milhões de toneladas por ano (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND, 2009; KIHARA, 2009b; KIHARA, 2009c).

Em 2009, foram coprocessadas 950.000 toneladas, sendo: 29% utilizadas como matéria-prima; 52%, como combustível e 19%, pneus inservíveis, que são utilizados como combustível e matéria-prima alternativa (MONTENEGRO, 2010).

O coprocessamento dos pneus nos fornos de clínquer é uma atividade que proporciona o aproveitamento térmico dos pneus inservíveis, reduzindo a queima de combustíveis fósseis não renováveis, além disso, incorpora ao clínquer o aço contido na banda de rodagem e os talões dos pneus radiais. Os resíduos utilizados no coprocessamento podem ser utilizados como combustíveis alternativos ou como matéria-prima para a fabricação do cimento.

Existe uma série de vantagens na substituição dos combustíveis tradicionais não renováveis utilizados nos fornos, tais como óleo, gás natural e carvão, por pneus usados, a saber (LAGARINHOS, 2004): geração em menores quantidades de SO₂ e NO_x que os combustíveis tradicionais; aumento da capacidade do clínquer de incorporar, de maneira segura, o aço contido nos pneus; redução do custo de produção do cimento; ambiente de produção do cimento (meio alcalino e presença de sulfatos, além do tempo de residência elevado) dificulta a formação de dioxinas e furanos; e alto poder calorífico do pneu.

Segundo a *United States Environmental Protection Agency - EPA* (1993), o pneu possui a mesma quantidade de energia do óleo utilizado nos fornos de cimento e 25% a mais em relação ao carvão; reduz os impactos ambientais negativos da extração e transporte; elimina completamente todos os resíduos devido à combustão total do pneu; substitui de 10 a 30% dos combustíveis não renováveis; permite estabilidade térmica durante a queima e a absorção de todos os pneus usados gerados no país.

Os pneus inservíveis usados no coprocessamento em fornos de clínquer devido ao seu alto poder calorífico são substitutos do óleo combustível e do carvão, a ponto de alguns não os caracterizarem como resíduo e sim como combustíveis (MARQUES, 1999).

Atualmente, o custo para o coprocessamento de pneus é de cerca de US\$ 30 por tonelada.

Coprocessamento de pneus na indústria de cimento

Em 2009, a indústria de cimento no Brasil foi a oitava produtora mundial do produto, fabricando 52,3 milhões de toneladas (EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION, 2010).

Segundo Yoshiro Kihara²¹, existem 37 plantas licenciadas para o coprocessamento, sendo 78% delas para o coprocessamento de pneus inservíveis. Em sua maioria elas coprocessam pneus triturados.

²¹ KIHARA, Y. **Reciclagem de pneus no Brasil**: co-processamento na Indústria de cimento. [mensagem pessoal]. Enviado por: <yushiro.kihara@abcp.org.br> recebida em: 21 jan. 2011. 1p.

Alimentação dos pneus inservíveis triturados e inteiros nos fornos de clínquer

O pneu triturado é retirado do silo de armazenagem por uma rosca transportadora que conduz o material até um elevador de canecas. Esse o descarrega em outras duas roscas transportadoras que alimentam a caixa de fumaça.

A caixa de fumaça é usada para a alimentação de resíduos sólidos considerados como combustíveis alternativos. A alimentação direta do resíduo na caixa de fumaça é feita manualmente através de um duto. Logo abaixo do ponto de alimentação existem duas comportas do tipo contrapeso, que impedem a entrada de ar durante a alimentação do resíduo, bem como a saída de gases do mesmo, em caso de parada.

Os pneus inteiros podem alimentar a caixa de fumaça diretamente pela utilização de um sistema transportador de correias. No interior dos pneus são adicionados outros resíduos durante o processo de alimentação.

Os pneus triturados têm combustão mais fácil, alimentação regular e transporte simples e permitem um maior nível de substituição do combustível fóssil. Entretanto, exigem um custo de investimento com trituradores e maior consumo de energia para serem triturados, conforme a tabela 12. A ABCP não possui a lista individualizada das plantas que coprocessam os pneus triturados ou inteiros.

Tabela 12 – Comparação entre os sistemas de coprocessamento dos pneus inservíveis inteiros e triturados.

| | Pneu inservível inteiro | Pneu inservível triturado |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| Custo de preparação dos pneus | Baixo | Alto |
| Custo de transporte até a cimenteira | Alto | Baixo |
| Custos de estocagem | Alto | Baixo |
| Equipamentos de separação de pneus | Sim | Não |
| Equipamentos de pesagem | Sim | Não |
| Custos dos equipamentos de transporte até o forno | Alto | Baixo |
| Vazamento de ar | Baixo | Alto |
| Alimentação do forno (entrada) | Sim | Sim |
| Alimentação do forno (saída) | Não | Sim |
| Alimentação do calcinador | Não | Sim |
| Riscos de bloqueio no transporte | Baixo | Alto |
| Combustão | Instável | Estável |
| Nível de substituição do combustível fóssil | Baixo | Alto |

Referência: Adaptado pelo autor com dados de Rosenhøj (1993)

Segundo Yoshiro Kihara (2009a; 2009b; 2009c), da ABCP, os desafios e o futuro para o coprocessamento de pneus inservíveis no Brasil são: revisão e inclusão do coprocessamento nas regulamentações estaduais e federais; substituição de combustíveis convencionais por alternativos; redução do impacto ambiental da indústria de cimento; balanço ecológico sustentável; maior rigor nos limites de emissão e maior exigência de controle; utilização de resíduos urbanos como fonte de energia; e uso intensivo de resíduos não perigosos como substitutos de matéria-prima e combustíveis.

Segundo Jefferson Caponero (2000), as vantagens do coprocessamento de pneus são: redução na emissão de poluentes, não geração de resíduos e não há necessidade de controle extra para as emissões (CAPONERO; LEVENDIS, TENÓRIO, 2000).

Coprocessamento de pneus na Cimento Votorantim

A empresa Votorantim Cimentos possui 17 plantas completas de fabricação de cimento e nove de moagem. A unidade de Rio Branco – PR, possui tecnologia para o coprocessamento de pneus inservíveis inteiros e triturados. Os pneus inteiros alimentam a caixa de fumaça desde 2002 e os pneus triturados alimentam o pré-calcinador desde 2001.

Em 2005, a Votorantim comprou um equipamento para a trituração de pneus, com capacidade de 2.000 toneladas por mês. O objetivo é triturar os pneus inservíveis na própria unidade para a utilização no maçarico principal (AFONSO, 2009a; 2009b).

A empresa possui três fornos de clínquer com esteiras transportadoras para o coprocessamento de pneus inservíveis inteiros e um forno de clínquer para o coprocessamento de pneus triturados, com capacidade diária de 160 a 180 toneladas (SOUZA, 2008).

Em 2009, a Votorantim Cimentos coprocessou 40% do total de resíduos no Brasil e 80% dos pneus inservíveis (MONTENEGRO, 2010). No mesmo ano, foram coprocessadas 1.500 toneladas de pneus inservíveis inteiros por mês e 2.000 toneladas/mês de pneus triturados, ou seja, 52,03% e 57,14% da capacidade de coprocessamento, respectivamente (MONTENEGRO, 2009).

Controle de emissão na indústria de cimento

O coprocessamento de resíduos em fornos de clínquer na indústria de cimento provoca, a emissão de substâncias e compostos químicos perigosos, como dioxinas e furanos. Classificados como Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), devem ser controlados, razão pela qual os países definem limites de emissões e estabelecem regras para o monitoramento desses poluentes.

Resultados do coprocessamento na indústria de cimento

No Brasil, a partir de 2001 foram coprocessados 860,2 mil toneladas, o equivalente a 171,3 milhões de pneus de automóveis. Em 2009, foram coprocessados 181,7 mil toneladas de pneus inservíveis, o equivalente a 36 milhões de pneus de automóveis (MARTINS, 2009).

Em 2010, a capacidade potencial de coprocessamento da indústria cimenteira foi de 600 mil toneladas de pneus inservíveis por ano, o equivalente a 120 milhões de pneus de automóveis. Naquele ano, foram coprocessadas 185 mil toneladas, o equivalente a 37 milhões de pneus inservíveis de automóveis, ou seja, 30,83% da capacidade total disponível. A figura 24 apresenta o coprocessamento de pneus no Brasil no período de 2001 a 2009.

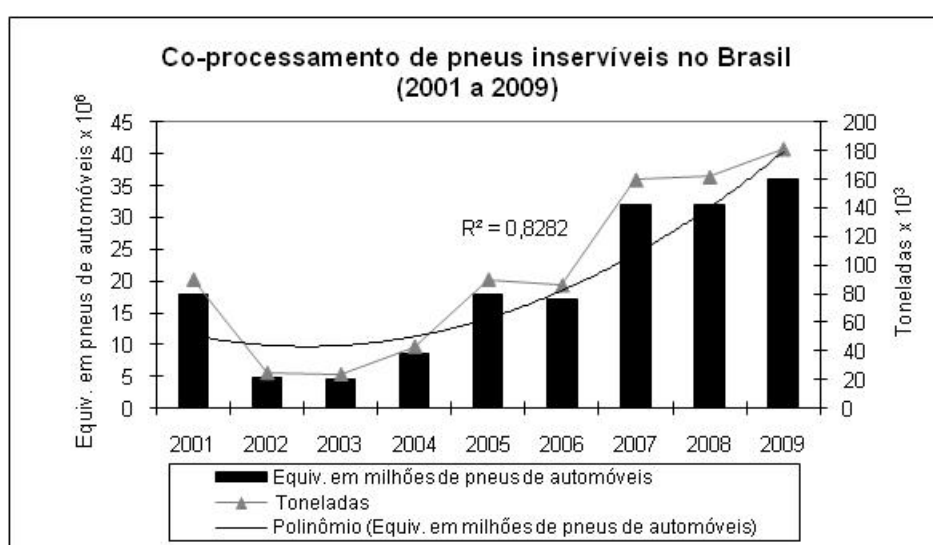


Figura 24 - Coprocessamento de pneus inservíveis no Brasil no período de 2001 a 2009. Referência: Elaborado pelo autor com dados de Kihara (2009a; 2009b; 2009c); Sindicato Nacional da Indústria de Cimento (2011)

Uma das dificuldades encontradas no Brasil para a realização da logística reversa dos pneus inservíveis para a indústria de cimento são as distâncias a serem percorridas dos pontos de geração até os pontos de destinação. A figura 25 apresenta a coleta e destinação para a indústria de cimento, considerando apenas os pontos de coleta localizados nas capitais.

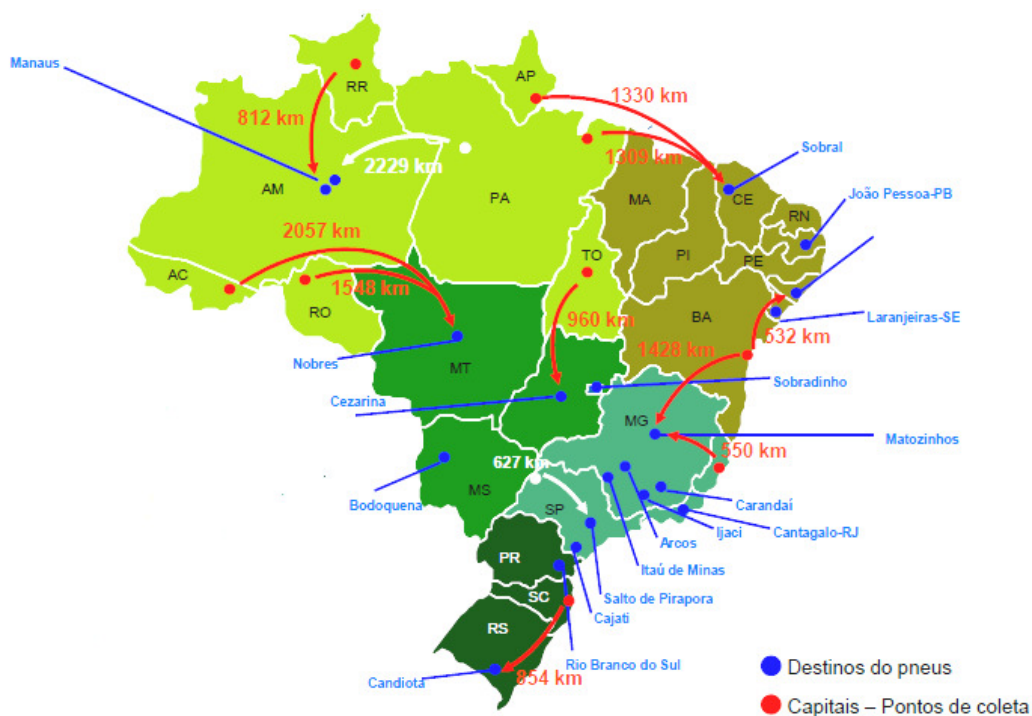


Figura 25 - Logística reversa dos pneus inservíveis, dos pontos de coleta localizados nas capitais para a indústria de cimento.

Referência: Faccio (2010)

No Brasil, 22 cimenteiras coprocessam pneus triturados e inteiros para a Reciclanip, sendo: 40% Votorantim, 37% Grupo Lafarge / Cimpor e 23% Camargo Corrêa. A tabela 13 apresenta a capacidade de coprocessamento por região em 2011.

Tabela 13 – Capacidade de coprocessamento de pneus inservíveis por região.

| Região | Capacidade de Coprocessamento t/ano | % | Equiv. em pneus de automóveis x 10 ⁶ |
|--------------|-------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|
| Sul | 52.800 | 23,22 | 10,56 |
| Sudeste | 100.800 | 44,33 | 20,16 |
| Centro-Oeste | 43.200 | 19,00 | 8,64 |
| Nordeste | 23.400 | 10,29 | 4,68 |
| Norte | 7.200 | 3,17 | 1,44 |
| Total | 227.400 | | |

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Faccio (informação verbal)²²

5.3.2 Coprocessamento de pneus com a rocha de xisto pirobetuminoso

No passado, muitos laboratórios e plantas piloto fizeram várias tentativas para formar unidades econômicas de pirólise de pneus, contudo, o processo não era viável economicamente (DE MARCO RODRIGUEZ, et al., 2001).

De acordo com Roy et al. (2005), a rota promissora para a reciclagem de pneus é através do processo de pirólise. Há mais de 20 anos, vários processos de pirólise foram desenvolvidos por universidades e indústrias, exemplos de processos industriais: Kobe Steel, Japão; Onahama Smelting and Refining Co, na cidade de Iwaki, Japão; Metso Minerals, em Tampere; Finlândia, Titan Technologies Inc, em Albuquerque, Estados Unidos; LiGmbH, em Miltzow, Alemanha; e Université Laval, cidade de Saguenay, Canada. A planta de Onahama tem produção diária de 4 t/h, sendo a maior planta de pirólise do mundo. Pouca informação está disponível sobre os processos e os produtos obtidos.

A definição de pirólise é a decomposição térmica de materiais orgânicos na ausência de ar, com a utilização de nitrogênio, argônio ou no processo a vácuo, por exemplo.

O processo de pirólise a vácuo é um sistema desenvolvido há mais de 15 anos, em laboratórios e plantas piloto com capacidade de 30 kg/h, e plantas com capacidade até de 3 t/h. As temperaturas utilizadas para a decomposição dos pneus triturados é de 450°C. Os pneus são construídos com NR, SBR e IIR e durante o

²² Faccio, op. cit.

processo de decomposição, a borracha natural apresenta temperaturas de 350 °C e o copolímero de estireno-butadieno e polibutadieno chega a 450 °C.

O negro de fumo pode ser utilizado como carga na fabricação de correias transportadoras e na pavimentação asfáltica. O óleo é utilizado no processo de pirólise e o excedente pode ser utilizado para queima em caldeiras, geração de eletricidade, motores a diesel, ou enviado para as refinarias.

A pirólise tem uma série de vantagens quando comparada a outros processos de reciclagem de pneus: não são emitidas substâncias tóxicas e os produtos e subprodutos da decomposição térmica dos pneus têm utilização comercial. Além disso, ocorre redução do nível de emissão de poluentes gasosos, geração de produtos mais volatizados, produção de combustíveis de queima mais limpa e há alto potencial mercadológico para os produtos (CAPONERO; LEVENDIS; TENÓRIO, 2000; CAPONERO, 2002).

No Brasil, em 1998, a Petrobras começou a fazer alguns testes para o coprocessamento dos pneus junto com a rocha de xisto pirobetuminoso.

O Brasil tem um dos maiores volumes de xisto do mundo: reservas de 1,9 bilhão de barris de óleo, 25 milhões de toneladas de gás liquefeito, 68 bilhões de m³ de gás combustível e 48 milhões de toneladas de enxofre só na formação Irati, localizada nos Estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso do Sul e Goiás. A Petrobras concentrou suas operações na cidade de São Mateus do Sul - PR, onde o minério é encontrado em duas camadas: uma com 6,5 metros de espessura e teor de óleo de 6,4% e outra com 3,2 metros e teor médio de óleo de 9,1%.

O xisto folheado pirobetuminoso é uma rocha sedimentar que contém querogênio, um complexo orgânico que se decompõe termicamente e produz óleo e gás.

O processo Petrosix (NOVICK; MARTIGNONI; PAES, 2000; MARTIGNONI; NOVICKI, 2007) foi desenvolvido pela Petrobras para a retortagem do xisto, por meio da pirólise a 480 °C. O coprocessamento de xisto e pneus triturados foi incorporado ao processo de retortagem do xisto, com a instalação de esteira transportadora, sistema de balança para a pesagem e silo de alimentação para mistura dos pneus triturados com a rocha.

Após ser minerado a céu aberto, o xisto passa pelos britadores primários e secundários, os quais reduzem a granulometria do material bruto na faixa de

11 a 80 mm. Após esse processo, o material é transportado até a retorta, com a utilização de um sistema de esteiras.

Os pneus já triturados, em pedaços de 10 a 12 cm, são transportados perpendicularmente à esteira que transporta a rocha de xisto até o silo de alimentação de pneus, no qual são adicionados 50 kg de pneus triturados para cada 950 kg de rocha de xisto. O material já misturado é transportado até a parte superior da retorta e é descarregado pelo topo. Durante o processo de carregamento é feita a selagem do topo da retorta, com a utilização de gases inertes, nitrogênio e gás carbônico, bem como a selagem do fundo durante o processo de descarregamento, com a utilização da água oriunda do próprio processo. Após a descarga do material misturado pelo topo da retorta, ocorre a secagem e a retortagem, pela passagem do gás no fluxo inverso ao da carga. Esse aquecimento provoca a vaporização da matéria orgânica contida no xisto e nos pneus, gerando gás e óleo.

A energia necessária para a pirólise é fornecida pela corrente endógena de gás do processo aquecido externamente, até cerca de 480 °C, quando é reinjetado na zona de retortagem. A corrente endógena é a corrente de gás gerada dentro da retorta (*endo* – interna, *gena* – geração) e que retorna para o aquecimento da mesma retorta. É uma forma de aproveitamento da energia²³.

Nas zonas anteriores e posteriores à zona de retortagem, de aquecimento e resfriamento, respectivamente, a massa gasosa ascendente troca calor com o material retortado e se resfria, resultando na condensação dos vapores de óleo sob a forma de neblina, que será transportada para fora da retorta pela corrente circulante de gases. Parte dessa neblina arrasta as gotículas de óleo, que passam por equipamentos de separação tipo ciclones e filtro precipitador eletrostático.

O gás proveniente do ciclone é enviado ao filtro precipitador eletrostático, no qual ocorre a separação das gotículas e das partículas do óleo, obtendo-se óleo do ciclone e do separador.

O gás limpo é isento de neblina de óleo e partículas sólidas, as gotículas de óleo pesado são condensadas, passam por um compressor e se dividem em três correntes: uma retorna para o fundo da retorta, outra volta à retorta após ser

²³ SOUZA, G. C. **Coprocessamento de pneus na Petrobras SIX**. [mensagem pessoal]. Enviado por: <gerson.cesar@petrobras.com.br> recebida em 12 jan. 2011.

aquecida em um forno, e a terceira, denominada gás, vai para um condensador no qual o óleo leve e a água utilizada no processo são recuperados. Após a retirada do óleo leve e da água de retortagem, o gás é encaminhado à unidade de tratamento de gases no qual são produzidos os gases combustíveis, o liquefeito e é processado o enxofre.

Parte da água gerada é reaproveitada no processo e o restante tratado na unidade de separação e esgotamento de águas ácidas, onde o gás residual do tratamento é incinerado e a água retorna para o processo. A água de retortagem é reutilizada para resfriamento do xisto que sai da retorta, sofrendo um processo de evaporação nesse local. O excedente é tratado como qualquer outro efluente industrial.

Ao final do processo com a retirada do óleo e gás do xisto pirotetuminoso e pneus, o xisto é considerado retortado. As figuras 26 e 27 apresentam o processo de retortagem da rocha de xisto com os pneus triturados.

A produção diária de xisto e pneus triturados é de 7,8 mil toneladas, obtendo: 3.800 barris de óleo; 120 toneladas de gás combustível; 45 toneladas de gás liquefeito e 75 toneladas de enxofre. O xisto apresenta em média 8,5% em peso de óleo para cada tonelada processada (PETROBRAS SIX, 2005).

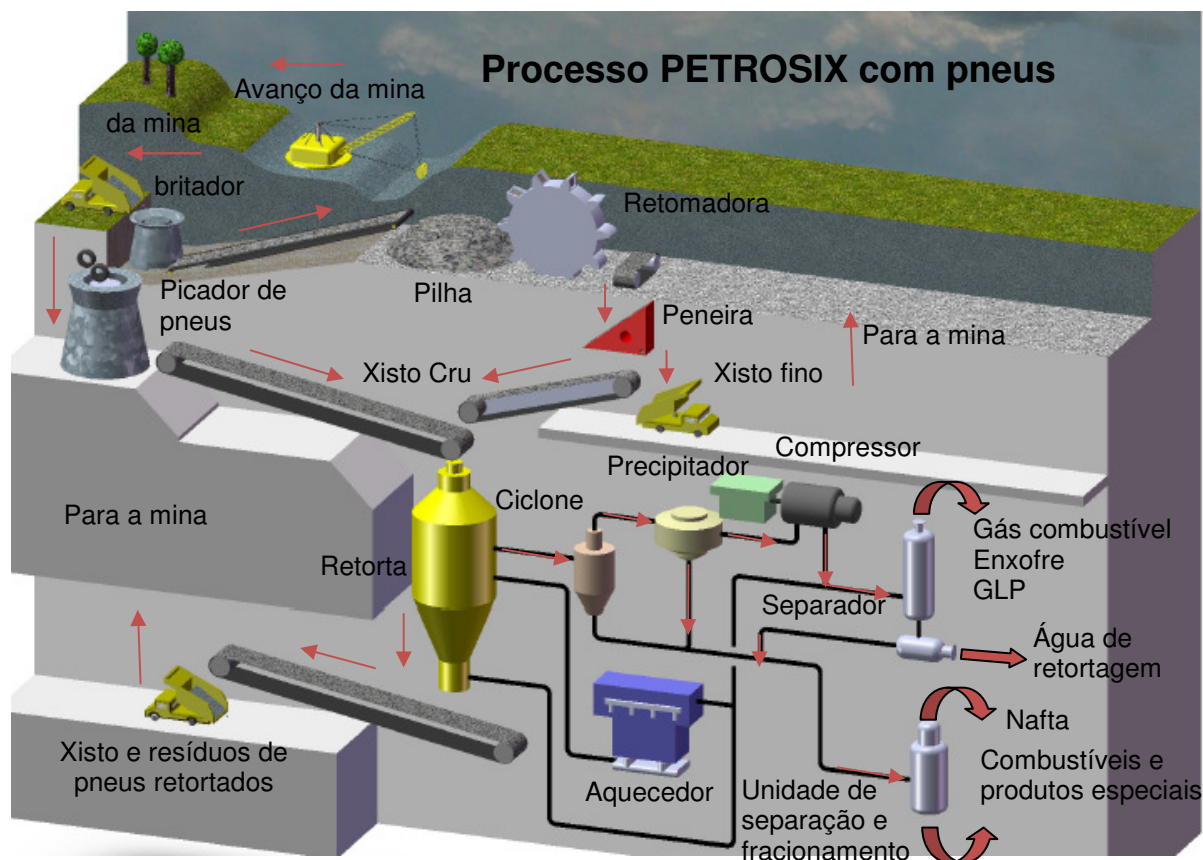


Figura 26 - Diagrama de blocos do processo de coprocessamento de pneus com a rocha de xisto Pirobetuminoso.

Referência: Adaptado pelo autor com dados de Petrobras Six (2005)



Figura 27 – Pneus inservíveis triturados, aguardando o coprocessamento na Petrobras SIX .

Referência: Petrobras Six (2005)

Os pneus inservíveis utilizados no processo produzem para cada 1 tonelada coprocessada: 530 kg de óleo, 40 kg de gás, 300 kg de negro de fumo, 100 kg de aço (PETROBRAS SIX, 2005).

Os produtos resultantes do processo de coprocessamento são: óleo combustível, nafta, Gás Liquefeito de Xisto (GLX) e enxofre.

O óleo combustível e o gás, tanto o industrial como o GLX, são vendidos para indústrias e hospitais do Paraná, Mato Grosso do Sul, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo. Em São Paulo, o hospital da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp) utiliza o óleo para a geração de vapor. Na área alimentícia, as empresas Sadia, Perdigão, Renata, Dori utilizam o óleo no processo de aquecimento das caldeiras.

A nafta é enviada para a Refinaria da Petrobras de Araucária - PR, onde é produzida a gasolina.

O enxofre é utilizado na agricultura para a fabricação de fertilizantes e inseticidas, na indústria farmacêutica, de borracha e alimentícia. Na indústria alimentícia, o enxofre é utilizado, por exemplo, no processo de branqueamento do açúcar (PETROBRAS, 2010).

Os subprodutos resultantes do processo de coprocessamento são: a torta oleosa, as cinzas e os finos de xisto e a água de retortagem.

O xisto retornado pode ser utilizado como matéria-prima na produção de argila expandida, que é empregada em concretos estruturais e isolantes termoacústicos. Pode ser utilizada na produção de vidros, cerâmicas vermelhas e cimento.

O calxisto, uma rocha carbonatada geologicamente denominada marga dolomítica, é um dos rejeitos da mineração do xisto e é empregado na agricultura para corrigir a acidez do solo.

As cinzas do xisto são utilizadas como matéria-prima para a fabricação do cimento. A torta oleosa é aproveitada como combustível sólido alternativo, em substituição a recursos naturais não renováveis tais como o carvão mineral. Os finos de xisto podem ser utilizados como combustível alternativo ou na fabricação de cerâmica. A água de retortagem, para a produção de adubo e defensivos agrícolas. A água do xisto é utilizada na fabricação de fertilizantes líquidos aprovados pelo Ministério da Agricultura (PETROBRAS, 1994; PETROBRAS SIX, 2003).

O aço é reciclado pelas empresas siderúrgicas e o negro de fumo contaminado pelo processo de retortagem, volta para as minas de xisto. O negro de fumo é um insumo termoelétrico com poder calorífico de 7.812 kcal/kg . Como não existe termoelétrica no Paraná, esse material é colocado novamente na mina. A empresa possui licença ambiental que permite o uso desses resíduos junto ao xisto retornado na recomposição de áreas mineradas, pois sua quantidade não é significativa, representando apenas 0,01% do material movimentado e utilizado na recomposição.

O processo gera 42% de resíduos que necessitam de tratamento para a sua disposição, além de análise de classificação de resíduos, podendo ser classificados como resíduos perigosos pelo fato de terem perdido suas características originais (GROSSI, 2004; VELOSO, 2010).

Coleta e pré-tratamento dos pneus inservíveis para o processo Petrosix

Em 2001, quando do início do processo de coprocessamento, os pneus inservíveis eram enviados para o Paraná pelos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Atualmente, somente os pneus inservíveis coletados no Paraná, podem ser coprocessados no local, devido à legislação ambiental, que proíbe a entrada de pneus inservíveis inteiros de outros Estados da Federação ou de outros países.

O processo de coleta, armazenamento, pré-tratamento e coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso é apresentado na figura 28. A empresa de pré-tratamento é a responsável pelo recebimento dos pneus de automóveis, de ônibus e caminhões de empresas e prefeituras, e paga pelos pneus recebidos de empresas que fazem a coleta em borracharias, terrenos baldios, rios, entre outros.

A Petrobras SIX recebe os pneus triturados de uma empresa de pré-tratamento que fica localizada a 1 km da área de retortagem. A empresa tritura os pneus em chips de 10 a 12 cm e os transporta para a Petrobras SIX.

O valor pago para a destinação depende do volume de pneus entregues, e varia de US\$ 2,95 a US\$ 11,8 por tonelada. Quanto maior o volume de pneus triturados entregue menor é o custo para o coprocessamento. Foi a forma que empresa encontrou para estimular a coleta e a destinação de pneus no Estado do Paraná. Após o término do processo, a empresa de pré-tratamento solicita a emissão do certificado de destinação final para os seus clientes, por exemplo, montadoras, empresas de reforma de pneus e importadores. O certificado é emitido e as empresas pagam pelo serviço realizado.

Segundo Gerson César Souza, gerente de comercialização da Petrobras SIX, a tendência para a reciclagem de pneus no Brasil é a destinação dos pneus inservíveis inteiros para o processo de coprocessamento em fornos de clínquer. O processo de coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso apresenta um custo maior, devido à adequação granulométrica pelo processo de trituração. Um ponto que impactou a reciclagem de pneus no Paraná foi a aprovação da legislação ambiental que impede o recebimento dos pneus inservíveis inteiros de outros Estados.

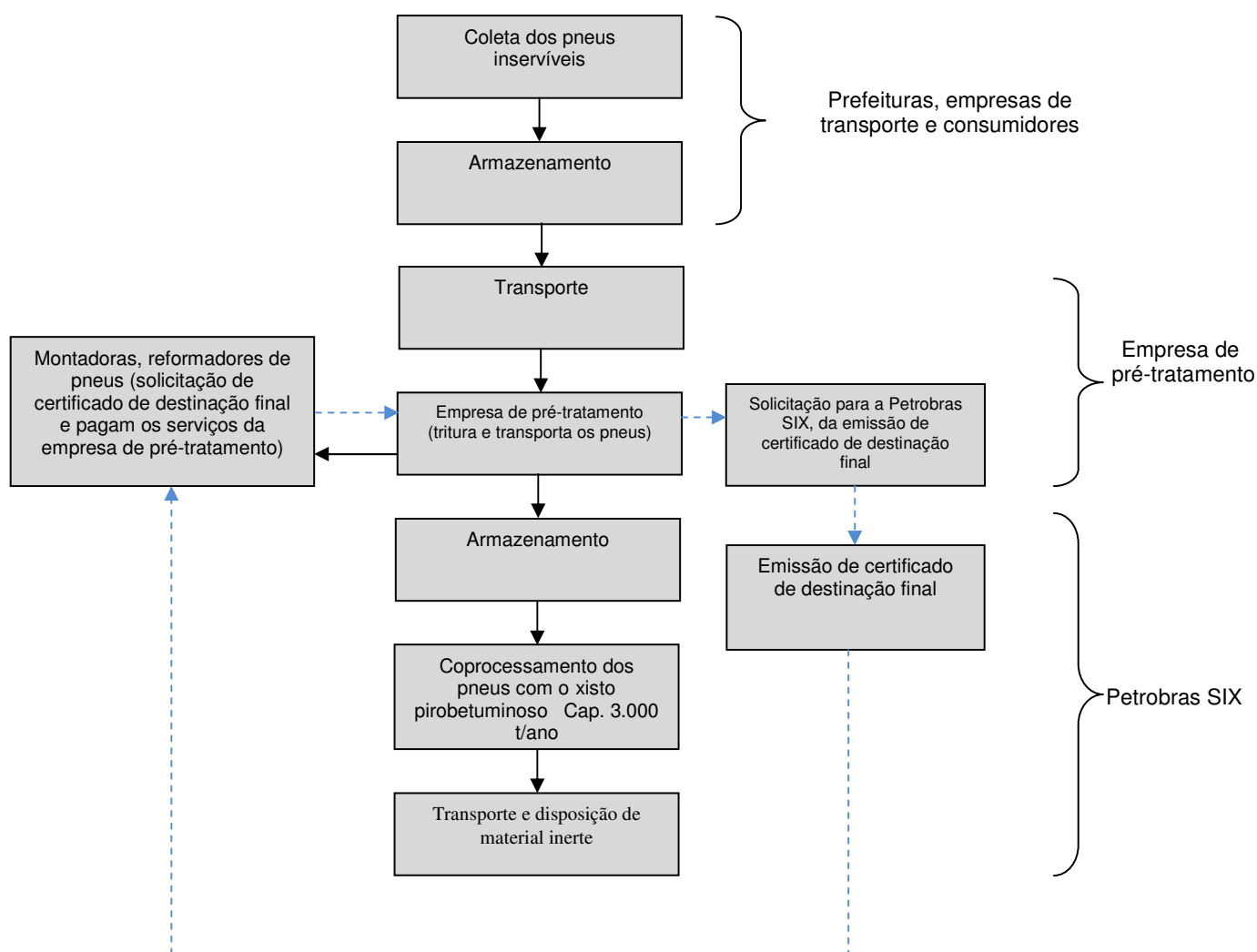


Figura 28 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa da Petrosix e emissão do certificado de destinação final.

Apesar do coprocessamento ser considerado um processo de destinação final que reaproveita parte dos materiais constituintes dos pneus inservíveis, a disponibilidade de pneus vem diminuindo. Isso não ocorre porque existem menos pneus inservíveis no mercado, mas sim porque é mais vantajoso para as empresas que fazem a coleta encaminhar os pneus para a valorização energética em fornos de clínquer.

Segundo César Faccio (informação verbal)²⁴, o Estado de São Paulo gerou 119.963,98 toneladas, em 2009, o equivalente a 24 milhões de pneus inservíveis de automóveis. A capacidade para a reciclagem disponível no estado é de 90.000 toneladas, o que significa que as 29.963,98 toneladas restantes foram enviadas para os Estados de Minas Gerais e Paraná. Pela legislação aprovada em 2008, não

²⁴

Faccio, op. cit.

podem ser enviados pneus inservíveis inteiros para o Paraná, somente triturados. A Reciclanip, dentro da cadeia de decisões para a destinação dos resíduos, tende a enviar para o coprocessamento em fornos de clínquer os pneus inteiros, devido à eliminação do processo de pré-tratamento.

Segundo Carlos Bittencourt, da empresa Bittencourt (informação verbal)²⁵, que tritura os pneus coletados para a Petrobras SIX, os pneus são entregues voluntariamente por empresas de transporte da região, coletados pela própria empresa na cidade de São Mateus do Sul - PR e comprados de caminhões que os recolhe nas cidades vizinhas, retiram os pneus de rios, estradas, terrenos baldios e os levam até a empresa. Nesse caso, a empresa paga de US\$ 23,5 a US\$ 35,3 por tonelada para pneus de caminhão e de US\$ 35,3 a R\$ 41,2 por tonelada para pneus de automóveis. A capacidade para a trituração da empresa é de 250 toneladas por mês, considerando apenas um turno de trabalho. Em 2010, a empresa triturou, em média, 150 toneladas por mês, o que corresponde ao transporte diário de 1 caminhão carregado para a Petrobras.

Nessa empresa, a Secretaria de Saúde, faz uma inspeção quinzenal, coletando água dos pneus inservíveis triturados para avaliação da formação de larvas. Os pneus que chegam à empresa no momento do descarregamento apresentam água em seu interior, o que facilita a movimentação de larvas ou mosquitos transmissores de doenças, de uma região para outra no Estado do Paraná.

A tendência verificada por Bittencourt foi que após a proibição à importação de pneus usados, legislação ambiental restringindo a entrada de pneus inservíveis no Estado do Paraná, e a mudança na periodicidade de reportagem da contrapartida ambiental para a comprovação da importação de pneus novos e carros, ocorreu uma redução no volume de pneus triturados e, como consequência, a redução da utilização dos pneus no processo de coprocessamento com a rocha de xisto pirobotumionoso.

Segundo Carlos Bittencourt, a Petrobras SIX está sinalizando que será desativada a retorta utilizada para o coprocessamento de pneus triturados com a rocha de xisto pirobotuminoso e que não está prevista a utilização de pneus inservíveis para o coprocessamento com a nova retorta.

²⁵ Entrevista realizada com Carlos da Bittencourt, da empresa Bittencourt. São Mateus do Sul, Paraná, em 2011.

Caso ocorra a suspensão desse processo, a empresa de pré-tratamento pretende firmar convênio com a entidade que representa os fabricantes para a destinação dos pneus inservíveis triturados ou inteiros para o coprocessamento em fornos de clínquer na região.

Resultados do Coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso

Em 2003, a capacidade era de 5 milhões de pneus inservíveis por ano, com potencial para chegar a 27 milhões de pneus por ano, com investimento em sistemas de esteiras transportadoras e equipamentos de controle de alimentação de pneus. Atualmente, a capacidade é de 3.000 toneladas, o equivalente a 600.000 pneus de automóveis por ano.

No período de 2004 a 2010, foram coprocessados 3,085 milhões de pneus inservíveis com a rocha de xisto pirobetuminoso. Em 2004, foi utilizada uma quantidade maior de pneus para determinar a capacidade máxima de utilização dos pneus no processo de retortagem. Foi verificado que com a máxima capacidade ocorria modificação na qualidade do processo e no produto. A capacidade de processamento abaixo dos 50%, ou seja, 3.000 toneladas por ano, foi alterada a partir de 2005 com o objetivo de garantir a qualidade do processo e do produto, e pela falta de disponibilidade de pneus e a proibição da importação de pneus usados.

Em 2010, 1.078 toneladas de pneus inservíveis foram coprocessados, o equivalente a 215,6 mil pneus de automóveis, ou seja, 36% da capacidade.

Desde 2001, foram coprocessados 3,08 milhões de pneus inservíveis com rocha de xisto pirobetuminoso. A figura 29 apresenta a quantidade de pneus triturados em toneladas e o equivalente em pneus de automóveis utilizados no processo de coprocessamento no período de 2004 a 2010.

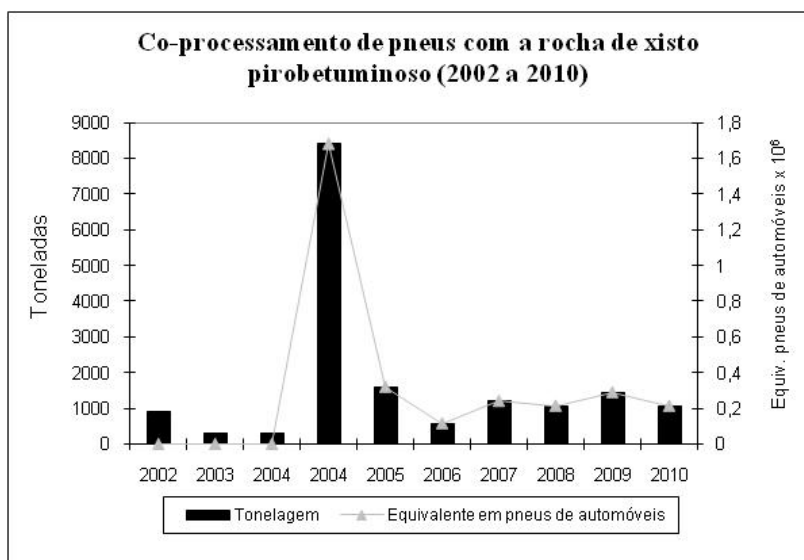


Figura 29 – Evolução do coprocessamento de pneus triturados com a rocha de xisto pirobetuminoso no período de 2004 a 2010.
Referência: Elaborado pelo autor com dados de Souza (2011); Martins (2009)

5.3.3 Valorização energética de pneus em caldeira de leito fluidizado

A empresa Klabin, fabricante de papel e celulose localizada no Estado do Paraná, instalou uma caldeira de leito fluidizado para a queima de biomassa e resíduos de pneus. A tecnologia utilizada é a do leito fluidizado circulante. A caldeira tem capacidade de geração de 250 toneladas de vapor por hora, utilizando uma mistura de pinus e eucalipto, com capacidade de queima de chips de pneus de até 30%, com temperatura do leito entre 750 °C e 900 °C e da saída dos gases da fornalha de 580 °C a 860 °C.

Segundo César Faccio (2010)²⁶, os pneus inservíveis devem ser triturados para a queima na caldeira de leito fluidizado junto com a biomassa. A taxa de alimentação é de 20% de pneus triturados e 80% de biomassa. A previsão para o início da operação é em 2012. A empresa não tem previsão de demanda para a utilização dos pneus inservíveis em seu processo.

²⁶

Faccio, op. cit.

6 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL

6.1 LEGISLAÇÃO NA EUROPA

A Diretiva da Comunidade Européia 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, proíbe a disposição de pneus inteiros ou triturados em aterros, além de obrigar os Estados Membros a coletar e destinar os pneus inservíveis (LAGARINHOS; TENORIO, 2009).

A Diretiva 2005/64/CE do Parlamento e Conselho Europeu, de 26 de outubro de 2005, relativa à homologação de veículos a motor, diz respeito a sua potencial reutilização, reciclagem e valorização (LAGARINHOS; TENORIO, 2009).

A Diretiva 2000/53/CE, de 18 de setembro de 2000, relativa aos veículos no final da vida útil, dispõe sobre a prevenção dos resíduos dos carros após o término da vida útil e as formas de utilização, recuperação e reciclagem dos veículos e seus componentes. Define objetivo para a recuperação e destinação, que deve ser de 95% até 2015 (LAGARINHOS; TENORIO, 2009).

A nova Diretiva 2008/98/CE (UNIÓN EUROPEA, 2010), de 19 de novembro de 2008, tem como objetivo analisar os pneus no final da vida útil e outros resíduos, de acordo com certos critérios para que sejam potencialmente reconhecidos como matéria-prima secundária ou uma fonte de energia alternativa.

Além das Diretivas para a reutilização, reciclagem e valorização energética dos componentes utilizados no final da vida útil dos veículos, foi criada a Norma ISO 22.628 de 15 de fevereiro de 2002 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2002), que trata do método de cálculo da relação de recuperabilidade e reciclabilidade de veículos que dependem do projeto e das propriedades dos materiais dos veículos novos. Os pneus usados entram na classe de pré-tratamento e é suposto que podem ser reciclados, reutilizados ou ambos.

A partir das Diretivas aprovadas pela Comunidade Européia, foram desenvolvidos três sistemas para coleta, pré-tratamento e destinação para os pneus usados. Cada Estado membro da Comunidade Européia pode escolher o sistema de gestão que pode utilizar e mudar de um para o outro.

Existem três sistemas implementados (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2010; PYANOWSKI, 2002), sendo:

a) Sistema de responsabilidade do fabricante

O Estado define e regulamenta a forma e os responsáveis pela gestão dos pneus usados e obriga os fabricantes de pneus novos a coletar e dar a destinação. Em 2010, este sistema foi considerado o mais eficiente quanto à coleta e à destinação. Quando da aquisição de um pneu novo, o consumidor paga uma taxa que financia a logística reversa para a reciclagem de pneus. Os países que utilizam o sistema de responsabilidade dos fabricantes são: Portugal, Espanha, França, Bélgica, Holanda, Noruega, Suécia, Finlândia, Estônia, Polônia, Hungria, Romênia e Grécia. A Itália mudou o sistema de mercado livre para responsabilidade do fabricante em 2010.

O diagrama de blocos do sistema de responsabilidade do fabricante é apresentado na figura 30. Os consumidores pagam uma taxa para o distribuidor de acordo com a categoria do pneu. O distribuidor repassa a taxa para o fabricante, que financia todo o sistema de coleta, seleção, pré-tratamento e destinação dos pneus.

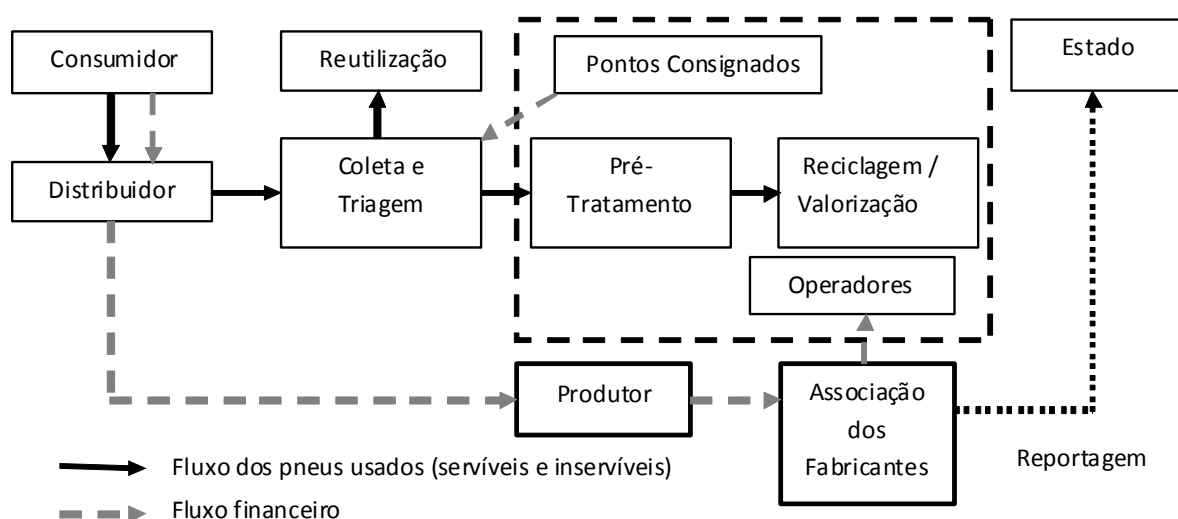


Figura 30 – Diagrama de blocos do sistema de responsabilidade dos fabricantes.
Referência: European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2010); Pyanowski (2002)

b) Sistema de taxas

O Estado determina um imposto que será utilizado para financiar o processo de coleta, pré-tratamento e destinação final dos pneus usados. Este imposto é cobrado dos fabricantes e importadores de pneus, que é repassado para o consumidor final. O Estado fica responsável pelo gerenciamento dos pneus usados e pelo pagamento dos custos dos diversos agentes da cadeia de reciclagem. Os países que utilizam o sistema de taxas são: Eslovênia, Croácia, República Eslovaca e Malta.

O diagrama de blocos do sistema de taxas é apresentado na figura 31. Os produtores pagam as taxas ao governo. O governo recolhe as taxas dos fabricantes e importadores e é o responsável por todo o gerenciamento e pagamento em todas as fases do processo de reciclagem.

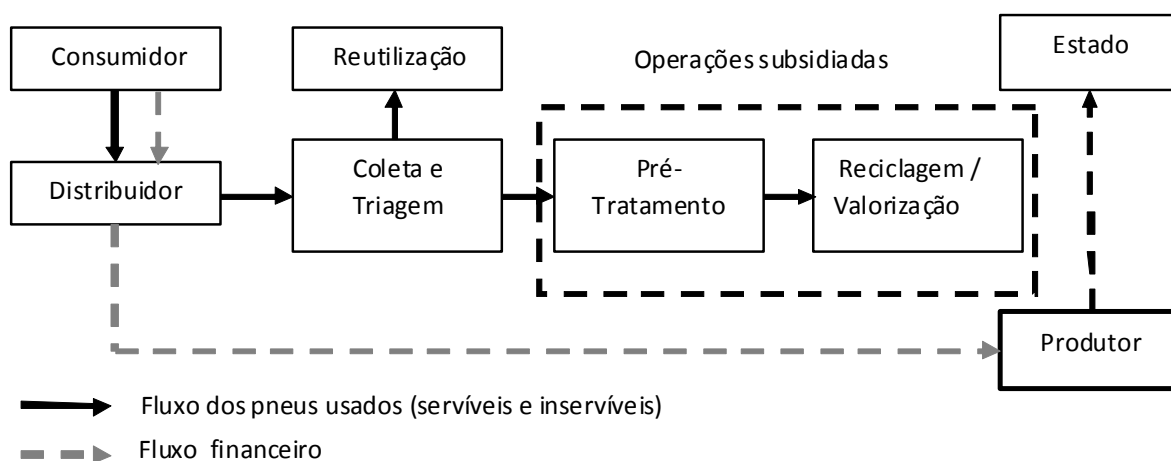


Figura 31 – Diagrama de blocos do sistema de taxas.

Referência: European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2010); Pyanowski (2002)

c) Sistema de mercado livre

O Estado estabelece os objetivos de coleta e destinação final dos pneus usados, mas não define nenhum responsável pelo gerenciamento da cadeia de reciclagem. Os responsáveis por encaminhar os pneus usados são os detentores finais dos mesmos. Existe uma competição entre as empresas de coleta, pré-tratamento e destinação final, que contribuem para a melhoria da tecnologia utilizada

reduzindo os custos. Os países que utilizam o sistema de mercado livre são: Irlanda, Reino Unido, Alemanha, Suíça e Áustria.

O diagrama de blocos do sistema de mercado livre é apresentado na figura 32. O distribuidor negocia diretamente com os recicladores a sua escolha.

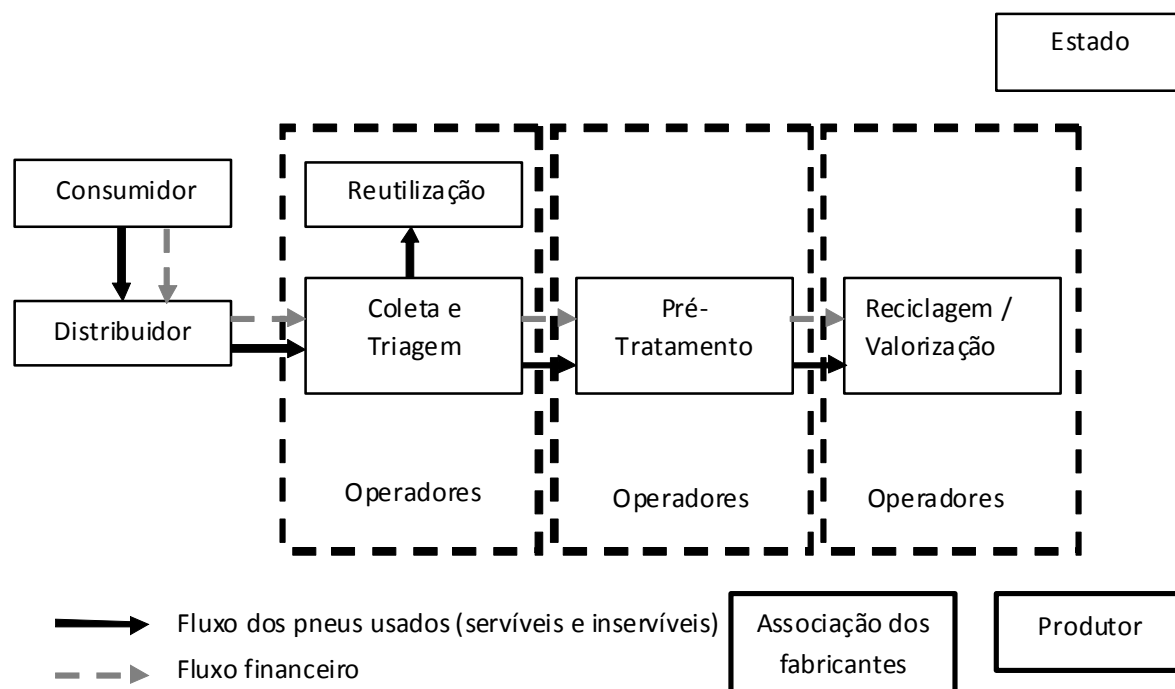


Figura 32 – Diagrama de blocos do sistema de mercado livre.
Referência: European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2010); Pyanowski (2002)

6.2 LEGISLAÇÃO NO BRASIL

Definições:

A primeira iniciativa de definição dos pneus veio com a Resolução Conama nº 258/99, que foi revogada em 2009, após a aprovação da Resolução nº 416 (BRASIL, 2009). A partir da aprovação dessa resolução veio a necessidade de ampliar o conceito e as definições para normatização dos conceitos advindo:

- Portaria nº 5 do Inmetro, de 14 de janeiro de 2000;
- Nota Técnica do Inmetro DQUAL / DIPAC nº 083, de 03 de outubro de 2000; e
- Portaria nº 133 do Inmetro, de 27 de setembro de 2001.

Pneu ou pneumático: todos artefatos infláveis, constituídos basicamente por borracha e materiais de reforço, utilizados para a rodagem de veículos.

Pneu ou pneumático novo: aquele que nunca foi utilizado para rodagem, sob qualquer forma.

Pneu ou pneumático reformado: todo pneumático que foi submetido a algum tipo de processo industrial com o fim específico de aumentar sua vida útil de rodagem em meios de transporte, tais como recapagem, recauchutagem ou remoldagem.

Pneu Remoldado: pneu reconstruído pela substituição da banda de rodagem, dos ombros e de toda a superfície de seus flancos, conforme figura 33 (a).

Pneu Recauchutado: pneu reconstruído pela substituição da banda de rodagem e dos ombros, conforme figura 33 (b).

Pneu Recapado: pneu reconstruído pela substituição da banda de rodagem, conforme figura 33 (c).



Figura 33 – Pneu remoldado (a), recauchutado (b) e recapado (c) (Elaborado pelo autor).

Pneu ou pneumático inservível: após o processo de seleção e triagem dos pneus usados, esses são classificados como servíveis ou inservíveis. O pneu inservível é aquele que não se presta mais para o processo de reforma que permita condição de rodagem adicional.

Pneu ou pneumático servível: após o processo de seleção e triagem dos pneus usados, os pneus são classificados em servíveis ou inservíveis. Os pneus servíveis são passíveis de processo de reforma ou servem para venda como pneus meia-vida.

Pneu radial: pneu cuja carcaça é constituída de uma ou mais lonas nas quais os fios, dispostos de talão a talão, são colocados substancialmente a 90° em relação à linha de centro da banda de rodagem, sendo essa carcaça estabilizada por uma cinta circunferencial constituída de duas ou mais lonas substancialmente inextensíveis, conforme a figura 34 (a).

Pneu diagonal ou convencional: pneumático cuja carcaça é constituída de lonas, cujos fios, dispostos de talão a talão, são colocados em ângulos cruzados, uma lona em relação à outra, substancialmente menores que 90° em relação à linha de centro da banda de rodagem, conforme a figura 34 (b);

Pneu diagonal – cinturado: pneumático cuja carcaça é constituída de lonas, cujos fios, dispostos de talão a talão, são colocados em ângulos cruzados, uma lona em relação à outra, substancialmente menores que 90° em relação à linha de centro da banda de rodagem. Essa carcaça é ainda estabilizada por uma cinta circunferencial constituída de duas ou mais lonas substancialmente inextensíveis, conforme a figura 34 (c).

Pneu ressulcado: pneus cujas cavidades do desenho da banda de rodagem foram aprofundadas. Os modelos projetados para aumento da profundidade dos sulcos recebem uma marcação na lateral do pneu “*regrovable*”.



Figura 34 – Seção transversal do pneu radial (a), convencional ou diagonal (b) e cinturado – diagonal (c) (Elaborado pelo autor).

Classificação dos Pneus Inservíveis

Com relação à classificação dos resíduos quanto aos riscos potenciais ao meio ambiente e à saúde pública, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), publicou a NBR 10.004:2004. Os pneus inservíveis são classificados como Classe IIA – não inertes, por apresentarem teores de zinco e manganês no extrato solubilizado superiores aos padrões estabelecidos pela norma (BERTOLLO et al., 2000).

Mudanças e Regulamentação dos Resíduos Sólidos

Uma proposta iniciada em 1999, para a regulamentação dos resíduos sólidos no Brasil foi a PNRS, que provocou uma mudança na postura do Conama em relação à normatização da área de resíduos. A partir de 1998, o Conama iniciou um trabalho de regulamentação sobre os seguintes resíduos: pneus, pilhas e baterias, serviços de saúde, construção civil, coprocessamento de resíduos, importação e exportação, lâmpadas fluorescentes, aterros sanitários, entre outros.

Em 26 de agosto de 1999, foi aprovada a Resolução Conama nº 258/99 (BRASIL, 2008), que fixava as metas e obrigava os fabricantes e importadores a darem destinação final aos pneus inservíveis. Desde 2002, os fabricantes e importadores de pneus devem coletar e dar destinação final aos pneus inservíveis. Os distribuidores, revendedores, reformadores e consumidores finais são co-responsáveis pela coleta dos pneus inservíveis.

Antes da aprovação da legislação brasileira, somente 10% dos pneus inservíveis eram reciclados. Após a aprovação da legislação, o número de empresas cadastradas para recolher e destinar os pneus inservíveis, que estão de acordo com a Instrução Normativa nº 008/02 (BRASIL, 2003) do Ibama, passou de quatro para 65. Em 2010, eram 124 empresas cadastradas para a reciclagem, laminação e valorização energética dos pneus inservíveis. Um número desconhecido de empresas atua no mercado informal.

Além disso, os fabricantes montaram estruturas de coleta, pré-tratamento e destinação final dos pneus inservíveis. No caso dos importadores de pneus novos, não existia uma estrutura montada para a coleta dos pneus inservíveis até setembro de 2009.

A Resolução Conama nº 258/99 entrou em revisão em 2006 pelo Ibama e em setembro de 2009, foi aprovada a Resolução Conama nº 416/09 (BRASIL, 2009), que altera a forma de cálculo de produção para o mercado de reposição. A nova resolução coloca como desafio aos fabricantes e importadores a obrigação de dar destinação a 100% dos pneus que entram no mercado de reposição. A equação (1) apresenta a forma de cálculo para o mercado de reposição:

$$MR = [(P + I) - (E + EO)] \times 0,7 \quad (1)$$

Sendo, MR = Mercado de reposição de pneus / meta de reciclagem

P = número dos pneus novos produzidos

I = número dos pneus novos importados;

E = número dos pneus novos exportados; e

EO = número dos pneus novos equipados em veículos novos.

Fator 0,7 = o número de pneus deve ser convertido em peso e considerado um fator de desgaste de 30% em peso do pneu novo.

De acordo com a lei, os fabricantes e importadores devem dar uma destinação a um pneu inservível para cada pneu novo comercializado no mercado de reposição. A quantidade a ser reciclada deve ser convertida em peso e deve ser aplicado um fator de desgaste de 30% sobre o peso do pneu novo produzido ou importado.

Em 2010, os fabricantes e importadores de pneus novos elaboraram um plano de gerenciamento de coleta, armazenamento e destinação final dos pneus inservíveis. Além disso, deviam implementar pelo menos um ponto de coleta nos municípios com mais de 100.000 habitantes.

A nova Resolução não considera a reforma de pneus como uma atividade de reciclagem, mas como uma atividade que prolonga a vida útil do pneus de automóveis, motos, ônibus e caminhões.

Para a regulamentação da Resolução nº 416/09, foi aprovada a Instrução Normativa nº 001/10 (BRASIL, 2010a), que regulamenta o procedimento a ser obedecido pelos fabricantes e importadores para o cadastro, cálculo das metas e comprovação da destinação. Além disso, foi alterada a periodicidade para o envio das informações referentes à reciclagem de pneus, que passou de anual para

trimestral em 2010 e novamente anual a partir de 2011. As Instruções Normativas nº 008/2002, nº 018/2002 e nº 021/2002 foram revogadas.

Os pontos principais citados na Instrução Normativa nº 001/10 são:

- desde outubro de 2010, os comerciantes, distribuidores e revendas devem armazenar os pneus inservíveis que não têm mais utilidade e identificar a sua origem e destino, além da quantidade em estoque nas lojas;
- os pneus inservíveis podem ser armazenados triturados em local adequado para esse fim pelo prazo máximo de um ano, desde que obedecidas às exigências do licenciamento dos órgãos ambientais estaduais. Os pneus inservíveis triturados armazenados, podem ser utilizados para a comprovação junto ao Ibama.

As metas para a reciclagem de pneus inservíveis pelos fabricantes e importadores no período de 2002 a 2010 são apresentadas na tabela 14.

Tabela 14 – Metas para a reciclagem de pneus (fabricantes e importadores).

| Ano | Pneus produzidos no país ou importados novos | Fator para reciclagem |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 2002 | 4 pneus produzidos = 1 pneu inservível reciclado | 0,25 |
| 2003 | 4 pneus produzidos = 2 pneus inservíveis reciclados | 0,5 |
| 2004 | 4 pneus produzidos = 4 pneus inservíveis reciclados | 1 |
| 2005 | 4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados | 1,25 |
| 2006 | 4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados | 1,25 |
| 2007 | 4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados | 1,25 |
| 2008 | 4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados | 1,25 |
| 2009 | 4 pneus produzidos = 5 pneus inservíveis reciclados, até o 3º trimestre de 2009. Com a aprovação da Resolução nº 416/09, para cada pneu colocado no mercado de reposição, 1 pneu inservível deve ser reciclado. | 1,25 (até o 3º trimestre). A partir do 3º trimestre, 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado |
| 2010 (*) | 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado | 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado |
| 2011 (**) | 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado | 1 pneu vendido no mercado de reposição = 1 pneu inservível reciclado |

(*) Reportagem trimestral e (**) Reportagem anual para o Ibama.
Referência: Brasil (2008); Brasil (2009)

Coprocessamento em fornos de clínquer

Aspecto Ambiental

A indústria de cimento é conhecida por seu elevado potencial poluidor, associado às emissões de material particulado e de seus compostos gasosos como o dióxido de enxofre, dióxido de carbono e os óxidos de nitrogênio (GROSSI, 2004).

Legislação

O Conama publicou duas resoluções referentes às emissões que se aplicam a incineração e co-incineração (coprocessamento):

- a Resolução nº 264/99, que se aplica ao licenciamento de fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento de resíduos, excetuando-se os resíduos domiciliares, de serviços de saúde, os radioativos, explosivos, organoclorados, agrotóxicos e afins. Não estabelece valores para dioxinas e furanos, mas menciona que no teste de queima deverão ser amostrados e avaliados os poluentes estabelecidos no efluente gasoso, além dos Principais Compostos Orgânicos Perigosos (PCOPs); e
- a Resolução nº 316/02, que dispõe sobre procedimentos e os critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos.

A Resolução nº 264/99 fixa limites máximos de emissão atmosférica, conforme apresentados na tabela 15.

Tabela 15 – Limites máximos de emissão conforme Resolução nº 264/99.

| Poluente | Limites Máximos de Emissão (**) |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| HCL | 1,8 kg/h ou 99% de redução |
| HF | 5 mg/Nm ³ , corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| CO (*) | 100 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| Material Particulado | 70 mg/Nm ³ farinha seca, corrigido a 11% de O ₂ (base seca) |
| THC (expresso em propano) | 20 ppmv, corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| Mercúrio (Hg) | 0,05 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| Chumbo (Pb) | 0,35 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| Cádmio (Cd) | 0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| Tálio (Ti) | 0,10 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| (As+Be+Co+Ni+Se+Te) | 1,4 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |
| (As+Be+Co+Cr+Cu+Mn+Ni+Pb+Sb+Se+Sn+Te+Zn) | 7,0 mg/Nm ³ corrigido a 7% de O ₂ (base seca) |

(*) As concentrações de CO na chaminé não poderão exceder a 100 ppmv em termos de média horária.

(**) Emissão para fornos rotativos de produção de clínquer para atividades de coprocessamento. Referência: Brasil (2008)

Segundo Yushiro Kihara (1999), gerente de tecnologia da ABCP, isso prova que os fornos que estão coprocessando resíduos atingem padrões de controle ambiental rígidos, quando comparado aos similares que utilizam óleo como combustível. O coprocessamento é uma garantia de que as cimenteiras atendem à legislação ambiental. Resta saber se, na prática, os níveis de emissão são realmente cumpridos.

A normatização do coprocessamento gera uma série de impactos e tendências que, em função dos cenários futuros, podem determinar o sucesso ou fracasso do processo, conforme a atuação dos diferentes segmentos envolvidos.

A implantação gradativa do coprocessamento, em um cenário favorável, leva às seguintes tendências (KIHARA, 1999):

- maior rigor na fixação dos limites de emissão de particulados, gases e metais;
- fixação de limites de dioxinas e furanos para valores entre 0,1 e 0,2 ng/Nm³;

- reavaliação do limite de poder calorífico dos resíduos utilizados no coprocessamento de 2.800 kcal/kg, para valores mais baixos, desde que seja comprovado o ganho energético;
- ganho de competitividade de cimenteiras no aproveitamento de resíduos perigosos pela sua valorização como combustível alternativo ou substituto da matéria-prima;
- aumento do número de fábricas licenciadas.

Na Resolução nº 316/02, foi estabelecido o valor para as dioxinas e furanos de 0,5 ng/Nm³ expressos em Total de Toxicidade Equivalente (TEQ) da 2,3,7,8 TCDD (tetracloro-dibenzo-para-dioxina). O valor estabelecido ficou abaixo dos praticados na Alemanha e Comunidade Européia que é de 0,1 ng/Nm³. A tabela 16 apresenta um comparativo das legislações da Alemanha, Comunidade Européia e Brasil. Observa-se que os valores adotados são mais restritivos que os do Brasil.

Quando se discute processos térmicos, as dioxinas e furanos recebem maior atenção dos órgãos de meio ambiente, população e cientistas.

O termo dioxina é uma abreviação de dibenzo-p-dioxinas policloradas (PCDD) e furanos é uma abreviação de dibenzo furanos policlorados (PCDF), classificadas como um grupo de substâncias químicas cloradas, totalizando 210 compostos individuais (GROSSI, 1993).

As fontes principais de formação das PCDDs/Fs não são substâncias naturais, também nunca foram resultados de uma síntese ou produto industrial direto, mas sim um produto secundário muitas vezes indesejável. As principais fontes são as indústrias químicas e de papel (GROSSI, 1993).

As fontes mais importantes de dioxinas no meio ambiente são os processos de incineração de lixo doméstico, especiais, hospitalar e lodo, entre outros (GROSSI, 1993).

Tabela 16 - Comparativo entre as exigências das emissões para o coprocessamento de resíduos na Alemanha, Comunidade Européia e Brasil.

| Limites de Emissão | Alemanha 1986 (TA Luft 1986) | Alemanha 1990 (17. BImSch V) | União Européia 2000 (2000/76/CE) | União Européia (2000/76/CE) | CONAMA nº 316/02 Brasil | CONAMA nº 264/99 Brasil Fornos de cimento de coincineração de resíduos (coprocessamento) |
|-----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| mg/Nm ³ | Incineração 11% vol O ₂ , B.S. | Incineração 11% vol O ₂ , B.S. | Incineração 10% vol. O ₂ , B.S. | Incineração 10% vol. O ₂ , B.S. | Incineração 7% em vol O ₂ , B.S. | Incineração 7% em vol O ₂ , B.S. |
| Poeira total (MP) | 30 | 10 | 10 | 30 | 70 | 70 |
| Carbono total | 20 | 10 | 10 | 10 | - | - |
| HCl | 50 | 10 | 10 | 10 | 80 | 1,8kg/h ou 99% de redução |
| HF | 2 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 |
| SO _x (Como SO ₂) | 100 | 50 | 50 | 50 | 280 | (**) |
| NO _x (Como NO ₂) | 500 | 200 | Capacidade > 6 ton/h: 200 Capacidade < 6 ton/h: 400 | Instalações existentes: 800 Novas instalações: 500 | 560 | (**) |
| CO | 100 | 50 | 50 | (*) | 100 | 100 |
| Metais pesados | Σ Hg, Cd, Ti: 0,2 Σ As, Co, Ni, Se, Te: 1 Σ Sb, Pb, Cr, CN, F, Cu, Mn, Pt, Pd, Rh, V, Sn: 5 | Σ Cd, Ti: 0,05 Hg: 0,05 Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn: 5 | Σ Cd, Ti: 0,05 Hg: 0,05 Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V: 5 | Σ Cd, Ti: 0,05 Hg: 0,05 Σ Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V: 0,5 | Σ Cd, Hg, Ti: 0,28 Σ As, Co, Ni, Te, Se: 1,4 Σ Sb, Pb, Cr, CN, Cu, Sn, F, Mn, Pt, Pd, Rh, V: 7,0 | Cd: 1 Ti: 0,1 Hg: 0,05 Pb: 0,35 Σ As, Be, Co, Ni, Te, Se: 1,4 Σ As, Be, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Te, Zn: 7,0 |
| Dioxinas e Furanos | - | 0,1 ng/m ³ | 0,1 ng/m ³ | 0,1 ng/m ³ | 0,5 ng/m ³ | (***) |

(*) O limite de monóxido de carbono pode ser estabelecido pela autoridade competente na Comunidade Européia;

(**) Os limites de emissão do SO_x e NO_x deverão ser estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes, considerando as peculiaridades regionais;

(***) Não estabelece os valores de dioxinas e furanos.

Referência: Grossi (2004)

A Política Nacional de Resíduos Sólidos

Em decorrência da demora na aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), 12 estados aprovaram as suas próprias Políticas Estaduais de Resíduos Sólidos (PERS).

Segundo o deputado federal Arnaldo Jardim, coordenador do grupo de trabalho de resíduos sólidos da câmara, formado para avaliar a PNRS, a logística reversa, o inventário de geração de resíduos e a gestão integrada dos resíduos são pontos fundamentais da política e vão preencher grandes vazios legislativos no Brasil (COSTA, 2010a).

Em 23 de dezembro de 2010, foi regulamentada a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010c), que institui a PNRS, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa, entre outras.

O Comitê Interministerial tem a finalidade de apoiar a estruturação e a implantação da PNRS através da articulação dos órgãos e entidades governamentais, para cumprir as metas estabelecidas neste Decreto. Entre as medidas a serem adotadas estão:

- promoção de estudos e proposição de medidas para a desoneração tributária de produtos recicláveis e reutilizáveis;
- promoção de estudos visando a criação, modificação e extinção de condições para a utilização de linhas de financiamento ou creditícias de instituições financeiras federais;
- estratégia para a promoção e difusão de tecnologias limpas para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos;
- incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento nas atividades de reciclagem, reaproveitamento e tratamento de resíduos sólidos, entre outras.

A PNRS reúne um conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotadas pelo Governo Federal, isoladamente ou em regime de cooperação entre os Estados, Distrito Federal, Municípios, empresas e consumidores, com o objetivo de obter uma gestão integrada e o gerenciamento adequado dos resíduos sólidos.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (Abrelpe)²⁷, a lei sancionada traz avanços para o setor e dentre os pontos positivos são destacados, a logística reversa, a responsabilidade compartilhada e o princípio da hierarquia na gestão. Como ponto negativo, a lei não indica as fontes de recursos para custear as mudanças, nem aponta as linhas de financiamento, benefícios econômicos e fiscais para o setor. Deve ser feito um detalhamento para a implementação da logística reversa na prática, responsabilidade compartilhada e os acordos setoriais.

Segundo Diógenes Del Bel da Abrelpe (DEL BEL, 2010), a PNRS foi um passo importante para promover o alinhamento de diretrizes e criar um espaço legal e institucional para a regulamentação da lei, o que será feito com decretos federais, resoluções do Conama e planos de gestão.

Mudanças na Reciclagem de Pneus Inservíveis no Brasil

Quanto ao acordo setorial para a reciclagem dos pneus inservíveis, o Comitê Orientador da Logística Reversa, definido na PNRS, Lei nº 12305/10 e Decreto nº 7404/10, deliberou deixar a logística reversa dos pneus inservíveis para um segundo momento, uma vez que já existe uma metodologia implementada pela Reciclanip para cumprimento da Resolução Conama nº 416/09. Foi o mesmo caso das pilhas e baterias, em que a Resolução Conama nº 401/09 obriga a coleta e destinação pelos fabricantes e importadores.

O Comitê Orientador da Logística Reversa é composto pela: Casa Civil, Secretaria de Relações Institucionais da Presidência da República e dos Ministérios do Meio Ambiente; Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior; Desenvolvimento Social e Combate à Fome; Saúde; Ciência e Tecnologia; Minas e Energia; Fazenda; Planejamento, Orçamento e Gestão; e Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

²⁷ SILVA FILHO, C. R. V. **Política Nacional de Resíduos Sólidos, visão da Associação Brasileira de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <carlos@abrelpe.org.br> recebida em: 04 ago. 2010.

A logística reversa já era exigida na Resolução Conama nº 416/09, a diferença mais predominante é a possibilidade de serem realizados acordos setoriais para facilitar sua implementação. O Comitê Orientador da Logística Reversa selecionou primeiramente o descarte de medicamentos - embalagens em geral – lâmpadas de mercúrio e de luz mista – eletroeletrônico.

Segundo Eduardo de Souza Martins, da E.labore (MARTINS, 2010), empresa que presta consultoria para a Reciclanip, a PNRS é um marco regulatório para o lixo, seja ele reaproveitável ou não. No caso dos pneus inservíveis já existe uma legislação para a coleta e descarte.

Segundo César Faccio, da Reciclanip (informação verbal)²⁸, com a aprovação da PNRS, não ocorreu nenhuma mudança no caso da reciclagem de pneus inservíveis, devido a existência para esse fim da Resolução Conama nº 416/09.

Deve ocorrer uma mudança, principalmente no Estado de São Paulo, que está fazendo uma revisão na resolução para tratar da destinação de pneus. Com esse sistema, o gerenciamento por parte da Reciclanip deve ficar mais fácil, devido ao compartilhamento de responsabilidade, por parte dos estados, municípios, órgãos ambientais, recicladores, revendas e distribuidores e consumidor final.

Segundo a Goodyear, a empresa vem acompanhando a evolução das exigências e políticas governamentais relacionadas ao tema da reciclagem através da ANIP e Reciclanip. Dessa forma, o que se tem notado é que em 2011, com a efetivação do Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010, o qual regulamenta a Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010, as exigências do governo ficaram mais rígidas, não só para os pneus inservíveis, mas para diversas categorias de produtos. Outro ponto importante, é que em alguns estados as legislações estaduais, muitas vezes, podem ser mais restritas que o decreto federal ou, ainda, com especificidade maior, como é o caso do Paraná.

Uma preocupação do governo é incluir no processo de reciclagem de pneus inservíveis os distribuidores, revendas e importadores de pneus.

O Ibama possui um papel importante na implementação da PNRS, os seguintes trabalhos estão sendo realizados para cumprir as obrigações:

- implementar o Cadastro Nacional de Operadores de Resíduos Perigosos;

²⁸ Entrevista realizada com César Faccio, gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip, São Paulo, em 2011.

- o Ibama deve ser a principal referência de informações para o Sistema Nacional de Informações sobre os Resíduos Sólidos Urbanos (Sinir).
- controlar e fiscalizar o cumprimento dos Acordos Setoriais e dos Termos de Compromisso para a logística reversa de abrangência nacional;
- controlar e fiscalizar os sistemas de logística reversa já implementados pelas Resoluções Conama;
- atuar na proibição das importações de resíduos sólidos perigosos e rejeitos;
- gerir os Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos das atividades e obras com significativo impacto ambiental, de âmbito nacional ou regional;
- formação e capacitação de agentes ambientais em todo o país; e
- promoção da educação ambiental, objetivando informar a sociedade sobre seu papel na correta destinação dos resíduos sólidos.

O Sinir ainda não foi concebido. Foi instituído um Comitê Interministerial com a finalidade de apoiar a estruturação e implementação da PNRS. Em função desse comitê, foram formados grupos e subgrupos para apoiá-lo, sendo um deles o Sinir, onde há proposta de cronograma para a entrega de relação para subsídio à sua implantação em outubro de 2011.

Como instrumento da PNRS, o Sinir terá de tratar não somente dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), mas de outros, conforme prevê a Lei nº 12.305/2010. O Decreto Regulamentador nº 7.404/2010 cita que a parcela referente aos RSU será compartilhada do Sinir. O art. 75 diz que a coleta e sistematização de dados, a disponibilização de estatísticas e indicadores, o monitoramento e a avaliação da eficiência da prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos serão realizados no âmbito do Sinisa, nos termos do art. 53 da Lei nº 11.445, de 2007. Seu primeiro parágrafo menciona que o Sinir utilizará as informações do Sinisa referentes às atividades previstas no caput deste artigo.

CTF Instrumento da PNRS

Em 2006, foi aprovada a Instrução Normativa nº 96, de 30 de março, que dispõe sobre o CTF. Seu objetivo é gerar informações para os entes do Sistema Nacional do Meio Ambiente (Sisnama) para ações de controle, fiscalização e gestão

ambiental. O gerenciamento das informações do CTF é realizado pela Diretoria de Qualidade Ambiental (Diqua).

O CTF do Ibama tem como objetivo principal gerar informações e desenvolver ações de controle, fiscalização e gestão ambiental sendo, portanto, um dos instrumentos da PNRS.

O Sistema Nacional de Informação sobre o Meio Ambiente (Sinima) é o instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente (PNMA), Lei nº 6.938/81, responsável pela gestão da informação ambiental no âmbito do Sisnama, de acordo com a lógica da gestão ambiental compartilhada entre as três esferas de governo.

Em 3 de dezembro de 2009, foi aprovada a Instrução Normativa nº 031/09 do Ibama, no anexo IV, deve constar no relatório anual de atividades potencialmente poluidoras ou utilizadoras dos recursos ambientais, a comercialização de produtos químicos, produtos perigosos, pneus, combustíveis e derivados.

Os fabricantes, importadores e destinadores de pneus devem preencher o relatório de comprovação de destinação de pneus inservíveis e o cadastro dos pontos de coleta. O Ibama emite o relatório anual do CTF para a destinação dos pneus inservíveis pelos fabricantes e o relatório de importação de pneumáticos para os importadores.

Para o cumprimento da Resolução Conama nº 416/09, somente os fabricantes e importadores de pneus novos devem fazer o CTF. Além disso, a PNRS definiu o CTF do Ibama como um dos seus instrumentos e não as metas de reciclagem de pneus inservíveis.

No caso dos reformadores de pneus servíveis, revendas e distribuidores têm de declarar por se enquadrarem na Lei nº 6.938/81, que dispõe sobre a PNRS, e o CTF é registro obrigatório de pessoas físicas ou jurídicas que se dedicam a atividades potencialmente poluidoras e/ou à extração, produção, transporte e comercialização de produtos potencialmente perigosos ao meio ambiente, assim como de produtos e subprodutos da fauna e flora.

A Lei nº 10.165, de 27 de dezembro de 2000, altera a Lei nº 6.938, que dispõe sobre a PNMA, que instituiu a Taxa de Controle de Fiscalização Ambiental (TCFA), cujo fato gerador é o exercício regular do poder de polícia conferido ao Ibama, para o controle e fiscalização de atividades potencialmente poluidoras e utilizadoras de recursos naturais.

Legislação no Estado de São Paulo

Segundo João Luiz Potenza, diretor do Centro de Projetos da Coordenadoria de Planejamento Ambiental (SIQUEIRA, 2010), da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, a resolução SMA nº 024/2010 se limita ao Estado de São Paulo, mas já existem leis, normas e regulamentações similares em outros países, como exemplo: Estados Unidos, Canadá, Portugal e Itália, sendo que em alguns deles há mais de 20 anos (SECRETÁRIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, 2010). Os produtos sujeitos a responsabilidade do pós-consumo são: filtros e embalagens de óleo lubrificante automotivo, lâmpadas fluorescentes, baterias automotivas, pneus, produtos eletrônicos. Além disso, as embalagens primárias, secundárias e terciárias de: alimentos e bebidas, produtos de higiene pessoal, produtos de limpeza e bens de consumo duráveis.

Segundo Kovacs²⁹, para atender o inciso II do artigo 3º, as metas estruturais de recolhimento de que trata o inciso III do artigo 4º da Resolução SMA-131, de 30 de dezembro de 2010, existe um projeto para a regulamentação da coleta e destinação de pneus inservíveis dentro do Estado de São Paulo. Os distribuidores, comerciantes, fabricantes e importadores são obrigados a estruturar, implantar e operar de forma progressiva no mínimo 42 pontos de coleta nos municípios até 31 de dezembro de 2011, no mínimo em 1/3 dos municípios, até 31 de dezembro de 2010; em 2/3 dos municípios, até 31 de dezembro de 2013 e, a partir de 02 de agosto de 2014, todos os municípios deverão contar com postos de entrega voluntária e centrais de recebimento, no Estado de São Paulo.

Em 2011, as Resoluções SMA nº 024/2010 e nº 131/2010 foram revogadas pela Resolução SMA nº 011/2011, contudo existe um grupo de trabalho que está trabalhando para a definição das metas para a coleta e determinação do processo de coleta e destinação de pneus inservíveis no Estado de São Paulo³⁰.

No Município de São Paulo, o Projeto de Lei nº 422/10, aprovado pela Comissão de Constituição e Justiça da Câmara Municipal, tem como objetivo

²⁹ Entrevista realizada com André Kovacs, da Área de Planejamento da Secretária de Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo em 2011.

³⁰ KOVACS, A. **Reciclagem de Pneus no Brasil**. Mensagem Pessoal enviada por: <andrek@ambiente.sp.gov.br> recebida em: 31 maio 2011.

principal implantar a coleta sistemática de pneus inservíveis no Município de São Paulo e alertar a população sobre os riscos que o descarte incorreto dos pneus inservíveis lançados em terrenos baldios, beiras de estradas, córregos e rios podem trazer para a sociedade (FONSECA, 2010).

Legislação no Estado do Paraná

O Ministério Público do Estado do Paraná – MPPR (2002) aprovou a Lei nº 12.493, em 22 de janeiro de 1999, essa lei estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes à geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos no estado, visando o controle da poluição e da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais negativos, além de adotar outras providências. No artigo 14º

[...] ficam proibidas, em todo o território do Estado do Paraná as seguintes formas de destinação de resíduos sólidos, inclusive pneus usados: queima a céu aberto; lançamento em corpos d'água, manguezais, terrenos baldios, redes públicas, poços e cacimbas, mesmo que abandonados; lançamento em redes de drenagem de águas pluviais, de esgotos, de eletricidade, entre outros (PARANÁ, 1999).

A Resolução da Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA) nº 057, de 25 de novembro de 2008, proíbe por tempo indeterminado o transporte, o armazenamento, o tratamento e/ou a disposição final de pneus inservíveis oriundos de outros Estados da Federação e/ou outros países no Estado do Paraná (PARANÁ, 2008).

6.3 LEGISLAÇÃO SOBRE A IMPORTAÇÃO DE PNEUS USADOS E RECAUCHUTADOS

A Portaria nº 008, de 14 de maio de 1991, do Departamento de Comércio Exterior (Decex), proíbe a importação de bens de consumo usados, dentre os quais se incluem os pneus usados (BRASIL, 2007).

A Convenção da Basiléia sobre o Controle de Movimentos Transfronteiriços de Resíduos Perigosos e seu Depósito, de 22 de março de 1989, reconhece o direito de todo Estado Soberano de proibir a entrada de resíduos estrangeiros perigosos e

outros resíduos em seu território (UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 1999).

Em 1993, o Conama editou a Resolução nº 023, com base nos princípios da Convenção da Basileia e fez constar no artigo 4º : “[...] os resíduos inertes não estão sujeitos a restrições de importação, à exceção dos pneumáticos usados cuja importação é proibida” (BRASIL, 2008).

Em 1998, o Conama aprovou a Resolução nº 235, que confirma a proibição de pneumáticos. Em 1999, com a aprovação da Resolução Conama nº 258/99, foi proibida a importação de pneus usados (BRASIL, 2008).

Em 2000, a Secretaria de Comércio Exterior (Secex) editou a Portaria nº 008, de 25 de setembro de 2000, estabelecendo no seu artigo 1º que: “Não será deferida a licença de importação de pneumáticos recauchutados e usados, seja como bem de consumo, seja como matéria-prima” (BRASIL, 2007).

O Uruguai ingressou com reclamatória na Câmara Arbitral do Mercado Comum do Sul (Mercosul), no qual obteve decisão unânime no dia 09 de janeiro de 2002, obrigando a Secex a editar a Portaria nº 002 / 2002.

Em 2002, a Portaria Secex nº 002, de 8 de março de 2002, determina no artigo 1º “[...] fica autorizado o licenciamento de importação de pneumáticos remoldados, procedentes dos Estados Partes do Mercosul” (BRASIL, 2007). Esta mudança ocorreu em função de uma decisão do Tribunal Arbitral do Mercosul, a favor do Uruguai, que reconheceu o direito de os países membros do Mercosul exportarem para o Brasil os pneus remoldados.

Em 21 de março de 2002 foi aprovada a Resolução Conama nº 301/02, considerando a regulamentação da destinação final dos pneus usados importados, sem modificar a proibição já existente para os pneus usados, com exceção dos pneus remoldados importados dos países membros do Mercosul (BRASIL, 2008).

Em 1 de janeiro de 2002, o Secex editou a Portaria nº 017, revogando as Portarias Decex nº 008/1991, nº 008/2000 e nº 002/2002. O artigo 39 diz: “[...] não será deferida licença de importação de pneumáticos recauchutados e usados, como bem de consumo, seja como matéria-prima, à exceção dos pneumáticos remoldados, originários e procedentes dos Estados Partes do Mercosul” (BRASIL, 2007).

No Decreto nº 3.919, de 2001, inclui o artigo 47-A do Decreto nº 3179, de 21 de setembro de 1999, estabelecendo como infração administrativa a importação de

pneu usado ou reformado, com previsão de multa de R\$ 400,00 por unidade importada. Em fevereiro de 2003, foi aprovado o Decreto nº 4592/03, que isenta de multa as importações de pneus remoldados do Mercosul.

Em 21 de setembro de 2006, a União Federal ajuizou, perante o Supremo Tribunal Federal (STF), a Arguição de Descumprimento de Preceito Fundamental (ADPF 101), por meio da qual pretende bloquear todas as importações de pneus usados para o Brasil (BRASIL, 2007).

Em 24 de julho de 2009, foi proibida a entrada de pneus usados no Brasil pelo STF, atendendo uma solicitação do Governo Federal, que defendeu a proibição com a alegação que os pneus usados geram riscos ao meio ambiente e à saúde pública. Segundo José Antônio Dias Toffoli, advogado geral da União, “está proibida toda e qualquer importação, mesmo que baseada em decisão judicial, inclusive de países do Mercosul” (BRASIL, 2007).

A decisão do STF também encerra um problema que o Brasil tinha com a Organização Mundial do Comércio (OMC). A União Européia representou contra o Brasil na OMC porque a importação de pneus usados dos países europeus era proibida, mas permitida aos Estados Partes do Mercosul (Paraguai, Argentina e Uruguai). Com a decisão está proibida a entrada de pneus usados de qualquer país, mesmo baseada em decisão judicial.

Vantagens da importação dos pneus usados para a reforma

Existe uma série de vantagens para a importação de pneus usados pelas empresas que fazem a recauchutagem, recapagem e remoldagem, entre elas:

- baixo custo da importação;
- uma parte dos pneus usados importados era vendido como pneus meia-vida. Os pneus usados eram inspecionados quando chegavam às empresas que faziam a reforma. Devido o grande volume de pneus usados e o baixo custo, as empresas mantinham uma escala constante de produção;
- após o processo de reforma o pneu era vendido com um valor até 40% menor quando comparado a um pneu novo;

- o custo da coleta, transporte e reforma de pneus usados coletados no Brasil é maior quando comparado com os pneus usados importados.

6.4 COMPARATIVO ENTRE AS REGULAMENTAÇÕES PARA A DESTINAÇÃO DOS PNEUS USADOS

No Brasil, não existe nenhum incentivo do governo para a reciclagem dos pneus inservíveis. Em 1999, foi proibida a disposição de pneus em aterros, mas não existe nenhum levantamento por parte do Governo Federal, estados, municípios, órgãos ambientais, fabricantes e importadores, sobre a quantidade de pneus inservíveis em aterros controlados e lixões.

Nos Estados Unidos e alguns países da Comunidade Européia existem incentivos para a reciclagem de pneus inservíveis e a criação de novos mercados para os produtos reciclados.

A tabela 17 apresenta uma análise comparativa entre as legislações para a reciclagem de pneus inservíveis no Brasil, Estados Unidos, países membros da Comunidade Européia e Japão, abordando as regulamentações, taxas, incentivos e a base de cálculo para a reciclagem.

No Brasil, a reutilização e a reforma não são atividades regulamentadas. A atividade de reforma de pneus nos Estados Unidos não é considerada uma atividade de reciclagem e não faz parte das estatísticas. Por outro lado, no Japão e nos países membros da Comunidade Européia a reforma de pneus é considerada como reciclagem e recebe incentivos do governo.

Na Europa, apesar da proibição da destinação dos pneus inteiros em 2003 e triturados a partir de 2006, alguns estados membros continuam enviando pneus para aterros, entre eles: Itália, 73 mil toneladas; Bulgária, 27 mil toneladas; Irlanda, 25 mil toneladas; Reino Unido, 23 mil toneladas; entre outros (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2010).

A utilização de pneus inservíveis como matéria-prima ou combustível é parcialmente regulamentada no Brasil. Parcialmente, pois isso ocorre somente no coprocessamento em fornos de clínquer e com a rocha de xisto pirobetuminoso. A queima em caldeiras de leito fluidizado na indústria de papel e celulose, apesar de

possuir licença ambiental do Instituto Ambiental do Paraná - IAP, não é considerada pelo Ibama como uma atividade de destinação³¹.

Tabela 17 – Regulamentações para a destinação final dos pneus usados no Brasil, Estados Unidos, Comunidade Européia e Japão.

| Destinação Final | Brasil | Estados Unidos | Comunidade Européia | Japão |
|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Utilização de pneus usados como combustíveis alternativos | Parcialmente regulamentado | Regulamentada | Regulamentada | Regulamentada |
| Aterros | Não aceito desde 1999 | Aceito em alguns estados | Pneus inteiros até 2003 e triturados até 2006. | Não aceito |
| Reutilização | Não aceito | Aceito | Aceito | Aceito |
| Exportação de pneus usados | Não aceito | Aceito | Aceito | Aceito |
| Reforma (recauchutagem, recapagem e remoldagem) | Não regulamentada | Não regulamentada | Regulamentada | Regulamentada |
| Taxas e incentivos | Não existe | Existente em alguns estados | Existente em alguns países | Existente |
| Base de cálculo para a reciclagem de pneus | Disponibilidade efetiva no mercado de reposição | Disponibilidade efetiva no mercado de reposição | Disponibilidade efetiva no mercado de reposição | Disponibilidade efetiva no mercado de reposição |
| % do cumprimento das metas de reciclagem de pneus | 47,3% (fabricantes de pneus) / 12,92% (importadores de pneus usados) / 97,04 % importação de pneus novos (em peso) (2002 ao 1º quadrimestre de 2011) (*) | 89,3% (2007) | 95% (2008) | 89% (2009) |
| Sistema implementado | Responsabilidade do fabricante e importador | Mercado livre | Responsabilidade do fabricante e importador (48,3%) / mercado livre / sistema de taxas | Mercado livre |

(*) Dados do 1º quadrimestre de 2011, divulgados pela associação dos fabricantes. Referência: Lagarinhos; Tenório (2009); Reciclanip (2011)

³¹ A destinação é o procedimento ou técnica devidamente licenciado pelos órgãos ambientais competentes, no qual os pneus inservíveis, inteiros ou triturados, são descaracterizados por meios físicos ou químicos, podendo ou não ocorrer a reciclagem dos elementos originais ou de seu conteúdo energético. Não é considerada destinação dos pneus inservíveis, a simples transformação dos mesmos em retalhos, lascas de borracha (BRASIL, 2009).

A utilização de pneus durante o processo de conversão de sucata de aço, ainda não está licenciada, assim como a queima em caldeiras para a geração de vapor e geração de energia.

7 LOGÍSTICA REVERSA E AS TECNOLOGIAS PARA A RECICLAGEM DE PNEUS

7.1 INTRODUÇÃO

O Brasil gerou diariamente 182.728 toneladas de resíduos sólidos urbanos em 2009. A taxa de geração por habitante foi de 1,152kg/dia (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2010), com aproximadamente 55% em peso de material orgânico (VILHENA, 2009).

No mesmo ano, 56,8% dos resíduos sólidos urbanos foram enviados para aterros sanitários, 23,9% para aterros controlados e 19,3% para lixões (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS, 2010). O custo da coleta e destinação de resíduos sólidos urbanos no Brasil foi de US\$ 5,45 habitante/mês em 2009. Nesse ano, os pneus inservíveis representaram 0,47% dos resíduos sólidos urbanos gerados anualmente no Brasil.

Estudo realizado pela National Geographic & Globescan Greendex (2010) apresenta, entre outros indicadores, as macro tendências sócio-culturais, que apontam o Brasil em 1^o lugar na frequência de rejeição aos produtos que causam impactos negativos ao meio ambiente e em 5^o lugar na frequência de reciclagem de material, conforme figuras 35 e 36.

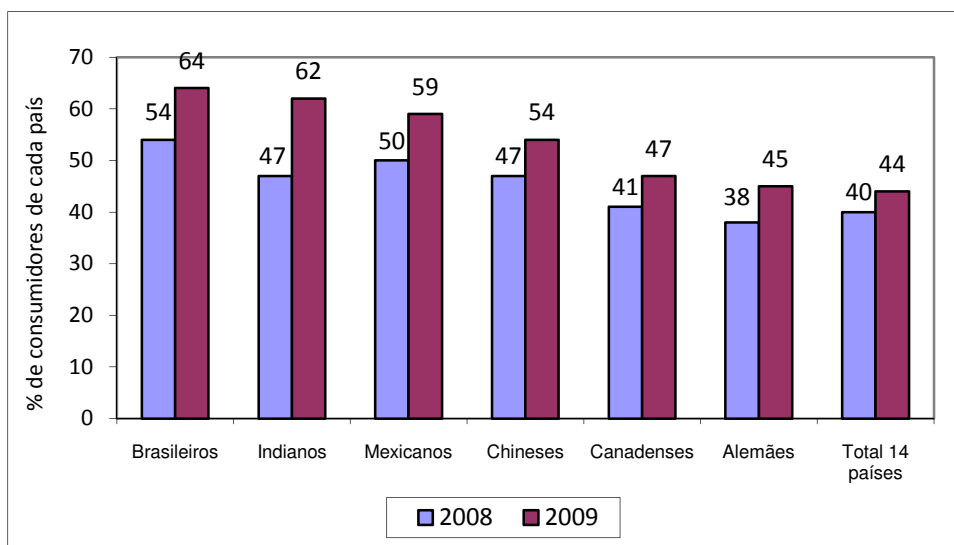


Figura 35 – Frequência de rejeição de produtos que causam impactos negativos ao meio ambiente, no período de 2008 a 2009.

Referência: National Geographic & Globescan Greendex (2010)

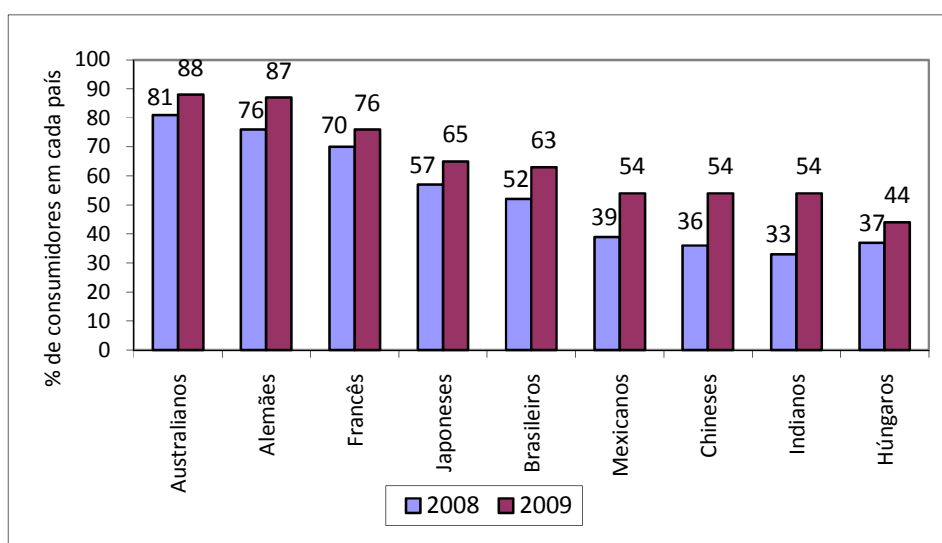


Figura 36 – Frequência de reciclagem de materiais no período de 2008 a 2009.

Referência: National Geographic & Globescan Greendex (2010)

7.2 O PRINCÍPIO DA REDUÇÃO, REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM - 3R'S NA INDÚSTRIA DE PNEUS

O princípio da redução é de difícil aplicação em projetos de pneus, devido a suas características funcionais, ao tipo de materiais envolvidos na construção dos

mesmos, as quantidades que não podem ser alteradas em função da redução do nível de segurança e ao aumento da probabilidade de acidentes. O crescimento do mercado e consumo, em função do crescimento econômico do país, implica diretamente na geração dos resíduos pós-consumo.

Existem alguns projetos de substituição do tipo de composto, com o objetivo de facilitar a sua reciclabilidade, decomposição no meio ambiente e a redução do consumo de combustíveis.

No caso da reutilização, o significado é dar outra destinação ao produto pós-consumo por não servir mais à função para a qual foi projetado. Pode ser utilizado como balança, para impedir choques acidentais com paredes, utilizado em obras de geotecnia para contenção de encostas, plantações de árvores em estradas, entre outras. Essas destinações não estão previstas nas regulamentações do Ibama. Uma forma de reutilização dos pneus servíveis é a reforma.

O pó de borracha, após o processo de regeneração, é utilizado na banda de rodagem, gerando a redução da vida útil e com isso minimizando a quantidade de reformas, principalmente nos pneus convencionais de carga. No caso da adição da borracha regenerada na carcaça do pneu, pode ocorrer a fadiga da estrutura da carcaça. A borracha regenerada é utilizada apenas nos pneus convencionais de carga segundo Cesar Faccio (informação verbal)³².

No caso da reciclagem, é considerado pela indústria de pneus que o pneu inservível após esse processo torna-se tecnicamente um pneu novo. Na verdade, o conceito de reciclagem é o aproveitamento dos materiais utilizados na construção dos pneus: borracha, fibras utilizadas nos reforços têxteis e aço.

No Brasil, segundo a Goodyear³³ e a Pirelli³⁴, não é utilizada borracha regenerada na fabricação de pneus novos. Segundo Alessandro Otsuji³⁵, na produção de pneus convencionais ou diagonais é utilizada borracha regenerada. Na

³² Entrevista realizada com César Faccio, gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip, São Paulo, em 2011.

³³ TERRA, A. **Reciclagem de Pneus no Brasil. Utilização de borracha regenerada na fabricação de pneus novos.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <sac_goodyear@goodyear.com.br> recebida em: 18 jan. 2011. 1p.

³⁴ ALMEIDA, A. **Utilização de borracha regenerada na construção de pneus.** Centro de Desenvolvimento de Pneus da Pirelli em Santo André. [mensagem pessoal]. Enviado por: <angela.almeida@pirelli.com> recebida em: 29 nov. 2010. 1p.

³⁵ OTSUJI, A. **Informação sobre o processo de utilização de borracha regenerada na fabricação de pneus convencionais – RECICLANIP.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <cesar.faccio@reciclanip.com.br> recebida em: 30 nov. 2010. 1p.

América Latina, algumas empresas fabricantes de pneus utilizam até 5% de borracha regenerada na produção de pneus novos, principalmente os pneus de carga.

A borracha regenerada tem sido usada há décadas em produtos técnicos de borracha, mas recentemente ocorreu um aumento do consumo desse tipo de borracha em função do baixo custo, 50% menor quando comparado com a borracha virgem do SBR³⁶.

7.3 RESPONSABILIDADES ESTENDIDAS AO PRODUTOR

Em 1992, introduziu-se o conceito de responsabilidade estendida do produtor, *Extended Product Responsibility* (EPR), definindo que a responsabilidade sobre os produtos e seu ciclo de vida deve recair sobre o fabricante sob cinco tipos: do produtor, econômica, física, de propriedade e da informação (LINDHQUIST, 1992).

A seguir serão apresentadas as definições dos tipos de responsabilidade:

- 1) produtor: é o responsável pelos impactos negativos ao meio ambiente causados pelo produto no final da vida útil;
- 2) econômica: o produtor assume a totalidade ou parte dos custos da coleta, reciclagem e disposição final dos produtos e pode cobrar uma taxa;
- 3) física: envolvida com o gerenciamento dos produtos. O produtor deve desenvolver tecnologia para o retorno dos produtos, sistema de coleta e destinação final, para os quais pode cobrar uma taxa;
- 4) propriedade: os produtores assumem a responsabilidade física e econômica; e
- 5) informação: ele é responsável por fornecer informações sobre o produto ou seus efeitos nas diferentes fases do seu ciclo de vida.

³⁶ STOCKDALE, M. **Used reclaim rubber in rubber products**. [mensagem pessoal]. Enviado por: <mike.stockdale@veyance.com> recebida em: 12 dez. 2010.

7.4 LOGÍSTICA DIRETA

Em 1838, o Barão de Jomini utilizou a expressão logística pela primeira vez (RAZZOLINI; BERTÉ, 2009). A logística é parte integrante do nosso dia a dia. O termo logística vem do Francês “*logis*” que significa habitação, originalmente a arte de organização do transporte, reabastecimento do estoque (LANGEVIN; RIOPEL, 2005)

A palavra logística é utilizada na área militar para representar a aquisição, manutenção transporte de materiais, facilidades e pessoal. Na área comercial, é usada para expressar “[...] o planejamento e a gestão dos serviços relativos à documentação, manuseio, armazenagem e transferência dos bens objeto de uma operação de comércio nacional ou internacional” (NOVAES, 2007, p.35).

A partir de 1960, o termo logística tem sido utilizado na área de negócios para se referir aos meios e métodos relacionados à organização física de uma empresa, fluxo de materiais antes, durante e após a produção. Atualmente, é conhecido como o gerenciamento da cadeia de abastecimento e também inclui as atividades de serviço (NOVAES, 2007).

Segundo o Council of Logistics Management (1993):

A logística é o processo da cadeia de suprimentos que planejam, estruturam e controlam, de forma eficiente e eficaz, o fluxo e armazenamento dos bens, dos serviços, e da informação relacionada, desde o ponto de origem até o ponto de consumo, para satisfazer o requisito do cliente (COUNCIL OF LOGISTICS, 1993, tradução nossa).

A logística para Ronald H. Ballou é a capacidade administrativa que:

[...] pode prover melhor nível de rentabilidade nos serviços de distribuição aos clientes e consumidores, através de planejamento, organização e controle efetivos para as atividades de movimentação e armazenagem que visam facilitar o fluxo dos produtos” (BALLOU, 1993, p.17).

Em 1993, esse autor já demonstrava preocupação com a geração de resíduos sólidos em função do aumento da população, industrialização, crescimento do uso de embalagens e produtos descartáveis, que indicavam uma despreocupação com a reciclagem no final da vida útil. Os canais de retorno para esses produtos são pouco desenvolvidos e eficientes e as empresas tendem a não utilizar os materiais

reciclados devido ao custo de aquisição ser maior quando comparado a matérias-primas virgens. Isso demonstra o descaso com a utilização de resíduos sólidos como fontes de matéria-prima.

Logística Direta dos Pneus no Brasil

Em todo o país, os fabricantes de pneus instalaram suas fábricas próximas aos fabricantes de equipamento original (EO) e montadoras. Existem 14 plantas de fabricação de pneus radiais, convencionais ou diagonais para diversas aplicações, conforme a tabela 18.

Tabela 18 – Fabricantes de pneus no Brasil a partir de 1939.

| Fabricante | Produtos | Início da Produção | Localização |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|
| Bridgestone | Pneus de caminhões, ônibus, agrícolas, industriais e fora de estrada | 1939 | Santo André - SP |
| Goodyear | Pneus de ônibus e caminhões convencionais / diagonais, trator e avião | 1939 | São Paulo - SP |
| Pirelli | Pneus de caminhões. | 1941 | Santo André - SP |
| Maggion | Pneus de motocicletas, agrícolas, industriais, caminhão, de automóvel, câmaras de ar. | 1942 | Guarulhos - SP |
| Levorin | Pneus para bicicletas, motocicletas, industriais e materiais de reforma | 1943 | Guarulhos - SP |
| Pirelli | Pneus de automóvel e caminhões, SUVs e Vans | 1953 | Campinas - SP |
| Rinaldi | Pneus para motocicletas, agrícolas, industriais, tração animal e uso militar | 1969 | Bento Gonçalves - RS |
| Goodyear | Pneus esportivos, de automóveis, fora de estrada, ônibus e caminhões radiais, vans e utilitários, industriais, pick ups e SUVs | 1973 | Americana - SP |
| Pirelli | Pneus de automóveis, caminhões e motocicletas | 1986 | Feira de Santana - BA |
| Michelin | Pneus de automóvel e camionetes | 1998 | Itatiaia - RJ |
| Pirelli | Pneus de caminhões e motocicletas | 2006 | Gravataí - RS |
| Continental | Pneus de automóveis e camionetes | 2006 | Camaçari - BA |
| Bridgestone | Pneus de automóveis e camionetes | 2007 | Camaçari - BA |
| Michelin | Pneus de caminhões, ônibus, câmaras de ar, protetores para caminhões e ônibus; e bandas de rodagem | 2008 | Campo Grande - RJ |

A Pirelli, com fábricas em Santo André - SP e Campinas - SP, produz os pneus e envia parte da produção para os fabricantes de EO e as montadoras. O restante dos pneus são enviados para o Centro de Distribuição (CD), em Barueri-SP, que tem capacidade de estocagem para 30 dias de produção. Posteriormente, é feita a logística para a entrega dos pneus nos distribuidores e revendas. Além disso, a empresa possui uma fábrica em Feira de Santana – BA, para atender as Regiões Norte e Nordeste.

No caso da Goodyear, existem duas fábricas. Uma em São Paulo - SP, que produz pneus convencionais, agrícolas radiais e que faz a recauchutagem de pneus de aviões. Na fábrica de Americana - SP, produz os pneus radiais e fora de estrada. Os pneus são fabricados e estocados temporariamente em depósitos dentro das fábricas. A empresa atende diretamente os fabricantes de EO, montadoras e distribuidores em todo o país.

A Michelin fabrica pneus em Itatiaí - RJ e em Campo Grande - RJ e faz importação dos pneus de outras fábricas do grupo para completar a linha de produtos. Atende diretamente os fabricantes de EO e as montadoras. Os pneus importados são enviados para os distribuidores, que ficam encarregados da distribuição em revendas, supermercados, entre outros.

Os fabricantes importam os pneus de outras fábricas no exterior para atender à demanda interna, já que não fabricam toda a linha de pneus no país.

O mercado é dividido em pneus radiais e convencionais / diagonais. A produção de pneus convencionais / diagonais representa 26% e radiais, 74%.

O diagrama de blocos do processo de logística direta dos fabricantes é apresentado na figura 37.

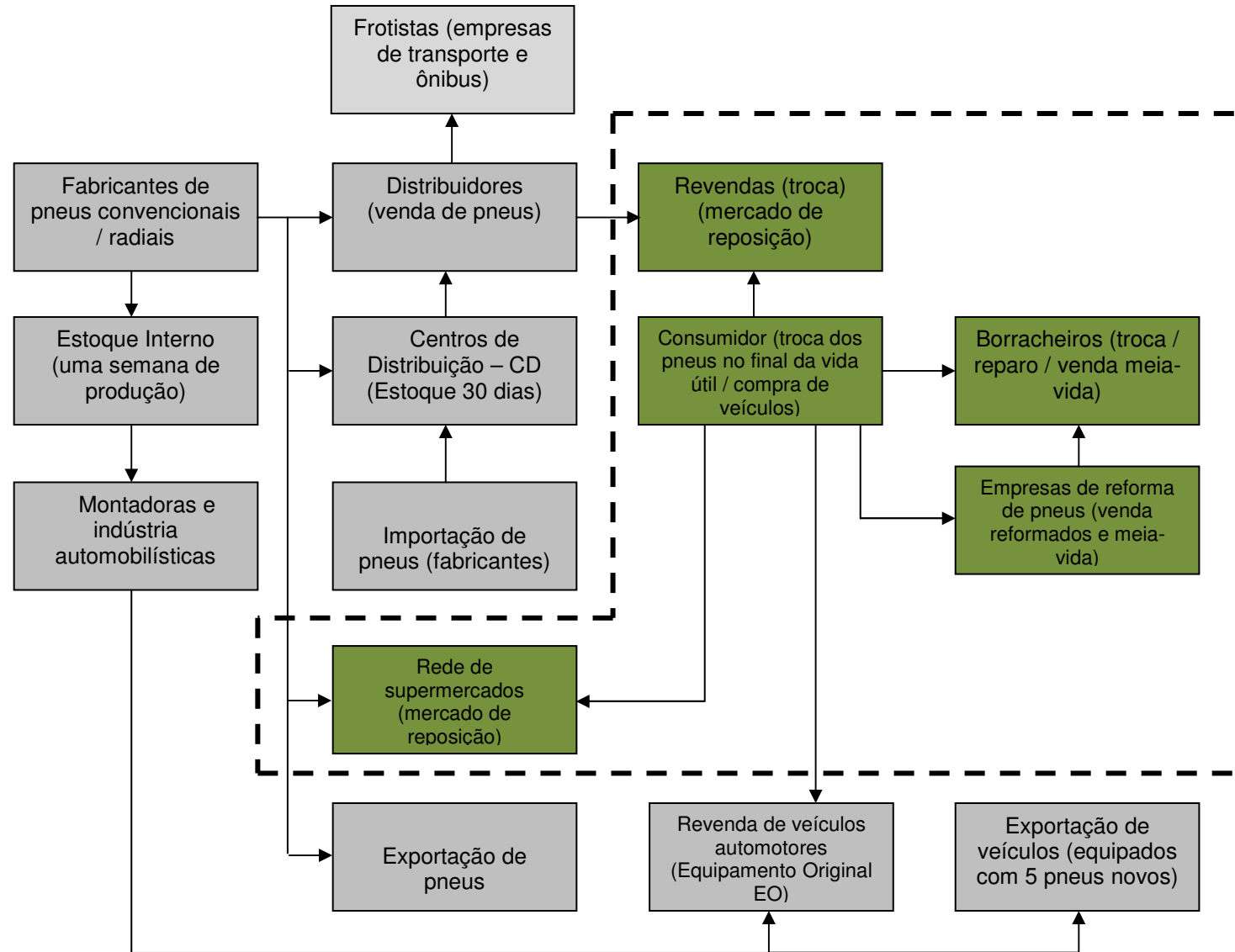


Figura 37 – Diagrama de blocos do processo de logística direta dos fabricantes de pneus.

No Brasil, a Associação Brasileira das Revendas de Pneus (ABRAPNEUS), possui os dados do segmento de vendas no mercado de reposição de pneus por estados e regiões geográficas, porém, apesar de várias solicitações, não informou a distribuição dos pneus.

A participação das indústrias de pneus no mercado Brasileiro é dividida em EO e mercado de reposição (MR). A tabela 19 apresenta os dados referentes à participação do mercado em 2010 e as previsões para 2011 e 2012.

Tabela 19 – Participação da indústria de pneus em 2010 e previsão para 2011 e 2012 (%).

| Mercado | 2010 | 2011 | 2012 |
|-----------------|------|------|------|
| EO - Comercial | 20,4 | 21,1 | 23,2 |
| EO - Consumidor | 33,8 | 34,2 | 33,9 |
| MR - Comercial | 24,5 | 22,7 | 22,5 |
| MR - Consumidor | 17,7 | 16,8 | 16,8 |
| Total EO | 54,2 | 55,3 | 57,1 |
| Total MR | 42,2 | 39,5 | 39,3 |
| Total | 96,4 | 94,8 | 96,4 |

A empresa Trelleborg do Brasil importa os pneus novos de suas fábricas na China, Itália, Índia, Rússia e Sirilanka para atender o mercado de EO, montadoras e MR no Brasil. Os pneus são importados para aplicações industriais, agrícolas e pneus fora de estrada. Os pneus ficam estocados temporariamente em um depósito ou são entregues diretamente nos distribuidores e revendas.

7.5 LOGÍSTICA REVERSA

O conceito de logística reversa surgiu há muito tempo. Em 1970, surgiram definições como canais reversos ou fluxo reverso que apareceram na literatura científica, mas eram relativos à reciclagem.

No Brasil, a logística reversa, um novo conceito na logística empresarial, surgiu na década de 90, quando foi reconhecido pelos profissionais de logística que matérias-primas, componentes e suprimentos representavam custos significativos e

deveriam ser administrados de forma adequada, quando do seu retorno de pós-venda ou pós-consumo.

A logística reversa está associada ao retorno de produtos pós-venda para a reforma, reparos, remanufatura, substituição de materiais e pós-consumo para a reutilização, reciclagem, valorização energética e disposição final dos produtos no fim da vida útil.

Segundo Dekker (2001), existem cinco tipos de retorno de produtos e serviços:

- 1) retrabalho durante a fabricação de um produto ou serviço;
- 2) retornos comerciais para novas vendas ou remanufatura, devido ao excesso de estoque, produto vencido ou retorno dos clientes;
- 3) retorno em garantia, para reparo, remanufatura, avaliação técnica com a posterior troca do produto;
- 4) retorno final de uso nos contratos de *leasing*, máquinas e equipamentos alugados; e
- 5) retorno no final da vida útil para a remanufatura, reutilização, reciclagem ou valorização energética.

O pós-venda e o pós-consumo ganham importância nas estratégias de sustentabilidade e no crescimento dos negócios das empresas. A partir da aprovação de legislações restritivas com relação à disposição final dos produtos no fim da vida útil nos países do primeiro mundo e emergentes, algumas empresas aceitam previamente o retorno dos seus produtos dos consumidores finais, para uma possível reutilização, reciclagem no seu ciclo produtivo ou em outros ciclos, ou mesmo para a disposição final.

O Council of Logistics Management (1993) publicou a primeira definição conhecida para a logística reversa no início dos anos 90, definindo-a como um termo utilizado com regra para a logística da reciclagem, disposição de resíduos, gerenciamento de resíduos perigosos. Uma ampla perspectiva incluindo tudo relacionado às atividades logísticas e recursos para a redução, reciclagem, substituição, reutilização dos materiais e disposição.

Em 1993, o CLM definiu a logística reversa como um amplo termo relacionado às habilidades e atividades envolvidas no gerenciamento de redução, movimentação e disposição de resíduos de produtos e embalagens.

O Council of Supplier Chain Management Professionals (2010) define a logística reversa como o segmento especializado da logística focado na movimentação e gerenciamento do produto e recursos pós-venda ao cliente, incluindo o retorno de produtos para reparos ou créditos.

O grupo de trabalho europeu sobre a logística reversa (Revlog), definiu-a como o processo de planejamento, implementação e controle dos fluxos de materiais no processo de estoque e produto acabado, desde a fabricação e distribuição ou do ponto de utilização ao ponto de recuperação ou ponto para a disposição final (EUROPEAN WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS, 2010).

Roggers e Tibben-Lembke (1998) definiram a logística reversa como o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência, custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques, produtos acabados e informações relativas do ponto de consumo até a origem, com o propósito de recuperar o valor ou adequar o seu destino.

Pochampally, Nukala e Gupta (2009) definiram a cadeia reversa como uma série de atividades necessárias à coleta de produtos usados dos consumidores, reprocesso e recuperação para recuperação de seu valor residual no mercado ou para a disposição.

Segundo Paulo Roberto Leite (2009), a logística reversa é definida como o fluxo de materiais de pós-consumo até a sua reintegração ao ciclo produtivo, na forma de um produto equivalente ou diverso do produto original, ou retorno do bem usado ao mercado.

Pode-se observar na figura 38, o processo de logística direta e reversa simplificado. Na logística reversa alguns resíduos pós-consumo retornam para o ciclo de negócios, ou seja, para os fabricantes ou venda como produtos meia-vida, outros são destinados para a reforma, reciclagem ou valorização energética. Os materiais perigosos têm processamento e destinação especial. O aterro é utilizado quando são esgotadas todas as possibilidades de reciclagem ou valorização energética dos resíduos.

A logística reversa é um dos principais processos dentro da cadeia de reciclagem, que viabiliza economicamente e mantém a constância em toda a cadeia, seja ela para o processo de reutilização, reciclagem ou valorização energética. No caso dos pneus, a maior dificuldade é a realização da coleta e do transporte, pois

em muitos casos, esses pneus estão localizados em regiões de difícil acesso, o que torna o processo inviável do ponto de vista econômico pelo custo logístico.

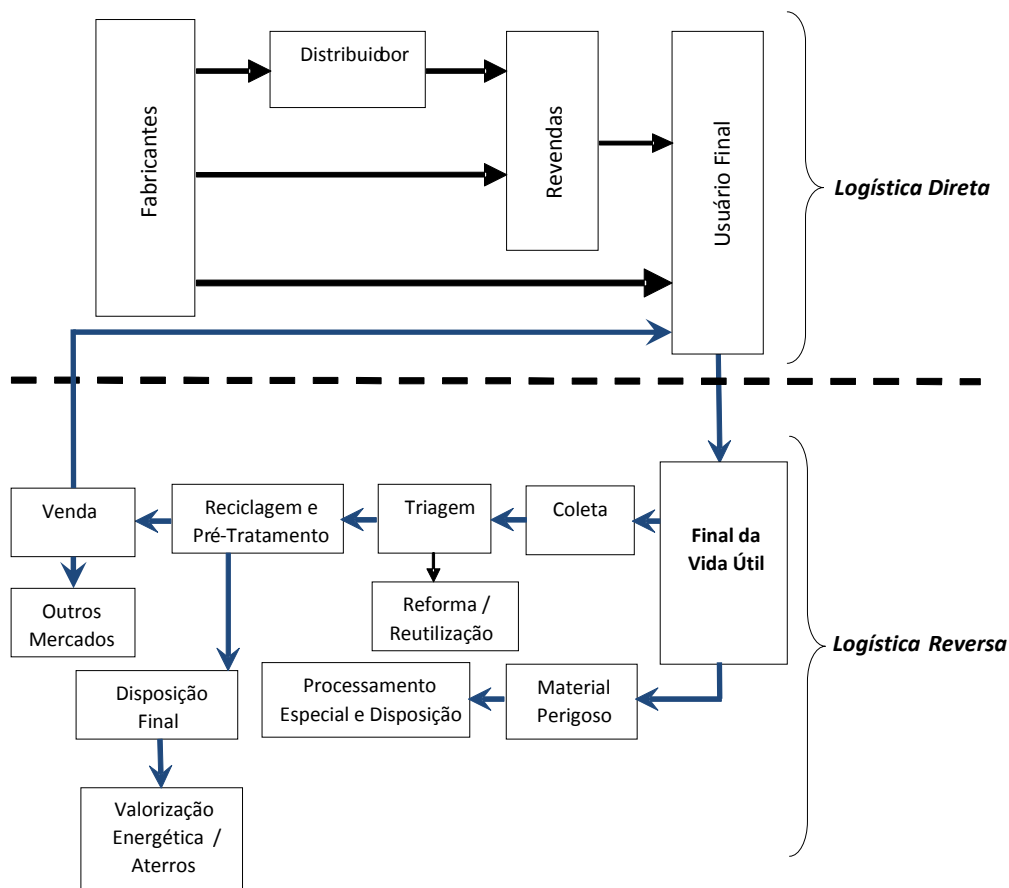


Figura 38 – Diagrama de blocos simplificado do processo de logística direta e reversa. Referência: Adaptado pelo autor com dados de Pochampally, Nukala e Gupta (2009)

Comparativo entre a Logística Direta e Reversa

Um comparativo entre a logística direta e reversa é feito na tabela 20.

Tabela 20 - Comparação entre a logística direta x reversa.

| Logística Direta | Logística Reversa |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Produto com qualidade uniforme | Produto com qualidade não uniforme |
| Opções bem definidas para a disposição | Opções de disposição não são claras |
| Rotas de produtos não ambíguos | Rotas de produtos ambíguos |
| Custos de distribuição conhecidos | Custos da logística reversa pouco conhecidos |
| O preço do produto uniforme | O preço do produto não uniforme |
| Gerenciamento de inventário consistente | Gerenciamento do inventário não é consistente |
| Ciclo de vida do produto gerenciável | Ciclo de vida do produto sem gerenciamento |
| Gerenciamento financeiro bem definido | Gerenciamento financeiro não está definido |
| Facilidade na identificação do tipo de consumidor e mercado | Dificuldade para identificar o tipo de consumidor e mercado |
| Previsões relativamente simples | Previsões complicadas |
| Métodos de Marketing bem conhecidos | Marketing complexo sob diversos fatores |
| Transporte de um para muitos | Transporte de muitos para um |
| Facilidade na negociação entre as partes | Dificuldade para a negociação entre as partes |
| Mercado desenvolvido | Mercado para a utilização de produtos reciclados em desenvolvimento |
| Consumidor exigente com relação a prazo de entrega, qualidade do produto e durabilidade | Aumento da conscientização por parte do consumidor com relação à disposição dos produtos no final da vida útil |
| Impostos cobrados sobre a produção, vendas e distribuição | Não existe nenhum incentivo do governo para a utilização de produtos reciclados. São cobrados impostos sobre o processo de reciclagem dos pneus inservíveis |
| Consumidor paga pelo produto e logística | Fabricantes e importadores financiam todo o processo de logística reversa |
| Gera receita para os fabricantes, distribuidores, revendas e empresas de logística | Não gera receita (cadeia com valor negativo). Algumas empresas utilizam os produtos reciclados para a substituição da matéria-prima ou como combustível alternativo e cobram pela sua utilização |
| Compra do pneu e serviço para a troca dos pneus nos distribuidores e revendas | Os pneus, quando deixados pelos consumidores, são estocados para posterior destinação. Alguns consumidores não deixam os pneus usados para que seja feita a reciclagem |
| Espaços projetados para a produção e estocagem nas fábricas; estocagem e venda nos distribuidores e revendas em função de históricos de vendas e previsões do mercado | Não existe histórico para o desenvolvimento de espaços para estocagem, previsão e frequência para a coleta e destinação |
| Produção, estocagem e transporte, conforme normas e procedimentos | Necessita de legislação ambiental para que seja feita a logística reversa |
| Atividade Regulamentada | Falta de regulamentação para a reutilização e valorização energética. |
| Software específico para o gerenciamento | Baseado em histórico e previsões |

Referência: Adaptado pelo autor com dados de Pochampally, Nukala e Gupta (2009)

7.6 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NA EUROPA

Foram produzidos 355 milhões de pneus na Europa em 2008, 24% da produção mundial. A reciclagem passou de 6%, em 1994, para 95%, em 2008, sendo que 16 países membros da Comunidade Européia são gerenciados pelo sistema de responsabilidade do fabricante e importador (CINARALP, 2009; EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2010).

Em 2008, foram reciclados 3,281 milhões de toneladas de pneus inservíveis, com taxa de reciclagem de 95% dos países membros da Comunidade Européia (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009a).

No mesmo ano, a disposição final dos pneus pelos países membros da Comunidade Européia foi: 39% para a reciclagem de material; 37% para a valorização energética; 10% para o processo de reforma; 8% para reutilização e exportação e 6% para aterros (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009a).

A indústria de pneus acredita que a responsabilidade pelos pneus usados deve ser dividida igualmente entre todos os operadores econômicos e a população, que se beneficia com a utilização dos pneus. Cada operador econômico exerce o controle da distribuição do produto usado e do processo para os pneus no final da vida útil. A figura 39 mostra o modelo de logística reversa implantado em alguns países da Comunidade Européia, cada país membro adaptou esse modelo em função do seu mercado.

Desde 1994, as tendências de diferentes opções de reciclagem e utilização evoluíram significativamente (CINARALP, 2009; EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009a):

- foi utilizada, em 2008, 1,24 milhões de toneladas de pneus inservíveis, sendo: 25% utilizados em obras de engenharia civil, tais como: fundação de rodovias, obras de drenagem e barreiras para a prevenção de erosões; 75% utilizados em pisos nos playgrounds, quadras, impermeabilizações dos telhados, entre outros;
- a utilização dos pneus para valorização energética aumentou de 11% para 37% em 2008. Foram utilizados 1.209.000 toneladas de pneus inservíveis,

sendo 25% para a geração de energia e incineração com outros resíduos, e 75%, como combustível alternativo;

- a recauchutagem de pneus ficou estável por volta de 10%;
- a disposição de pneus triturados em aterros sofreu uma redução de 62%, em 1992, para 6%, em 2008.

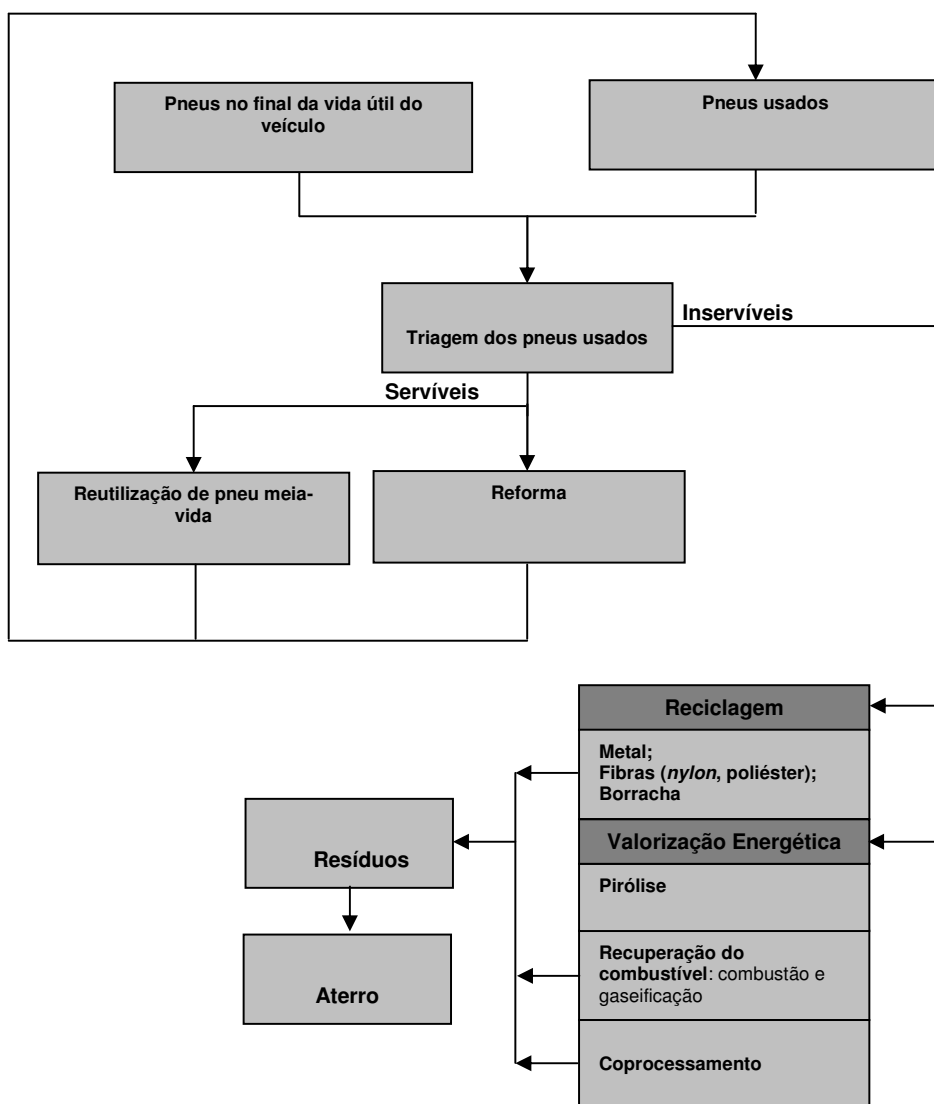


Figura 39 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos países membros da Comunidade Européia.

Referência: Adaptado pelo autor com dados de European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2009a)

No período de 1992 a 2008, ocorreu uma redução na quantidade de pneus destinados para aterros na Europa após a aprovação da diretiva 1999/31/CE, de 26 de abril de 1999, conforme a figura 40.

Dentro desses países, os produtores delegaram a responsabilidade a empresas que fazem o gerenciamento dos pneus usados. Essas empresas são responsáveis pela coleta, recuperação e destinação final dos pneus. Os pneus usados são destinados para diversas aplicações na Europa (CINARALP, 2009), entre elas:

- utilização como combustível devido a seu alto poder calorífico e com baixa porcentagem de enxofre, quando comparado ao carvão. Uma tonelada de pneu usado é equivalente a uma tonelada de carvão de boa qualidade e 0,7 tonelada de óleo combustível. Utilizado em usinas termoelétricas, caldeiras industriais e unidades de incineração;
- os pneus inservíveis triturados podem ser utilizados em fornos de arco elétrico, isso porque contêm o carbono necessário para a produção do aço;
- os pneus inservíveis podem ser utilizados inteiros para suporte de estruturas, drenagem e manutenção de tanques utilizados na agricultura;
- utilização em obras de engenharia civil, como proteção de encostas, barreiras para erosão, recifes artificiais, quebra-mar, construção de aterros, barreiras para a redução do ruído, isolamento, entre outras;
- os pedaços de pneus são utilizados em mantas absorvedoras de ruído e vibrações em ferrovias e solas de sapato, entre outras aplicações.

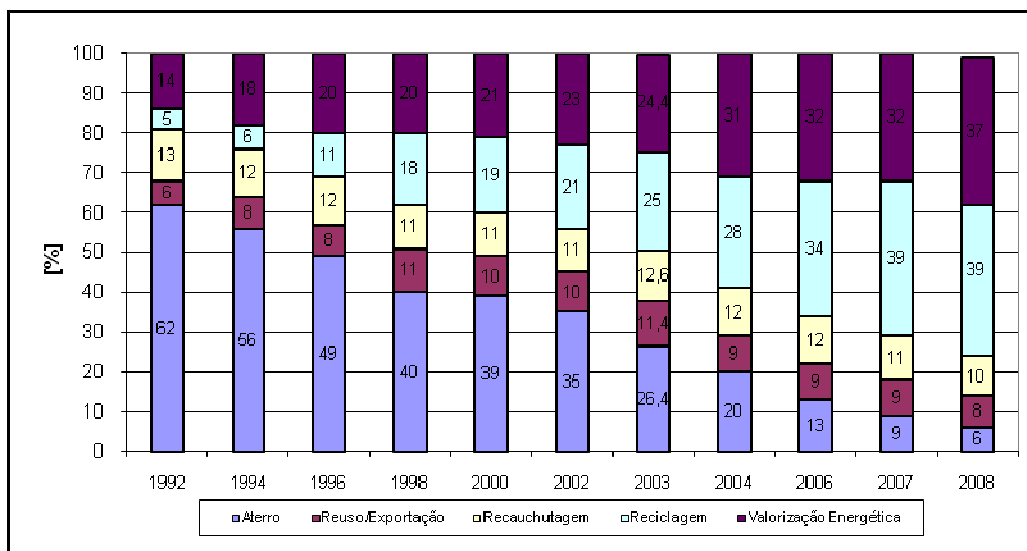


Figura 40 - Reciclagem de pneus na Europa no período de 1992 a 2008.
Referência: European Tyre & Rubber Manufacturers Association (2009a)

Os pneus são triturados mecanicamente em chips de 25 a 300 mm. São utilizados como agregados em fundações de rodovias e ferrovias, como material de drenagem substituindo a areia e em construção de aterros sanitários. A vantagem da utilização de pneus inservíveis triturados como agregado: são de 30% a 50% mais leves quando comparados aos agregados convencionais.

Após a remoção do aço e das fibras têxteis, a borracha é reduzida a pó. É muito utilizado em produtos moldados, pisos para playgrounds, material absorvente de impactos nos pisos em escolas, tijolos para pátios, isolante para piscinas, materiais para forros.

Os pneus são utilizados em obras de geotecnia para contenção de encostas e, quando triturados, podem ser aproveitados em obras de drenagem, conforme as figuras 41 e 42. Na aplicação dos pneus inservíveis em obras de geotecnia, o costado dos pneus são cortados e amarrados uns sobre os outros, com cordas de polipropileno, evitando com isso a sua movimentação.

Outra possibilidade é a utilização dos pneus inservíveis em fornos de arco elétrico e alto-forno, em substituição ao carvão e aos resíduos de aço. Esta aplicação já foi validada em indústrias da Bélgica e na França, nas quais mais de 7.000 toneladas de pneus inservíveis já foram utilizadas. O que encoraja a utilização dos pneus inservíveis é a quantidade de carbono e aço. A figura 43 apresenta o uso

dos pneus triturados em substituição ao carvão e aos resíduos de aço no processo de redução de sucata.

Um estudo realizado pela França para o aproveitamento de pneus usados na fabricação do aço confirma que o aço e o carbono contidos nos pneus podem substituir, totalmente ou parcialmente, o carvão na fabricação do aço a 1650 °C, com a seguinte proporção: 1,7 kg de pneus inservíveis é o equivalente a 1 kg de carvão. Os impactos ambientais são positivos referentes a poeiras e efluentes gasosos. Não existem diferenças de impactos ambientais quando comparado ao carvão. (CLAUZADE ,2009).

A pirólise e a gaseificação são tecnologias para a recuperação dos pneus usados. A pirólise envolve a termo-decomposição em substâncias intermediárias como óleo, gás e enxofre. Não é viável a utilização desse processo na Europa, em função dos custos do processo em relação ao preço de venda dos produtos recuperados. Existem poucas empresas e em pequena escala de operação.

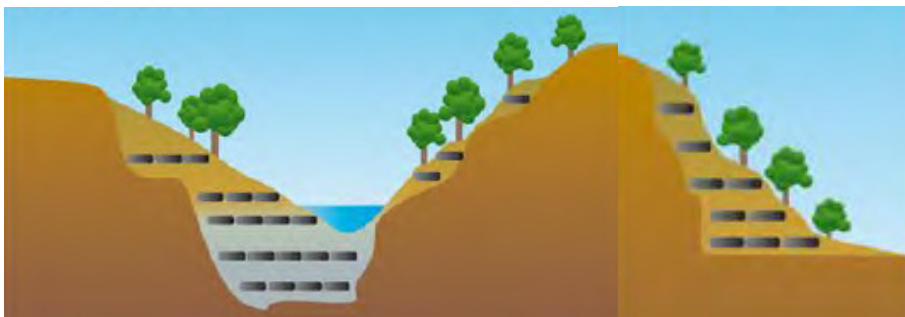


Figura 41 – Utilização de pneus inservíveis inteiros em obras de contenção de encostas. Referência: Morreto e Clauzade (2009)

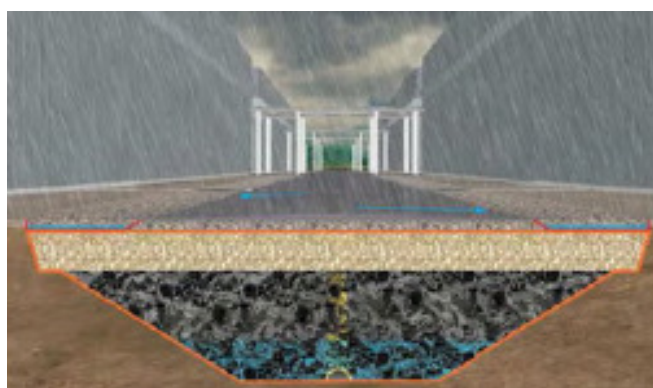


Figura 42 – Utilização de pneus triturados em obras de drenagem. Referência: Clauzade (2009)



Figura 43 – Utilização de pneus inservíveis triturados no processo de redução da sucata de aço.

Referência: Clauzade (2009)

7.6.1 Logística reversa dos pneus usados em Portugal

Em Portugal, a primeira e a mais importante etapa do processo de reciclagem de pneus inservíveis é a coleta. Existem várias alternativas para a coleta desses pneus: desde a utilização da logística de distribuição de pneus novos, até a criação de “pontos verdes” para coletar os pneus usados contando com a participação de empresas municipais ou estaduais. A maneira selecionada dependerá da localização da unidade e da proximidade com os centros urbanos e depósitos de pneus usados (PRADO FILHO, 2002).

Desde abril de 2001 (PORTUGAL, 2001), os responsáveis pela coleta, transporte e destino final dos pneus inservíveis são os fabricantes e importadores. Existe uma empresa responsável pelo sistema de coleta e destinação final dos pneus usados em todo o país. As metas para coleta e destinação final são apresentadas na tabela 21.

Tabela 21 – Metas para coleta e destinação final em Portugal entre 2003 e 2013.

| Destinação | 2003 | 2007 | 2009 a 2013 |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Coleta | 85% | 95% | 96% |
| Recauchutagem | 25% dos pneus servíveis coletados | 30% dos pneus servíveis coletados | 27% dos pneus servíveis coletados |
| Reciclagem | 60% dos pneus coletados inservíveis | 65% dos pneus coletados inservíveis | 69% dos pneus coletados inservíveis |
| Valorização energética | 15% dos pneus coletados inservíveis | 5% dos pneus coletados inservíveis | 4% dos pneus coletados inservíveis |

Referência: Sociedade de Gestão de Pneus (2010); Associação Nacional de Conservação da Natureza - Quercus (2011)

Em 2003, foram recolhidos 86,4% dos pneus servíveis e inservíveis, ou seja, 59 mil toneladas, dos quais 32,2% foram recauchutados. Dos pneus recolhidos e não recauchutados, 75,4% foram reciclados; 22,9% valorizados energeticamente e 1,8% enviados para aterro (SOCIEDADE DE GESTÃO DE PNEUS, 2010).

A reforma e a reutilização de pneus são consideradas nas estatísticas de reciclagem de pneus. Em 2009, foram coletadas 86.959 toneladas de pneus inservíveis.

Os produtores ou importadores pagam à empresa que faz o gerenciamento dos pneus em função das quantidades de pneus colocadas no mercado de reposição. A taxa, ou ecovalor, varia em função da categoria do pneu: de US\$ 0,13 para o pneu de moto a US\$ 48,3 para o pneu fora de estrada com diâmetro externo acima de 609 mm. As entidades públicas ou privadas podem entregar qualquer tipo e quantidade de pneus nos pontos de coleta livres de encargos.

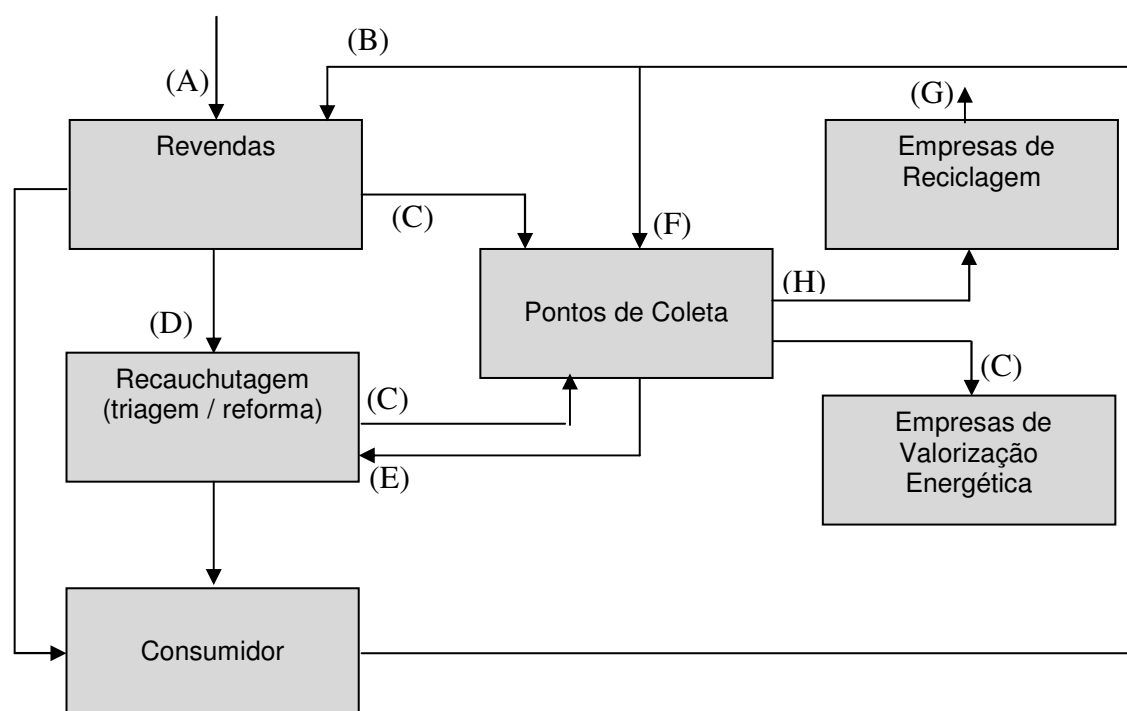
Essa taxa financia os programas de coleta, reciclagem e valorização energética em todo o país. A diferença existente entre os pneus coletados conforme metas previamente estabelecidas e os pneus destinados é gerada pelo mercado paralelo de pneus novos existente no país. Isso dificulta o gerenciamento pela falta de pagamento da taxa, que é paga no momento da troca.

O sistema de gerenciamento apresenta três áreas de custos, chamados de custos de contrapartida, que são pagos aos pontos de coleta pelos serviços de coleta e armazenamento, pelo transporte dos pontos de coleta até as empresas recicladoras, e para as empresas que fazem a reciclagem e a valorização energética do resíduo.

O diagrama de blocos da logística reversa dos pneus usados em Portugal é apresentado na figura 44 (SOCIEDADE DE GESTÃO DE PNEUS, 2010). Abaixo será descrito o processo de logística reversa:

- a primeira interface do sistema é o ponto de coleta que deve aceitar, sem nenhum encargo, qualquer tipo de pneu usado, seja servível ou inservível;
- os distribuidores podem levar os pneus usados para os pontos de coleta e recauchutadores;
- os recauchutadores levam aos pontos de coleta, sem qualquer custo, os pneus usados classificados como inservíveis detectados no processo de triagem dos pneus para reforma. Nesse mesmo local, poderão obter os pneus servíveis para a recauchutagem;

- os pontos de coleta são locais de armazenamento temporário de pneus usados. Eles funcionam a montante das empresas de reciclagem e valorização energética. Os objetivos dos pontos de coleta são: controlar e quantificar todos os fluxos de pneus usados encaminhados para a valorização energética e outros destinos e disponibilizar uma rede de coleta distribuída uniformemente em Portugal;
- os recicladores e valorizadores energéticos fecham o ciclo da logística reversa, recebendo os pneus inservíveis provenientes dos pontos de coleta e processando-os em granulado e pó de borracha, dando destino à reciclagem ou valorizando energeticamente. O custo de contrapartida do ponto de coleta é de US\$ 27,7 por tonelada de pneus inservíveis.



Legenda:

- | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------------|
| (A) – Pneus usados recolhidos no momento da troca. | (B) – Pneus usados recolhidos; |
| (C) – Pneus inservíveis; | (D) – Pneus usados; |
| (E) - Pneus servíveis; | (F) – Entrega voluntária; |
| (G) – Pó de borracha; | (H) – Pneu inservível. |

Figura 44 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa em Portugal.
Referência: Adaptada pelo autor com dados da Sociedade de Gestão de Pneus (2010)

Em 2009, existiam quatro pontos para a destinação dos pneus, sendo duas empresas recicladoras e duas empresas que faziam a valorização energética. As empresas de reciclagem recebem os pneus inservíveis inteiros ou cortados e fazem o pré-tratamento por meio do processo mecânico ou criogênico, no qual é separado o aço da banda de rodagem e talões, das fibras têxteis (*nylon*, *rayon* ou poliéster), transformando o pneu inservível em pó de borracha, que é vendido para diversas aplicações, tais como: asfalto-borracha, campos de futebol sintéticos, parques infantis, entre outros.

As empresas que fazem a valorização energética recebem o pneu inservível inteiro com o qual alimentam o forno rotativo de clínquer. No processo de incineração, os gases de combustão são aproveitados para a geração de vapor e energia (SOCIEDADE DE GESTÃO DE PNEUS, 2010).

Em 2009, foi atendida a meta de reciclagem e, com os excedentes, a taxa de coleta foi de 103%. A figura 45 compara as metas de reciclagem em Portugal e a média dos países membros da Comunidade Europeia.

Em 2009, estavam cadastrados 1.109 produtores e importadores de pneus novos e usados, com 5.272 pontos de geração e 49 pontos de coleta.

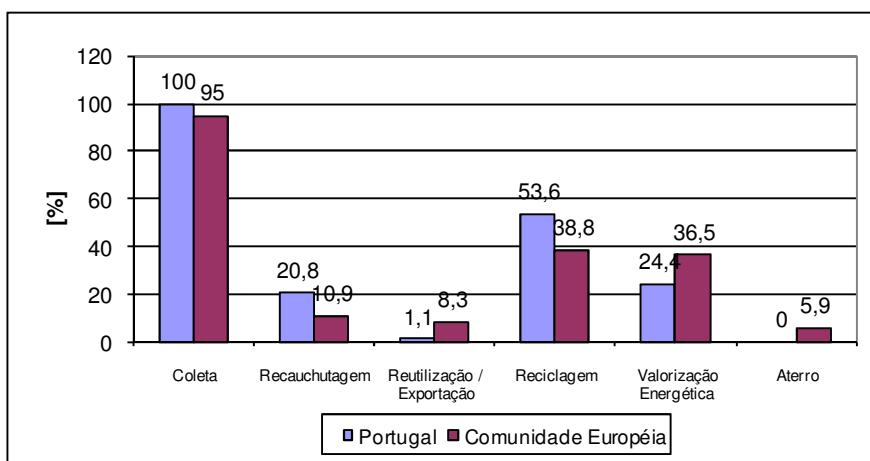


Figura 45 – Metas para reciclagem de pneus em Portugal x países membros da Comunidade Europeia em 2009 (%).

Referência: Sociedade de Gestão de Pneus (2010)

A reciclagem de pneus servíveis e inservíveis no período de 2003 a 2009, é apresentada na figura 46. Pode-se observar a tendência de aumento da reciclagem

de pneus inservíveis e diminuição da valorização energética, conforme metas fixadas. Desde 2006, não são enviados pneus para aterros.

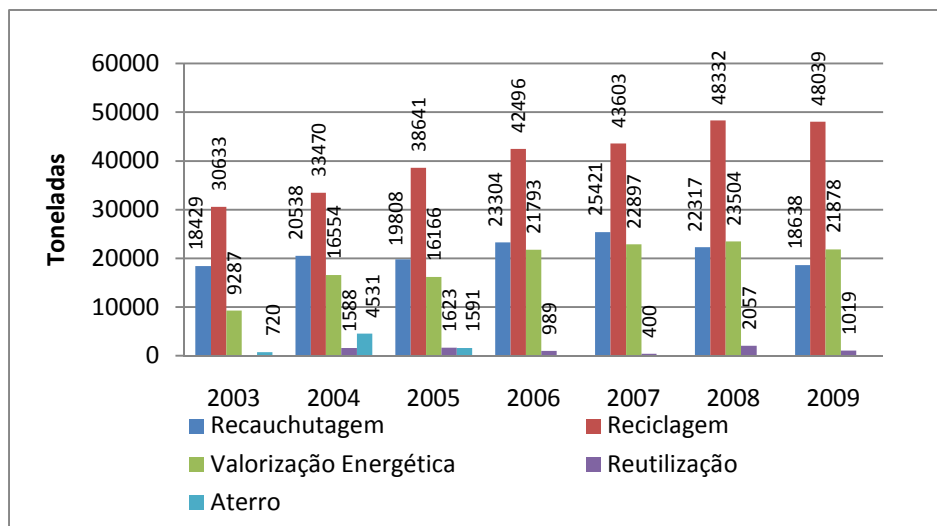


Figura 46 – Reciclagem de pneus em Portugal no período de 2003 a 2009. Referência: Sociedade de Gestão de Pneus (2010)

7.6.2 Logística reversa dos pneus usados na França

Na França, após a aprovação do Decreto nº 2002-1563, de 24 de dezembro de 2002, os fabricantes e importadores foram obrigados a dar disposição aos pneus usados. Ocorreu um grande avanço na cadeia de coleta, reciclagem, valorização energética e pesquisa para o desenvolvimento de novas tecnologias e mercados para os produtos reciclados. Nesse Decreto são considerados como produtores os que fabricam, importam ou colocam os pneus no mercado de reposição (FILIÈRE DE VALORISATION DES PNEUS USAGÉS, 2009).

Do total reciclado em 2007, 41,7% foram utilizados como material reciclado; 29,4% foram valorizados energeticamente; 15,9% reutilizados e 13,9% utilizados em obras públicas, de um total de 294.198 toneladas, o equivalente a 41 milhões de pneus de automóvel (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION, 2009b).

Os fabricantes, importadores e distribuidores financiam a coleta e a reciclagem dos pneus. Os consumidores, no momento da troca dos pneus, pagam uma taxa que varia de € 1,14 para pneus de moto, scooter e derivados a € 35,88

para pneus agrícolas maiores que 732 mm. A base de cálculo é o mercado de reposição.

Em 2009, foram coletadas e destinadas 284.955 toneladas de pneus, o equivalente a 39,69 milhões de pneus de automóveis. Em 2009, 50% foram destinados para a valorização energética; 35%, para a reciclagem de material e 15% encaminhados para reutilização e reforma (FILIÈRE DE VALORISATION DES PNEUS USAGÉS, 2009).

O processo de logística reversa dos pneus na França é apresentado na figura 47. Abaixo segue a descrição do processo:

- o consumidor troca os pneus nos distribuidores e revendas. Os pneus usados são removidos e estocados em uma área definida;
- os pneus são coletados sem custo pela empresa que gerencia a reciclagem de pneus. Os pneus são carregados manualmente em carretas ou em caçambas, que são deixadas nas revendas e distribuidoras;
- os pneus são enviados para empresas que fazem a seleção e a triagem. Os caminhões são pesados no momento da entrega do material e após o descarregamento, é feito um registro para garantir a rastreabilidade do processo. É feita a seleção e a triagem dos pneus, classificados em servíveis e inservíveis. Os pneus servíveis são enviados para a recauchutagem ou vendidos como pneus meia-vida;
- os pneus inservíveis são entregues em empresas que fazem a trituração e estocam pneus inteiros e triturados para utilização como combustível alternativo na indústria de cimento. O pneu inteiro e triturado é enviado para o coprocessamento nos fornos de clínquer; utilizados como matéria-prima na indústria siderúrgica, em obras públicas, em obras de geotecnia, entre outras aplicações.

Na França, os métodos para a destinação de pneus são classificados como destrutivos e não destrutivos, sendo:

- o método destrutivo é aquele em que ocorre a valorização energética e a incorporação da matéria-prima no produto. Exemplos: coprocessamento

em fornos de clínquer, utilização de pneus para o reaproveitamento do aço e carbono em siderúrgicas e fundições;

- o método não destrutivo é aquele no qual ocorre a recuperação do material para a utilização como material de retenção, objetos moldados, grama sintética, pisos equestres, entre outros.

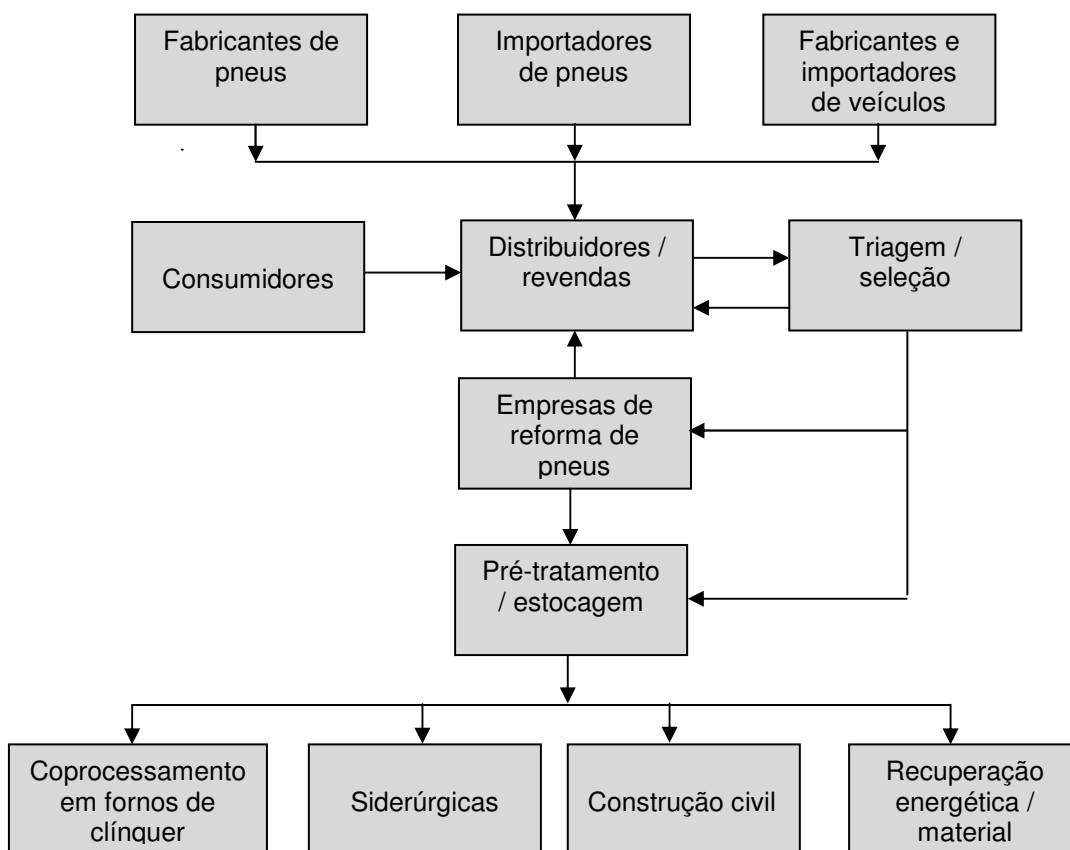


Figura 47 – Logística reversa dos pneus usados na França.

Referência: Adaptada pelo autor com dados da Filière de Valorisation des Pneus Usagés (2009)

7.6.3 Logística reversa dos pneus usados na Polônia

Na Polônia, os produtores e importadores são obrigados a recuperar e reciclar os pneus usados. Caso não ocorra o cumprimento dos requerimentos, os produtores e importadores devem pagar uma taxa. Essa legislação foi implementada em 2002. De acordo com a legislação, 75% dos pneus usados deveriam ser reformados, 15% reciclados e o restante utilizado como combustível alternativo. A indústria da recauchutagem de pneus é bem desenvolvida na Polônia, mas a atividade de reforma não é considerada uma atividade de reciclagem. Existem dois grandes produtores de borracha granulada. O granulado e o pó de borracha podem ser utilizados em diversas aplicações, mas não são atividades lucrativas. Além disso, existem duas pequenas fábricas que fazem a pirólise dos pneus.

Em 2008, foram geradas 203.000 toneladas de pneus usados, com as seguintes destinações: reforma, 3,9%; reciclagem de material, 21,2%; e valorização energética, 74,9% (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

7.6.4 Logística reversa dos pneus usados na Dinamarca

Na Dinamarca, a geração anual de pneus usados é de aproximadamente 40.000 toneladas, o equivalente a 8 milhões de pneus de automóvel (DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2010).

Em 1995, organizações representantes dos produtores, importadores, distribuidores e recicladores assinaram um acordo voluntário com o Ministério do Meio Ambiente. O acordo com a resolução sobre reciclagem de pneus entrou em vigor em abril de 1995 e previa alcançar uma taxa de coleta de 80% até o ano de 1997. O produtor e os importadores são os responsáveis pelo sistema de coleta e processamento dos pneus usados (DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000).

De acordo com essa resolução, os importadores e fabricantes de pneus devem pagar ao Ministério do Meio Ambiente uma taxa de US\$ 1,29 por pneu de

passageio e vans e de US\$ 3,23 a US\$ 12,9 por pneu de caminhões e ônibus a cada venda de pneus novos. Os coletores de pneus recebem US\$ 0,19 por tonelada de pneus de carro e van entregue às empresas que fazem o pré-tratamento e de US\$ 0,19 a 0,26 por tonelada de pneus de caminhão e ônibus entregues às empresas que fazem a valorização energética (DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000). Nenhum subsídio é concedido pelos pneus entregues para a reutilização, incluindo o processo de reforma.

Pela legislação, as empresas que fazem o pré-tratamento dos pneus devem triturar 75% em um tamanho que não exceda 1 mm. Os custos para a indústria e comércio pelo início da cobrança de uma nova taxa para pneus é da ordem de US\$ 3,23 milhões. O custo para coleta e disposição de pneus de caminhão, ônibus e fora de estrada é da ordem de US\$ 2,26 a US\$ 2,58 milhões. O volume total, coletado em 2004, foi de 42.609 toneladas, o equivalente a 8,5 milhões de pneus de automóveis (DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000).

O sistema de retorno dos pneus usados na Dinamarca é baseado nos seguintes objetivos: proibição da disposição em aterros; implantação do sistema de coleta e disposição voltados, prioritariamente, na reutilização, reciclagem de materiais e incineração com recuperação de energia; utilização de financiamento para a coleta e reutilização, adotando o princípio do poluidor pagador; proibição de transações ambientais como estocagem ilegal e aterro.

Os critérios para a escolha da responsabilidade e dos modelos financeiros são: incentivo ao desenvolvimento de projetos e construções ambientalmente corretas; minimização dos resíduos; taxa de coleta, infraestrutura existente e implantação de sistemas de triagem e coleta; taxas de recuperação e utilização do princípio do poluidor pagador.

As iniciativas a serem adotadas na Dinamarca são: exigência da coleta, reciclagem ou incineração com aproveitamento de energia dos pneus inservíveis de ônibus e caminhões; desenvolvimento de novas aplicações para a reciclagem do pó de borracha; campanhas informativas e elaboração de um guia de orientação ao público comprador de pneus.

Em 2008, foram geradas 43.000 toneladas de pneus, sendo que 2,32% foram exportadas, 2,32% encaminhadas para a reforma e 95,35% destinadas para reciclagem (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

7.6.5 Logística reversa dos pneus usados na Espanha

Na Espanha, o Decreto nº 1619/2005, de 30 de dezembro de 2005, estabelece o princípio da responsabilidade a todas as pessoas físicas ou jurídicas que produzem, importam ou colocam no mercado de reposição os pneus novos, responsabilizando-se pela gestão dos pneus usados, uma vez que se esgote qualquer possibilidade de reutilização para o fim para o qual foram fabricados. Além disso, são responsáveis pela prevenção, redução, reciclagem e a valorização energética.

Foram montados centros de coleta e triagem, armazenagem, preparação e valorização dos pneus usados. Os pontos de coleta não cobram nada pelo recebimento desse material. As empresas que enviam os pneus usados para os pontos de coleta devem estar cadastradas na empresa que faz o gerenciamento da logística reversa.

Os produtores e importadores devem informar a quantidade que foi colocada no mercado de reposição para facilitar a gestão e a cobrança de taxas.

Os produtores e importadores pagam taxas que variam de € 1,28 para pneus de moto e scooter a € 40,14 para pneus agrícolas maiores que 762 mm, pneus maciços entre 381mm e 609,6 mm pelo sistema de gestão dos pneus usados. Foram excluídos os pneus com mais de 1400 mm (SIGNUS SISTEMA INTEGRADO DE GÉSTION DE NEUMÁTICOS USADOS, 2010).

O diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados na Espanha é apresentado na figura 48. As etapas do processo são descritas abaixo:

- as revendas e distribuidores são locais no qual o consumidor troca os pneus usados por novos. Os pneus usados ficam retidos para posterior destinação;
- a empresa de coleta retira gratuitamente todos os pneus usados a pedido das revendas e distribuidores;
- no centro de coleta é feito o registro das informações dos pneus usados recolhidos e sua classificação. Durante o processo de seleção, os pneus são classificados em servíveis ou inservíveis. Os pneus servíveis são enviados para empresas de recauchutagem ou vendidos como pneus

meia-vida. Os pneus inservíveis são enviados para o centro de preparação e trituração ou para as empresas de reciclagem.

- no centro de preparação e trituração é feita a pesagem e o registro dos pneus usados recebidos no momento da entrada dos caminhões, para o controle da rastreabilidade de todo o processo. Os pneus são triturados em função das necessidades de sua aplicação. Os pneus triturados são utilizados no processo de valorização energética em fornos de clínquer e na indústria siderúrgica. Além disso, podem ser aproveitados em obras públicas e drenagens, entre outras aplicações;
- nas empresas de reciclagem é feita a pesagem e o registro dos pneus usados recebidos. Os pneus são triturados e durante o processo são separados o aço, as fibras têxteis de *nylon*, *rayon* e poliéster, e o pó de borracha. O aço da banda de rodagem e dos talões é retirado durante o processo de trituração e enviado para a indústria siderúrgica. O produto final desse processo é o pó de borracha que é utilizado em diversas aplicações, tais como: asfalto-borracha, pistas esportivas, gramado artificial, parques infantis, entre outras.

Em 2008, foram geradas 314.000 toneladas de pneus usados, sendo que 7,6% foram destinados à reutilização; 12,7%, para a reforma; 48,7%, para a reciclagem de material e 30,9%, para a valorização energética (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

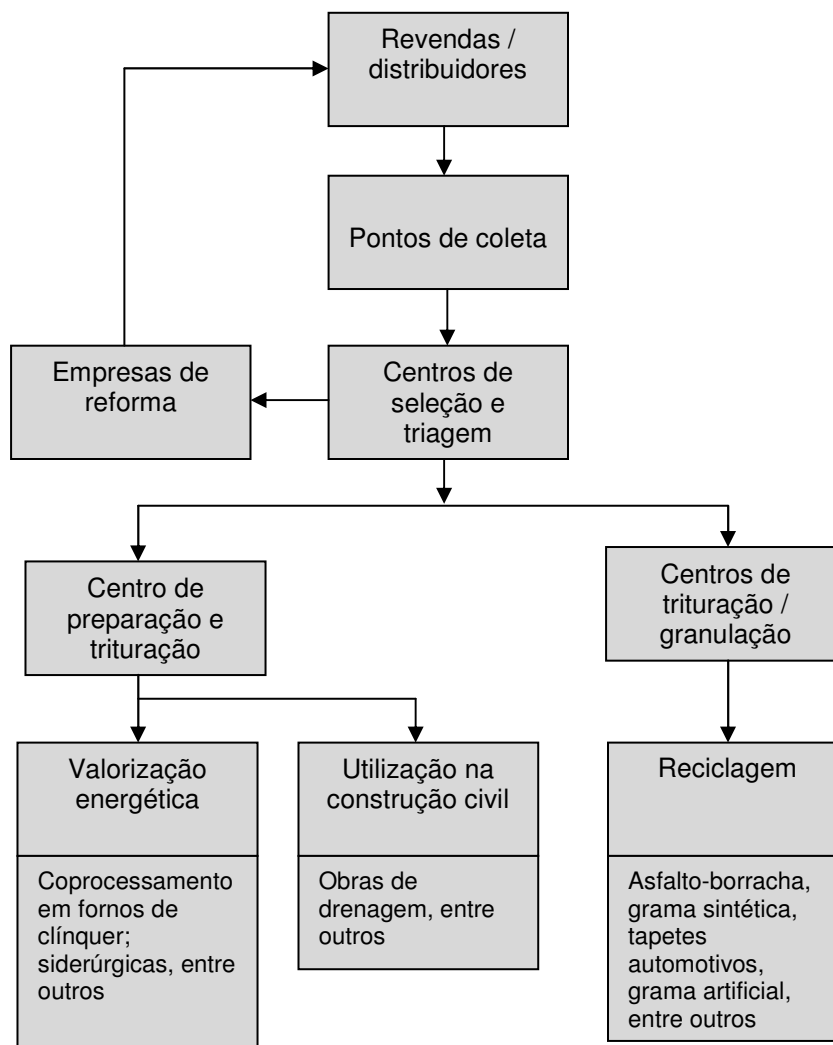


Figura 48 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados na Espanha.

Referência: Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados (2010)

7.6.6 Logística reversa dos pneus usados no Reino Unido

No Reino Unido, todos os dias são descartados mais de 100 mil pneus usados de carros, vans, caminhões e ônibus, totalizando cerca de 40 milhões de unidades por ano. Em 1998, era estimada a exportação de 11% dos pneus usados, 62% eram reutilizados, reciclados ou destinados à valorização energética e 23% eram enviados para aterros (HIRD; GRIFFITHS; SMITH, 2002).

Os pneus são coletados em pequenas oficinas e são transportados para uma área de armazenamento temporário. Com esse sistema, é possível o transporte em

volume maior, reduzindo o custo da logística reversa. As empresas que fazem a coleta cobram US\$ 0,87 por pneu recolhido, mas esse preço pode variar em função do mercado. Os pneus inservíveis são considerados resíduos e devem ser processados de tal forma que causem o menor impacto ambiental negativo, econômico e social.

As prioridades para o gerenciamento dos pneus usados no Reino Unido são: redução da quantidade de pneus usados; reutilização dos mesmos tantas vezes quanto possível; reciclagem, recuperação dos materiais ou valorização energética; e disposição em aterros (USED TYRE WORK GROUP, 2006).

O diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados é apresentado na figura 49.

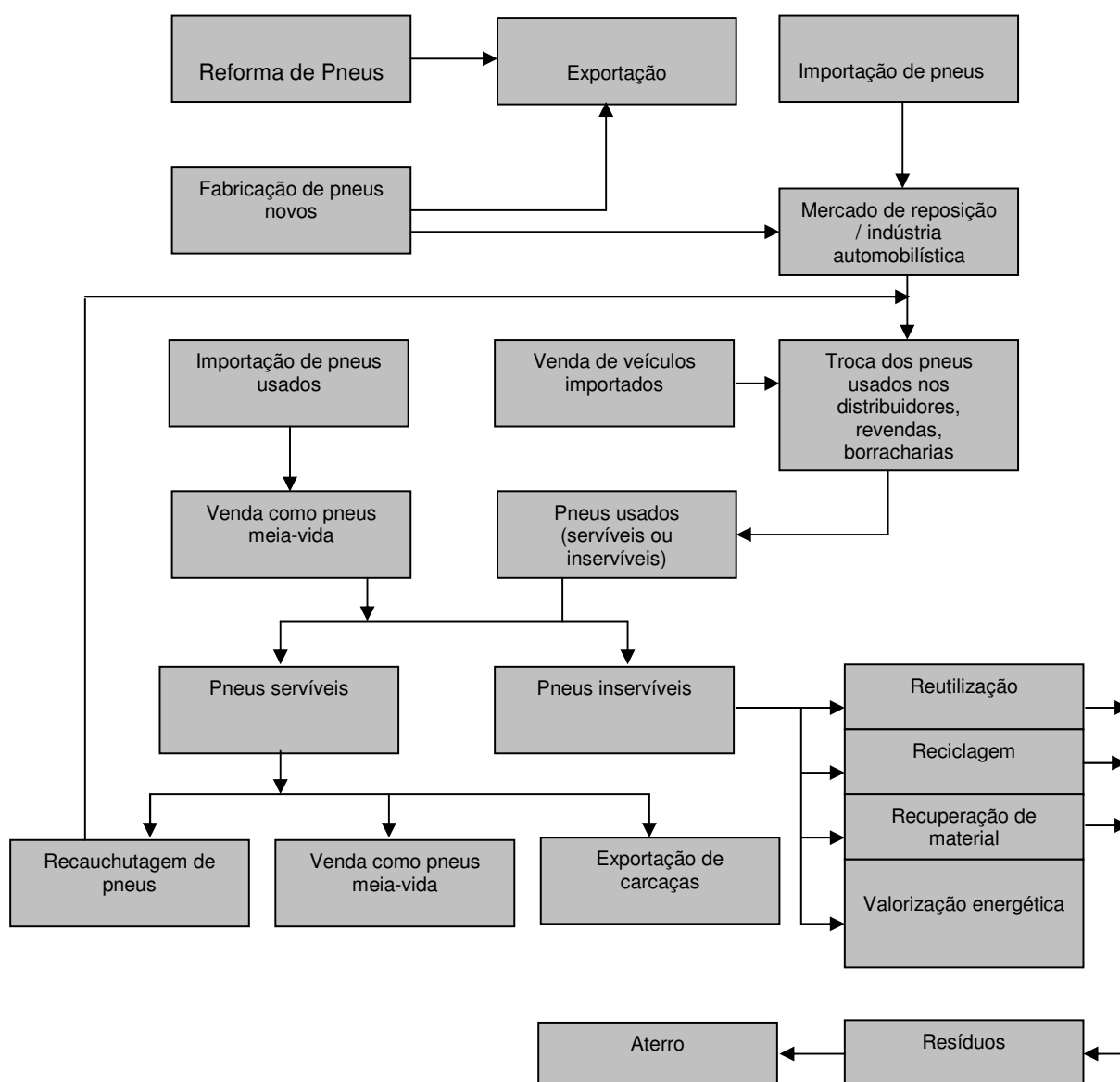


Figura 49 – Diagrama de blocos da logística reversa dos pneus usados no Reino Unido. Referência: Adaptada pelo autor com dados da Used Tyre Work Group (2006)

Deve ser desenvolvida uma infraestrutura capaz de manusear todos os pneus usados antes da disposição em aterros. Isso inclui o desenvolvimento da logística reversa.

Em 2008, foram gerados 508.000 toneladas de pneus usados, sendo destinados para reutilização (7,7%); exportação (9,6%); reforma (10,2%); reciclagem de material (49,2%); valorização energética (18,7%) e aterros (4,5%). A taxa de reciclagem ficou em 95% (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

7.6.7 Logística reversa dos pneus usados na Alemanha

Na Alemanha, foi adotado o sistema de mercado livre³⁷, que é baseado no regulamento de resíduos e controles rigorosos. Os vários agentes da cadeia de reciclagem de pneus não funcionam livremente e têm de seguir as legislações sobre os resíduos. Não existe nenhuma associação envolvida no processo de coleta, triagem, pré-tratamento e destinação final dos resíduos. A valorização é realizada por forças do mercado. Todos que possuem os pneus usados em mãos são obrigados a cuidar da destinação final. Assim, o revendedor, empresas de pré-tratamento e valorização energética têm a responsabilidade de destinação final dos pneus inservíveis.

O consumidor ao trocar os pneus usados por novos deixa os antigos nas revendas e distribuidores, pagando cerca de € 2 a 3 para cada pneu usado. O valor varia em função do tipo de pneu utilizado.

O revendedor e o distribuidor recolhem os pneus e os armazenam até atingir a quantidade mínima de 800 unidades em uma caçamba. Existem algumas revendas que realizam a triagem e separam os pneus servíveis para venda como pneus meia-vida ou para a reforma.

³⁷ HIRSCH, H. **Academic Information Tyres recycling in Gemany**. [mensagem pessoal]. Enviado por: <h.hirsch@wdk.de> recebida em: 23 jun. 2010. 2 p.

No caso dos pneus de caminhões e ônibus, deve ser feita uma triagem para avaliar se o mesmo pode ser reformado ou vendido como pneu meia-vida. Assim, o revendedor ou distribuidor consegue obter um lucro com a venda desses produtos.

Os revendedores e distribuidores pagam para a empresa de coleta. Nem todos os revendedores de pneus fazem a triagem para envio à indústria de reforma ou para a venda como pneus meia-vida.

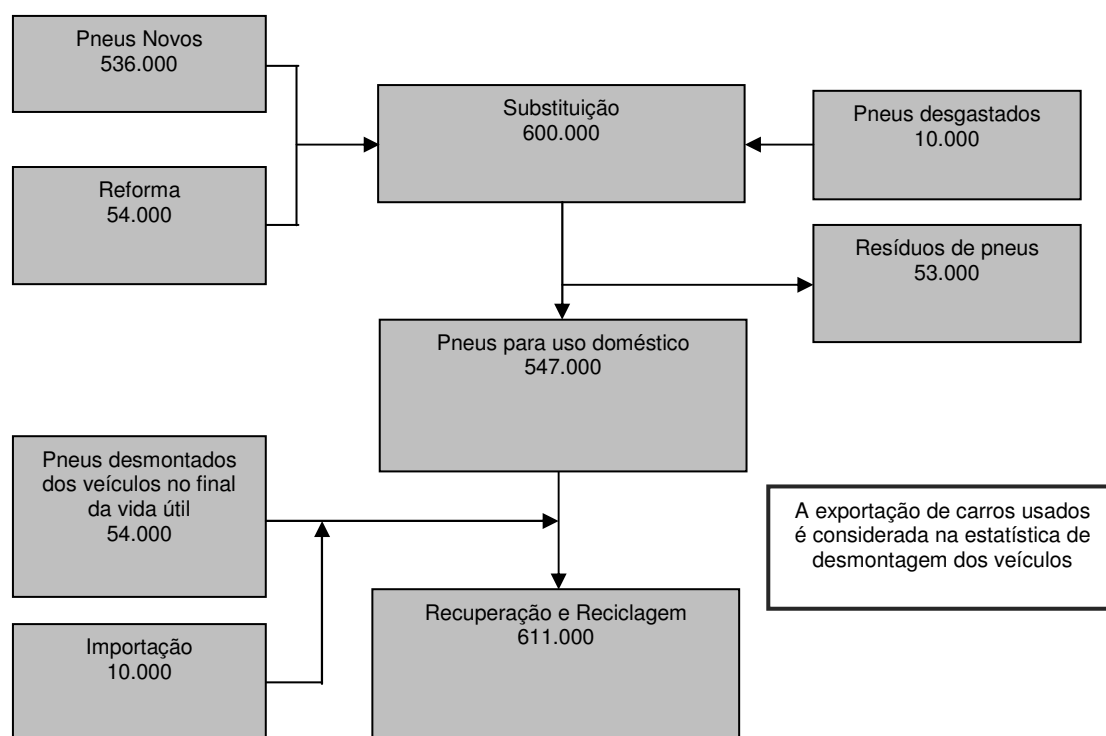
A empresa de coleta faz a triagem e a seleção dos pneus quando eles não são separados pelas vendas e distribuidores. Além disso, paga para as empresas que fazem o pré-tratamento e reciclagem dos pneus inservíveis. Os pneus são reciclados ou valorizados energeticamente em fornos de clínquer.

Em 2008, foram geradas 568.000 toneladas de pneus usados, com as seguintes destinações: reutilização (2,1%); exportação (10,2%); reforma (13%); reciclagem de material (25,2%); e valorização energética (50,9%) (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

Na Alemanha, a pirólise não é uma opção como processo de recuperação de pneus inservíveis, devido ao grande consumo de energia e produção de matéria-prima sem demanda para a indústria.

A figura 50 apresenta o diagrama de blocos da logística reversa dos pneus usados na Alemanha em 2009. Pode-se observar que 54.000 unidades foram retiradas de veículos no final da vida útil (GESELLSCHAFT FÜR ALTGUMMI, 2010b).

Na Alemanha, em 2008, ocorreu a expansão da capacidade de coprocessamento em fornos de clínquer e de trituração e granulação.



Valorização

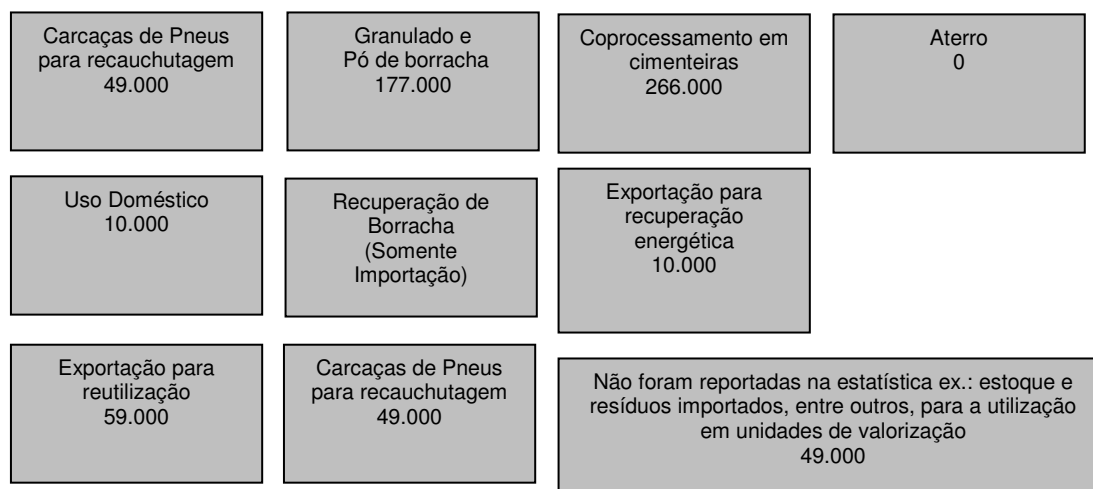


Figura 50 - Diagrama de blocos do processo de reciclagem de pneus usados na Alemanha em 2009 (em unidades).

Referência: Hirsch (2010); Gesellschaft Fur Altgummi (2010a)

7.6.8 Logística reversa dos pneus usados na Itália

As principais tecnologias para a reutilização, recuperação e descarte de pneus usados na Itália são: ressuscagem³⁸, reforma, reciclagem de materiais, valorização energética e armazenamento (CONSORZIO PER IL RECUPERO E IL RIUTILIZZO DEI PNEUMATICI, 2008).

A ressuscagem prolonga a vida útil dos pneus de ônibus e caminhões. Esta prática não é possível para os pneus de automóvel porque o projeto do pneu não permite o aumento da distância entre o fundo da cavidade da banda de rodagem e a lona de aço.

A reforma aumenta a vida útil dos pneus e aproveita 80% do material original do mesmo. Nos países membros da Organização para a Cooperação e o Desenvolvimento Econômico (OCDE) a produção de pneus reformados tem um bom desenvolvimento e representa uma sólida realidade industrial.

Na reciclagem, os pneus usados, inteiros ou triturados, podem ser reutilizados para inúmeras aplicações:

- nos trabalhos de engenharia civil por possuir propriedades de amortecimento como, por exemplo: barreiras para estradas, absorventes acústicos para paredes e defensas marítimas;
- como isolante nas fundações das construções e materiais que são base para estradas;
- como material de recobertura para aplicações agrícolas e para o descarte;
- como refúgio artificial para proteção do habitat dos peixes;
- como material para a produção de tapetes e acessórios para vestuário como cintos, bolsas, entre outras aplicações.

Outra forma de reciclagem dos pneus inservíveis é a produção de pó de borracha, granulados, pirólise e a produção da borracha regenerada.

O pó ou granulados de borracha são materiais que podem ser utilizados:

³⁸ A ressuscagem ou redesenho “ *regrooving* ” do pneu radial é uma prática comum na manutenção dos mesmos. Algumas empresas de transporte de carga e passageiros utilizam essa prática com o objetivo de obter uma quilometragem adicional da banda de rodagem. Deve ser realizada apenas nos pneus que tenham a descrição no costado ressuscável ou “ *regrovable* ”.

- em compostos para diversas aplicações na indústria da borracha, com exceção dos pneus novos;
- em pisos industriais, tapetes automotivos, superfícies esportivas;
- para impermeabilizar telhados;
- na composição do asfalto-borracha;
- como misturas de borrachas e materiais termoplásticos, entre outras aplicações.

Os aterros só devem ser utilizados para os pneus inservíveis quando não existem outras soluções para a reciclagem e/ou valorização energética.

Em alguns países é proibido o descarte de pneus inservíveis em aterros. Quando triturados, os pneus podem ser usados em aterros com as seguintes vantagens: evitar a erosão lateral, a fim de permitir a drenagem do chorume do aterro.

Os depósitos podem ser utilizados como uma forma temporária para a estocagem dos pneus inservíveis.

Em 2008 foram geradas 508.000 toneladas de pneus usados, sendo destinados para exportação (6,9%); reforma (16,62%); reciclagem de material (19%); valorização energética (40,4%) e aterros (17,3%). A taxa de reciclagem foi de 83% (EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION, 2009b).

7.7 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO JAPÃO

Na década de 60, os pneus usados tinham valor comercial no Japão. Em 1970, foi aprovada uma lei para controlar o tratamento de resíduos e criadas taxas para a coleta dos pneus no final da vida útil. Em 1980, ocorreu o aumento da demanda por energia, o que impulsionou a valorização energética dos pneus, devido a seu poder calorífico. Entre 1990 e 2000, a demanda pela utilização de pneus foi afetada pelo preço do petróleo. O sistema implementado no Japão é o de mercado livre. Associações e fabricantes devem cooperar para garantir as taxas de retorno

dos pneus para a reutilização, reciclagem e a valorização energética (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2005).

No Japão, em 2008, foram produzidos 181,64 milhões de pneus, com redução de 2,3% em relação a 2007. Foram vendidos no mercado de reposição 68,85 milhões de pneus, quantidade 5,6% menor quando comparada ao ano anterior. Os canais de distribuição são divididos em exportação, mercado de reposição e EO. Em 2008, 36,6% foram destinados à exportação; 34,1% entraram no mercado de reposição; e 29,3% foram para EO (JAPAN AUTOMOTIVE TYRE MANUFACTURES ASSOCIATION, 2010).

A logística reversa no Japão tem a participação dos municípios, empresas de autopeças, oficinas, distribuidores e empresas recicladoras de veículos. A coleta, o transporte e o processamento dos pneus são feitos por uma empresa contratada, conforme a figura 51.

Em 2008, foram gerados 78 milhões de pneus usados, o que corresponde a 860.000 toneladas. Houve uma redução de 3 milhões em comparação ao ano anterior.

Com a desmontagem dos veículos no final da vida útil foram gerados 18 milhões de pneus usados, o que corresponde a 196.000 toneladas. Foram recicladas 935.000 toneladas de pneus usados, com taxa de reciclagem de 89%, conforme a figura 52.

Ocorreu um aumento no consumo de pneus inservíveis como combustível alternativo nas fábricas de papel e celulose, devido ao aumento dos preços do óleo cru e do carvão. A exportação de pneus usados sofreu uma redução nos últimos anos em função da utilização de resíduos de borracha como combustível alternativo de fornecimento local.

A tendência observada no Japão é a redução das exportações de pneus usados e aumento da quantidade de pneus inservíveis enviados para valorização energética, principalmente em fornos de clínquer e caldeiras na indústria de papel e celulose.

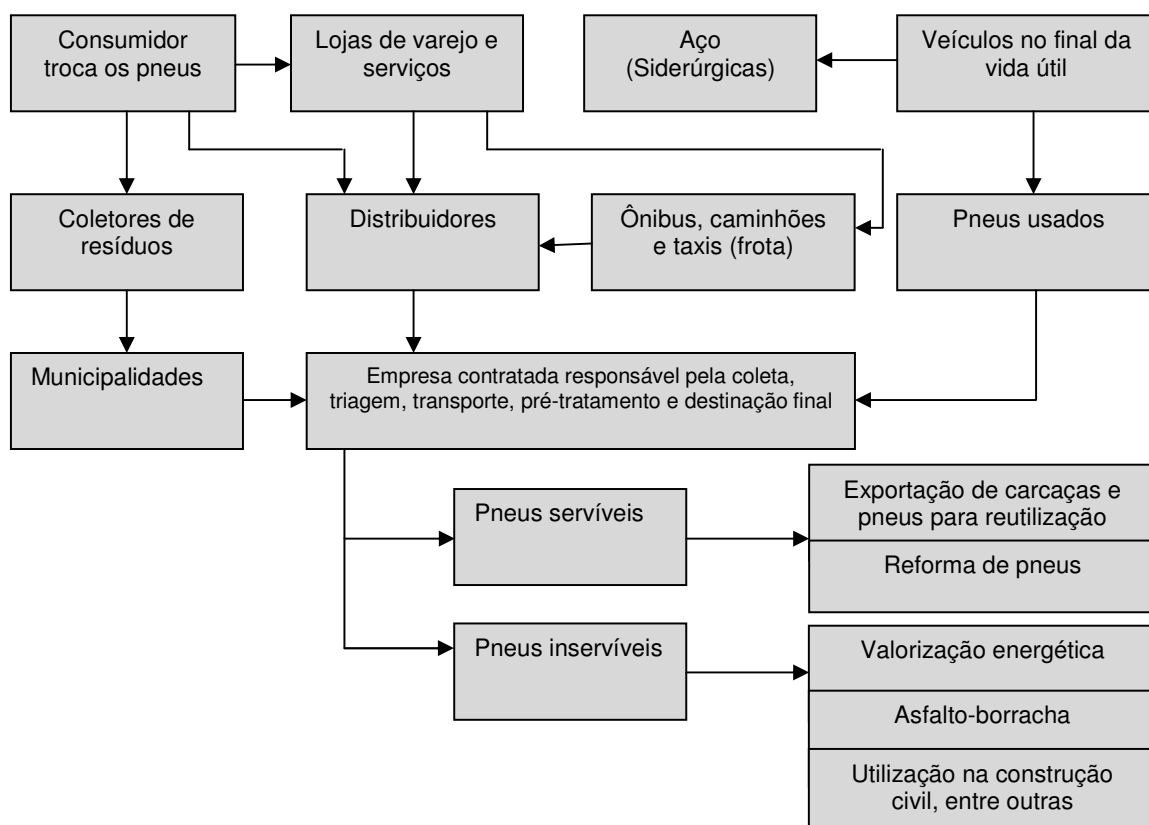


Figura 51 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa dos pneus usados no Japão. Referência: Adaptada pelo autor com dados Japan Automotive Tyre Manufacturers Association (2010)

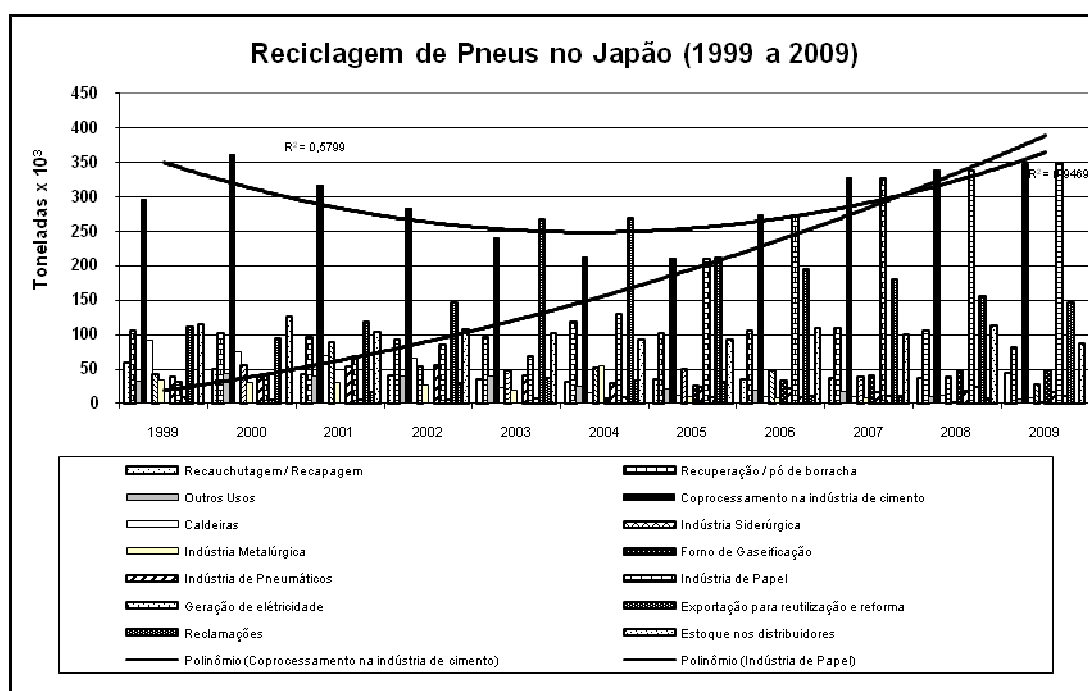


Figura 52 – Reciclagem de pneus no Japão no período de 1996 a 2009. Referência: Adaptada pelo autor com dados do Japan Automotive Tyre Manufacturers Association (2010)

7.8 RECICLAGEM DE PNEUS NOS ESTADOS UNIDOS

Nos Estados Unidos, em 2007, foram gerados 4,6 milhões de toneladas de pneus usados, o equivalente a 303,23 milhões de pneus, com geração de 1,01 pneus por habitante e taxa de reciclagem de 89,3% (RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION, 2009).

O peso médio dos pneus nos Estados Unidos é revisado a cada dois anos em função da mudança do projeto e tamanho dos aros dos pneus que equipam os veículos novos. O valor médio utilizado para a conversão entre o peso e a quantidade equivalente de pneus foi de 16,8 kg.

O programa de coleta e reciclagem de pneus nos Estados Unidos teve início em 1990, quando foi implementado o sistema de mercado livre (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 2008; JANG et al., 1998) no qual todos os elos da cadeia de reciclagem têm controle e responsabilidade sobre parte do sistema, que inclui fabricantes, revendas, distribuidores, o consumidor, a coleta e o transporte, empresas de pré-tratamento, empresas que utilizam o pneu como combustível alternativo e a agência estadual de regulamentação. Não existe uma legislação federal para a reciclagem de pneus, cada estado possui uma legislação própria.

Alguns estados têm desempenhado papel fundamental no financiamento e gerenciamento para a redução significativa da quantidade de pneus em aterros. Em 1990, havia 1 bilhão de pneus inservíveis armazenados em aterros. Em 2007, eram 130 milhões.

Há uma estimativa de 2 a 3 bilhões de pneus inservíveis armazenados ilegalmente ou abandonados em rios, ruas, aterros, entre outros, nos Estados Unidos. Esse número representa a geração acumulada de pneus inservíveis de aproximadamente 10 anos (HEITZMAN, 1992).

Em 2006, nos Estados Unidos, foram reformados 15,6 milhões de pneus usados na aviação comercial, caminhões, ônibus escolares, pneus para veículos fora de estrada, industriais, na agricultura e em equipamentos para mineração (RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION, 2009). Poucos pneus de automóveis são reformados, devido a fatores econômicos.

A reciclagem de pneus nos Estados Unidos, no período de 1990 até 2007, é apresentada na figura 53. A exportação de pneus usados é considerada na estatística, porque os pneus deixam o país. Para a valorização energética foram destinados 60,68% dos pneus inservíveis.

Alguns estados aceitam o descarte dos pneus inservíveis inteiros ou triturados em aterros. As taxas para o financiamento da coleta e destinação dos pneus inservíveis variam de US\$ 0,5 a US\$ 5. Em alguns estados, o valor é pago no momento da troca, na renovação do registro anual dos veículos ou quando da compra dos pneus novos, entre outras opções (RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION, 2009).

Pode-se observar que os maiores mercados são a valorização energética *Tire Derived Fuel* (TDF) e as aplicações com borracha granulada, com expectativa de crescimento em 2010.

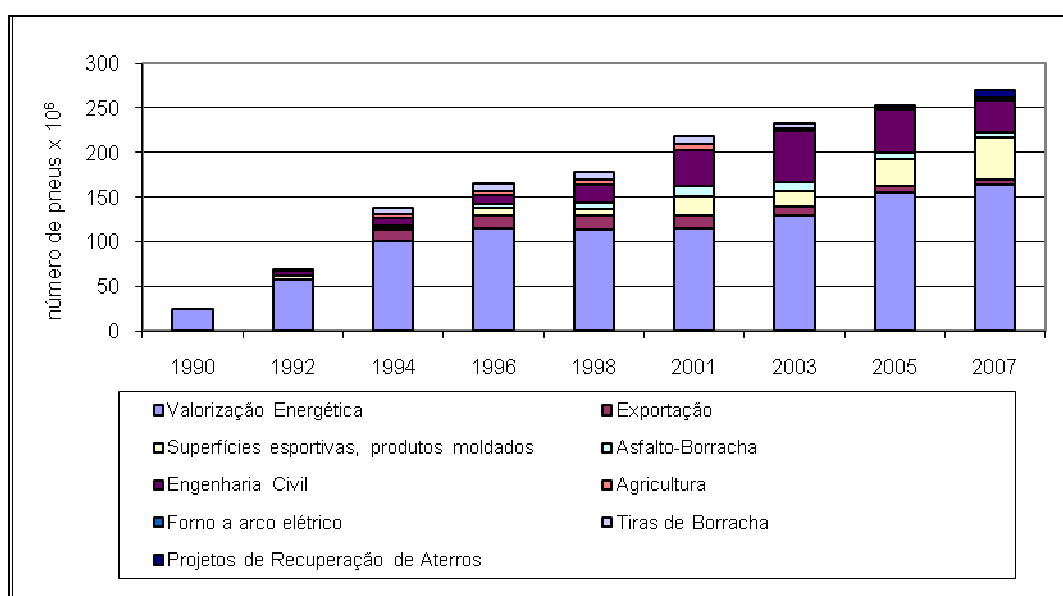


Figura 53 – Reciclagem de pneus nos Estados Unidos no período de 1990 a 2007. Referência: Rubber Manufactures Association (2009)

7.9 COMPARATIVO ENTRE OS SISTEMAS IMPLEMENTADOS NO JAPÃO, ESTADOS UNIDOS, COMUNIDADE EUROPÉIA E BRASIL

Um comparativo dos sistemas implementados, tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética, taxas para a coleta e custo para a reciclagem de pneus é apresentado na tabela 22. Na Comunidade Européia, 48,3 % dos países utilizam o sistema de responsabilidade do fabricante e importador, o mesmo adotado no Brasil. A única exceção é a cobrança de taxa no momento da troca dos pneus o que financia todo o processo de logística reversa. No Brasil, são os fabricantes e importadores que financiam todo o processo de logística reversa.

Com relação à disposição de pneus em aterros na Comunidade Européia, todos os países membros são proibidos de enviar para aterros pneus inservíveis inteiros ou triturados. Podemos observar que apesar da proibição, a prática ainda é comum em alguns países.

A tabela 23 apresenta os custos da coleta, pré-tratamento e destinação dos pneus em Portugal, França, Alemanha e Brasil

Tabela 22 – Comparação dos sistemas e tecnologias utilizadas para a destinação dos pneus usados no Japão, Estados Unidos, Comunidade Européia e Brasil.

| | Japão | Estados Unidos | Comunidade Européia (CE 27 + 2) | Brasil |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| | 2009 | 2007 | 2008 | 2009 |
| Sistema Implementado (1) | ML | ML | RF / ML / ST | RF |
| Meta para a Reciclagem de Pneus | Mercado de Reposição + Pneus retirados dos veículos no final da vida útil | Mercado de Reposição + Pneus retirados dos veículos no final da vida útil | Mercado de Reposição + Pneus retirados dos veículos no final da vida útil | Mercado de Reposição |
| Taxa (Financia todo o processo de logística reversa) | Não foi divulgado | US\$ 0,25 a 5 | Portugal € 1; França € 1,5; Alemanha € 2 a 3 | Sistema financiado pelos importadores e fabricantes |
| Total Reciclado (ton. x 10 ³) | 1.187 | 4.595,70 | 3.281 | 250 |
| Taxa de Reciclagem (%) | 89 | 89,3 | 95 | (2) |
| Custo para a reciclagem de pneus (coleta, pré-tratamento e destinação final) | Não foi divulgado | Não foi divulgado | França € 1,78 / pneu | US\$ 0,48 / pneu |
| Recauchutagem / Recapagem ton. x 10 ³ | 46 | Não é considerada uma atividade de reciclagem | 358 | Não é considerada uma atividade de reciclagem |
| Recuperação / pó de borracha / pisos ton. x 10 ³ | 83 | 791 | 1273 | 45 |
| Outros usos ton. x 10 ³ | 7 | | | 35 |
| Obras de engenharia ton. x 10 ³ | | 561,6 | | 2,5 |
| Coprocessamento na indústria de cimento ton. x 10 ³ | 349 | 669,1 | | 157,5 |
| Caldeiras Industriais ton. x 10 ³ | 9 | 200,6 | | |
| Indústria Siderúrgica ton. x 10 ³ | 28 | 27,1 | | 10 |
| Indústria Metalúrgica ton. x 10 ³ | 1 | | | |
| Forno de Gaseificação ton. x 10 ³ | 48 | | | |
| Indústria de Pneumáticos ton. x 10 ³ | 18 | | | |
| Indústria de Papel ton. x 10 ³ | 349 | 1066,9 | | |
| Geração de eletricidade ton. x 10 ³ | 11 | 547,3 | | |
| Exportação para reutilização e reforma ton. x 10 ³ | 148 | 102,1 | 273 | |
| Projetos de recuperação ton. x 10 ³ | 3 | 132,6 | Nd | |
| Agricultura ton. x 10 ³ | | 7,1 | | |
| Estoque nos distribuidores ton. x 10 ³ | 87 | | | |
| Disposição em Aterros ton. x 10 ³ | 42 | 594 | 195 (3) | Não existe um inventário da disposição de pneus no Brasil |

(1) ML – Mercado Livre, RF – Responsabilidade do Fabricante ST – Sistema de Taxas

(2) Não foi divulgada a destinação dos pneus inservíveis pelos importadores de pneus novos. No período de janeiro a setembro de 2009, foram recicladas 123.000 t de pneus inservíveis. O Ibama divulgou o relatório de pneumáticos em julho de 2011, mas não consta a informação sobre o período de 2009

(3) Proibida a disposição de pneus inservíveis em aterros desde julho de 2006, em todos os países membros da Comunidade Européia

Nd Não disponível.

Referência: Rubber Manufactures Association (2009); Japan Automotive Tyre Manufactures Association (2010); European Tyre & Rubber Manufactures Association (2009a); Faccio (2010)

Tabela 23 – Custos de coleta, pré-tratamento e destinação dos pneus em Portugal, França, Alemanha e Brasil.

| Atividade | Portugal | França | França | Alemanha | Brasil |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| | 2009 (3) | 2007 (3) | 2009 (3) | 2009 (3) | 2008 |
| Sistema Implementado (1) | RF | RF | RF | ML | RF |
| Taxa paga no momento da troca (exemplo: pneu de automóvel) [€] | € 1 | € 1,5 | € 1,5 | € 2 a 3 | 0 |
| Processamento por tonelada [€] | 113,73 | 65,54 | 68,78 | | 19,54 |
| Valorização / Recuperação por tonelada [€] | 62,47 | 25,21 | 18,70 | 50 a 80 | 18,04 |
| Coleta e Transporte por tonelada [€] | 27,25 | 117,94 | 92,93 | 80 a 150 | 44,85 |
| Armazenagem por tonelada [€] | 24,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 (4) |
| Pesquisa e Desenvolvimento | | 0,06 | | | |
| Custo Total por tonelada [€] | 227,46 | 208,75 | 180,40 | 230,00 | 65,17 |
| Custo por pneu coletado e destinado [€] | 1,63 por pneu de automóvel / 12,25 por pneu de ônibus e caminhão | 1,49 por pneu de automóvel / 11,25 por pneu de ônibus e caminhão | 1,29 por pneu de automóvel / 9,72 por pneu de ônibus e caminhão | 1,65 por pneu de automóvel / 12,39 por pneu de caminhão | 0,33 por pneu de automóvel / 2,61 por pneu de ônibus e caminhões |
| Pneu Inservível | 7,18 kg pneu de automóvel e 53,88 kg pneu de ônibus / caminhão | 7,18 kg pneu de automóvel e 53,88 kg pneus de ônibus / caminhão | 7,57 kg pneu de automóvel / 56,11 kg pneu de ônibus / caminhão | 7,18 kg pneu de automóvel / 53,88 kg pneu de ônibus / caminhão | 5 kg pneu de automóvel / 40 kg pneu de ônibus e caminhões (2) |
| Toneladas coletadas e destinadas | 93.766 | 294.198 | 284.955 | 571.000 | 160.000 |

(1) ML – Mercado Livre, RF – Responsabilidade do Fabricante

(2) Utilizado para a conversão de peso em quantidade de pneus inservíveis equivalentes à Instrução Normativa nº 008/02, que fixa o peso do pneu inservível de automóvel: 5 kg e pneus inservíveis de ônibus e caminhões, 40 kg. Conforme informado por Germano Badi (2011), o peso médio dos pneus inservíveis de automóveis, ônibus e caminhões é de 11,3 kg. Não existe um levantamento real do peso dos pneus inservíveis por tipo. A associação que representa os fabricantes utiliza a Instrução Normativa nº 008/02 para calcular a quantidade equivalente de pneus inservíveis reciclados

(3) Na França, Portugal e Alemanha, quando da troca dos pneus usados por novos em oficinas e revendas, o consumidor paga uma taxa e deixa os pneus usados para a destinação final

(4) No Brasil, não é considerado no custo da logística reversa, as áreas destinadas pelas prefeituras para o acondicionamento temporário dos pneus usados, a gasolina, e a coleta no município

Referência: Elaborado pelo Autor com dados da Sociedade de Gestão de Pneus (2010); Gesellschaft Fur Altgummi (2010a; 2010b); Filière de Valorisation des Pneus Usagés (2009); Faccio (2010)

8 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO BRASIL

8.1 MERCADO MUNDIAL DE PNEUS

A produção mundial de pneus em 2008 foi estimada em 1,385 bilhões de pneus, 2% menor quando comparado a 2007, com a queda de produção na América do Norte e Europa, em função da crise econômica mundial no quarto trimestre.

As vendas de carros declinaram 15% em toda a Europa, América do Norte e Japão e cresceram 9% no Brasil, 20% na Índia e 50% na China. A expectativa de crescimento da indústria de veículos é de 20% até 2015 e o dobro até 2030.

Os maiores produtores mundiais de pneus são: a China com 15%; os Estados Unidos com 13%; o Japão com 13%; Coreia com 6%; Alemanha com 5% e França com 4%. Os seis países juntos representaram 56% da produção mundial de pneus em 2008. A figura 54 apresenta a distribuição de pneus de automóveis e carga por região (JAPAN AUTOMOTIVE TYRE MANUFACTURES ASSOCIATION, 2010).

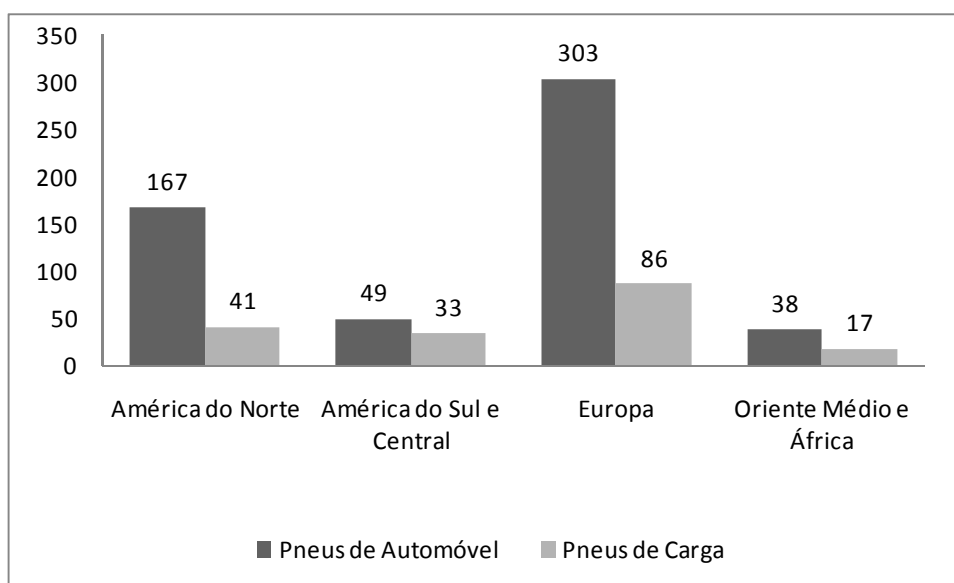


Figura 54 – Produção Mundial de pneus em 2008, por região (milhões).
Referência: Japan Automotive Tyre Manufactures Association (2010)

A figura 55 apresenta os 7 maiores produtores mundiais de pneus de automóveis e carga em 2008. O Brasil ocupa o 7º lugar na produção mundial de

pneus para automóveis e o 5º lugar para pneus para caminhões, ônibus e camionetas.

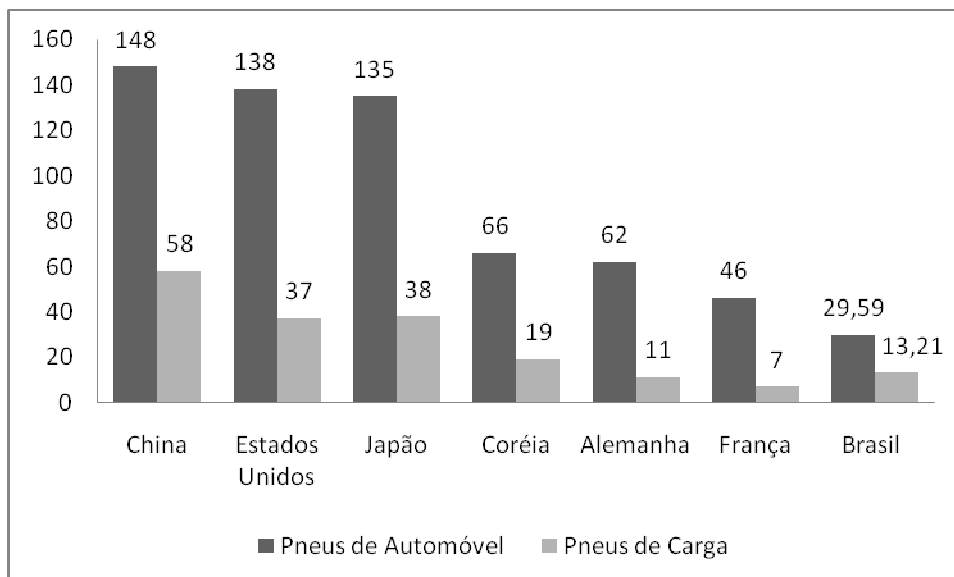


Figura 55 – Produção Mundial de Pneus em 2008, por país (milhões).
Referência: Japan Automotive Tyre Manufacturers Association (2010)

8.2 PRODUÇÃO DE PNEUS NO BRASIL

A produção de pneus no Brasil iniciou-se em 1934, quando foi implementado o Plano Geral de Viação Nacional.

Em 1936, foi inaugurada a Companhia Brasileira de Artefatos de Borracha, conhecida na época como Pneus Brasil, no Estado do Rio de Janeiro, que fabricou no 1º ano de funcionamento 29.000 pneus.

No período de 1936 a 1976 segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011) foram produzidos no Brasil, 167,48 milhões de unidades.

Segundo Laert Portão (2002), o Brasil produziu no período de 1936 a 2000, 860 milhões de pneus.

A Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), fundada em 1969, começou a divulgar os dados referentes a produção, importação e exportação de pneus a partir de 2002.

Em 2009, foram fabricados, 61,3 milhões de pneus, que foram avaliados em R\$ 9 bilhões. As empresas fabricantes de pneumáticos representam 87% do total reportado pelo IBGE, ou seja, produziram 53,8 milhões de pneus.

Em 2010, foram fabricados 67,3 milhões de pneus, exportados 18,1 milhões e importados 23,9 milhões. Foram vendidos no mercado de reposição e equipamento original 73,1 milhões de pneus. Os principais canais de distribuição foram: 45% para o mercado de reposição e revenda; 30% para as indústrias automobilísticas e montadoras; e 25% para a exportação (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS, 2011).

Em 2010, foram vendidos pelos fabricantes no mercado de reposição 32,9 milhões de pneus, o equivalente a 301.000 toneladas, conforme Faccio (informação verbal)³⁹

No período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, os importadores de pneus usados colocaram no mercado de reposição 202.594,52 toneladas, o equivalente a 40,52 milhões de pneus de automóveis (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS, 2011).

A evolução da produção, vendas, importação e exportação de pneus novos no período de 2002 a 2010 são apresentadas na figura 56. No período de 2002 a 2010 foram produzidos no Brasil 493,7 milhões de pneus.

A previsão para 2011 segundo a ANIP é de um crescimento de 5% para a produção de pneus, levando em consideração a expectativa da indústria brasileira e automobilística para 2011.

³⁹ Entrevista realizada com César Faccio – gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip, São Paulo em 2011.

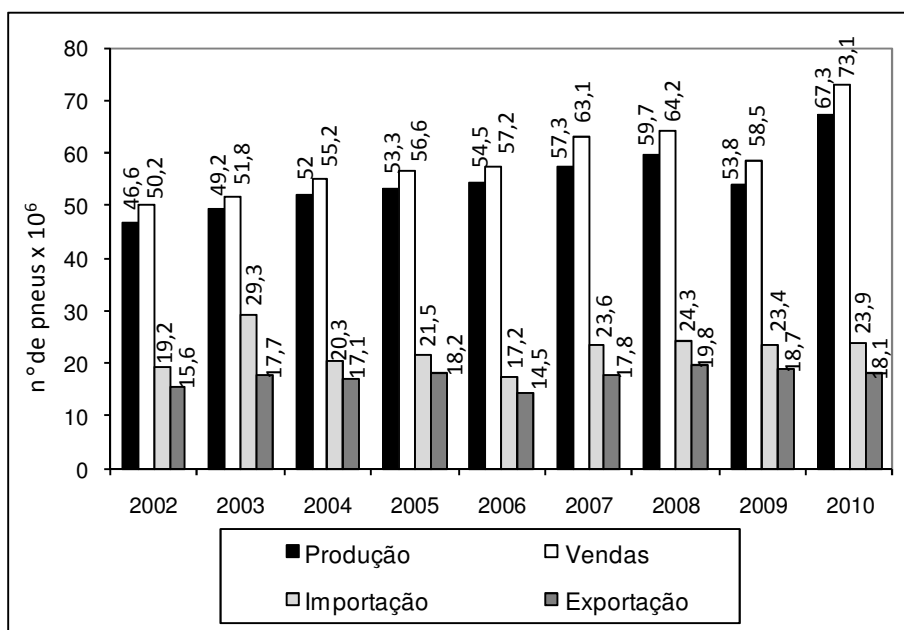


Figura 56 – Mercado para os pneus novos, no período de 2002 a 2010. Referência: Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (2011)

A evolução da produção e vendas por categoria de pneus no período de 2006 a 2010 é apresentada nas tabelas 24 e 25 respectivamente.

Segundo Eugênio Deliberato, presidente da ANIP, em 2010 ocorreu um crescimento de 15% na produção dos pneus, recuperando os 10% de queda que a indústria de pneumáticos teve em 2009, por conta da crise (MARTINS; BELLINI, 2011).

Um ponto importante para o aumento da produção da indústria de pneumáticos em 2010, foi o crescimento da indústria automobilística em 2010. O mercado de veículos atingiu 3,52 milhões de unidades, com crescimento de 12% em relação a 2009. Foram importados 660 mil veículos o que corresponde a 18,8% dos veículos vendidos no Brasil (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2011).

A indústria automobilística produziu 3,64 milhões de veículos em 2010, com crescimento de 14% em relação a 2009, devido o crescimento do mercado interno e o volume de exportações. Foram exportados em 2010, 502 mil veículos (ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, 2011).

Tabela 24 – Produção de pneus no Brasil por categoria, no período de 2006 a 2010 (milhões).

| Categoria | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Caminhões e ônibus | 6,9 | 7,3 | 7,3 | 6 | 7,7 |
| Caminhonetas | 5,9 | 6 | 5,8 | 5,6 | 7,9 |
| Automóveis | 28,9 | 28,8 | 29,6 | 27,5 | 33,8 |
| Motos | 11,4 | 13,8 | 15,2 | 13 | 15,2 |
| Agricultura / Terraplanagem | 0,688 | 0,8301 | 0,9032 | 0,679 | 0,917 |
| Veículos Industriais | 0,508 | 0,4621 | 0,7164 | 0,963 | 1,6 |
| Aviões | 0,051 | 0,061 | 0,0476 | 0,0418 | 0,06 |

Referência: Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (2011)

Tabela 25 – Vendas de pneus no Brasil por categoria, no período de 2006 a 2010 (milhões).

| Categoria | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 |
|------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Caminhões e ônibus | 7,1 | 7,8 | 7,6 | 6,6 | 8,4 |
| Caminhonetas | 6 | 6,5 | 6,2 | 5,9 | 8,3 |
| Automóveis | 31,2 | 33,7 | 33,3 | 32 | 38,1 |
| Motos | 11,6 | 13,7 | 15,4 | 13,6 | 15,5 |
| Agricultura / Terraplanagem | 0,7191 | 0,883 | 0,9622 | 0,7182 | 0,9773 |
| Veículos Industriais | 0,4971 | 0,498 | 0,6867 | 1,3 | 1,6 |
| Aviões | 0,0601 | 0,0716 | 0,0614 | 0,0531 | 0,0737 |

Referência: Associação Nacional das Indústrias de Pneumáticos (2011)

8.3 IMPORTAÇÃO DE PNEUS USADOS E RECAUCHUTADOS

No período de 1996 a 2009, foram importados 58,75 milhões de pneus usados, ou seja, 506,64 mil toneladas (SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2010). A figura 57 apresenta a importação de pneus usados pelo Brasil, sendo: Comunidade Européia, 64,5%; Japão, 14,4%; Estados Unidos, 12,3%; Paraguai, 2,4%, Uruguai, 0,065%, Argentina, 0,0052%, juntos representam 93,7% do total importado pelo Brasil, no período de 1996 a 2010.

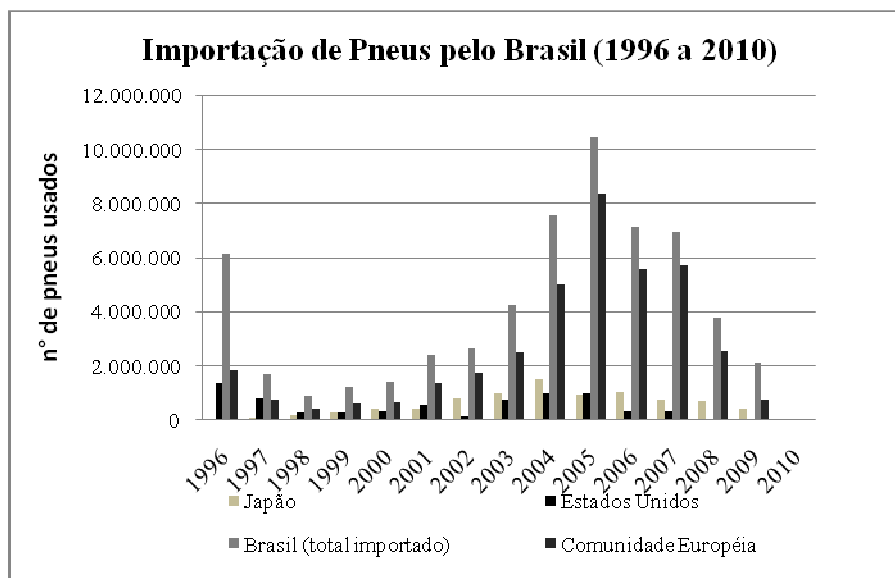


Figura 57 – Importação de pneus usados pelo Brasil no período de 1996 a 2010.
Referência: Elaborado pelo autor com dados da Secretaria de Comércio Exterior (2010)

No período de 1996 a 2010, o custo total da importação de pneus usados foi de US\$ 56,2 milhões (SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2010), com custo médio de US\$ 0,96 por pneu usado, conforme apresentado na figura 58.

Segundo a Associação Brasileira do Segmento de Reforma de Pneus (ABR) (THOMAZ, 2010), o setor de reforma de pneus remoldados foi o mais afetado com a proibição da importação de pneus usados. Na linha de recauchutagem de pneus para ônibus e caminhões, não ocorreu redução, já que 95% das importações eram de pneus de automóveis.

Segundo a ANIP (2011), a proibição da importação de pneus usados para o processo de reforma não deve causar desemprego aos reformadores. No Brasil, existe quantidade de pneus servíveis suficientes para a atividade de reforma, que não deve prejudicar o setor.

No período de 1996 a 2010, foram importados 11,57 milhões de pneus recauchutados, com custo total de US\$ 54,6 milhões, e com custo médio de US\$ 4,75 por pneu recauchutado, conforme a figura 59.

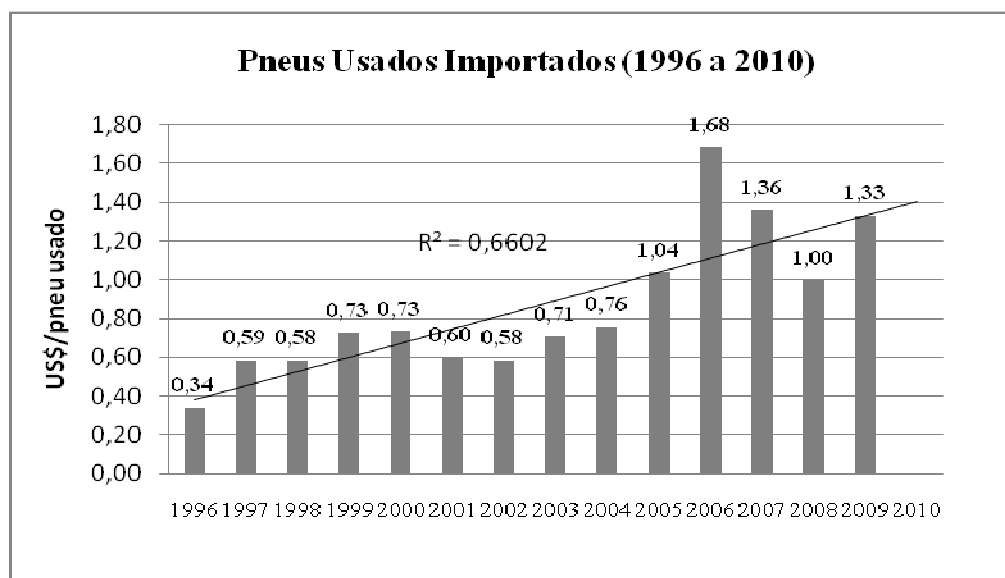


Figura 58 – Custo para a importação dos pneus usados importados no período de 1996 a 2010. Referência: Elaborado pelo autor com dados da Secretaria de Comércio Exterior (2010)

O Brasil importou 73% dos pneus recauchutados dos países membros da Comunidade Européia; 10,1% dos Estados Unidos; 7,56% do Paraguai, 6,92% do Uruguai; 1,85% da China, que juntos representam 99,4% do total importado no período de 1996 a 2010 (SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR, 2010).

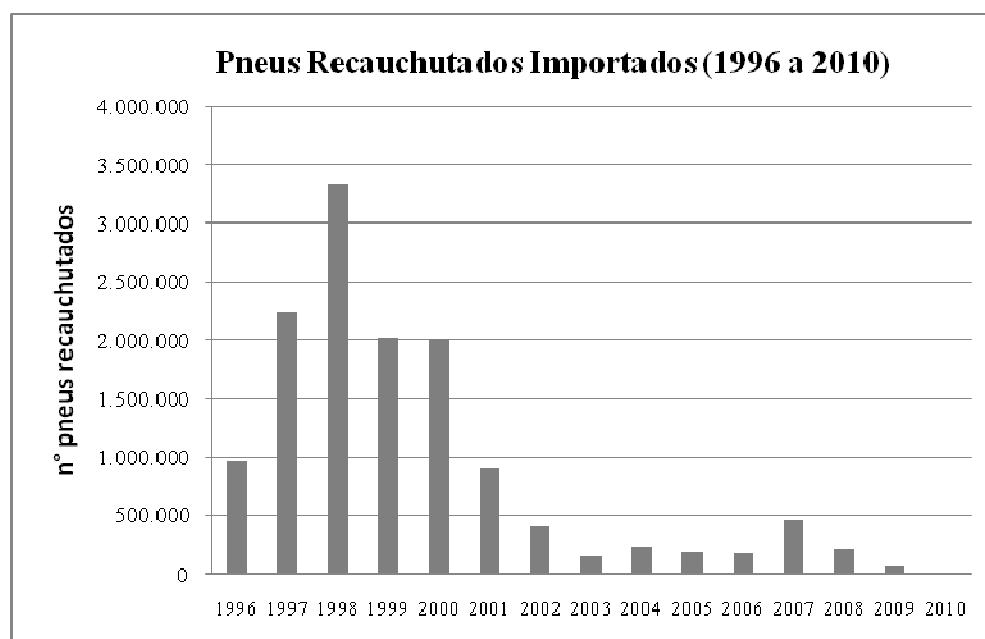


Figura 59 – Pneus recauchutados importados no período de 1996 a 2010. Referência: Elaborado pelo autor com dados da Secretaria de Comércio Exterior (2010)

8.4 LOGÍSTICA REVERSA DOS PNEUS USADOS NO BRASIL

O sistema implementado no Brasil é o sistema de retorno com responsabilidade dos fabricantes e dos importadores.

Os pneus são descartados quando trocados por novos ou quando os carros, caminhões e ônibus chegam ao final da sua vida útil. Em muitos países os pneus são deixados em centros de coleta e os consumidores pagam uma taxa que financia a logística reversa dos pneus usados. A partir deste momento é feita uma triagem, analisando se as carcaças dos pneus têm condição ou não de serem utilizadas no processo de reforma. As que têm condições são encaminhadas às empresas que fazem a recauchutagem, as que não apresentam condições de serem reformadas são encaminhadas para as empresas de reciclagem e valorização energética.

Está claro que o problema causado pelos pneus está relacionado à dificuldade de identificar quem é o responsável por sua disposição. As fontes geradoras são os consumidores que descartam os seus pneus usados após a troca nas revendas e distribuidores, ou levam os pneus usados para casa após a troca, achando que existe algum valor agregado, muitas das vezes os pneus são descartados de forma incorreta.

Atualmente, o pneu não possui identificação do veículo em que estava instalado. Existem vários projetos dos fabricantes de pneus para a instalação de circuitos eletrônicos (GOODYEAR DO BRASIL, 2011) para o controle do desempenho e vida útil dos pneus, sendo monitorado: o desgaste da banda de rodagem, a pressão de ar, quantidade de reformas, custo operacional de manutenção, reposição, atualização da quilometragem e profundidade dos sulcos. O circuito eletrônico fica instalado na parte interna dos pneus de carga. Os circuitos eletrônicos viabilizam o armazenamento de dados em coletores especiais desenvolvidos para esta aplicação. Os dados são transmitidos com ou sem fio para um software específico para o controle de pneus instalado no computador das frotas.

O circuito eletrônico é um opcional para as empresas que possuem frotas e tem um gerenciamento de todo o processo de desgaste dos pneus instalados em seus veículos.

No futuro, os circuitos eletrônicos devem ser instalados nos pneus nas fábricas. O importante para o processo de identificar o gerador dos pneus descartados de forma incorreta seria a utilização deste circuito do início até o final da

sua vida útil em todos os pneus fabricados e vendidos no Brasil. Para a identificação pode ser utilizado a placa do veículo e o número do chassi, quando do descarte dos pneus usados, os órgãos de fiscalização de meio ambiente podem identificar com facilidade quem foi o gerador do resíduo.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

9.1 RECICLAGEM DE PNEUS PELOS FABRICANTES

No Brasil, somente os fabricantes de pneus montaram uma associação que é responsável pela coleta e destinação dos pneus no Brasil.

De 1999 a fevereiro de 2007, a ANIP era a responsável pela coleta e destinação dos pneus inservíveis. A partir de março de 2007, em função da abrangência do programa de coleta e destinação dos pneus inservíveis no Brasil, tornou-se necessário a criação da Reciclanip, que é uma entidade exclusivamente responsável pela gestão e aprimoramento dos trabalhos realizados de coleta e destinação dos pneus inservíveis.

O diagrama de blocos do processo de gerenciamento da Reciclanip é apresentado na figura 60. O gerenciamento funciona com a participação da ANIP e representantes de cada fabricante, conforme descrito abaixo:

- os fabricantes de pneus associados à ANIP, através de assembléias gerais, têm prerrogativas para propor, discutir e votar matérias de interesse da Reciclanip.
- representantes dos fabricantes associados a ANIP, que constituem o Grupo de Meio Ambiente (GMA), em articulação com a Reciclanip encaminham as decisões necessárias para o bom andamento das atividades.
- até outubro de 2009, a Reciclanip seguia a Resolução CONAMA nº 258/99. Com a aprovação da Resolução CONAMA nº 416/09, foi mudado a meta de reciclagem para os fabricantes e importadores de pneus;
- estruturar a cadeia de coleta e destinação de pneus inservíveis com a participação da rede de revendedores, reformadores, poder público, sociedade e terceiro setor em todo o país;
- destinar de forma adequada os pneus inservíveis disponíveis;
- apoiar estudos e pesquisas sobre o ciclo de vida do pneu e estimular novas formas de destinação dos mesmos. A quantidade de pesquisas e resultados não foram divulgadas;

- desenvolver, em conjunto com o poder público, programas e ações de conscientização ambiental para a população.

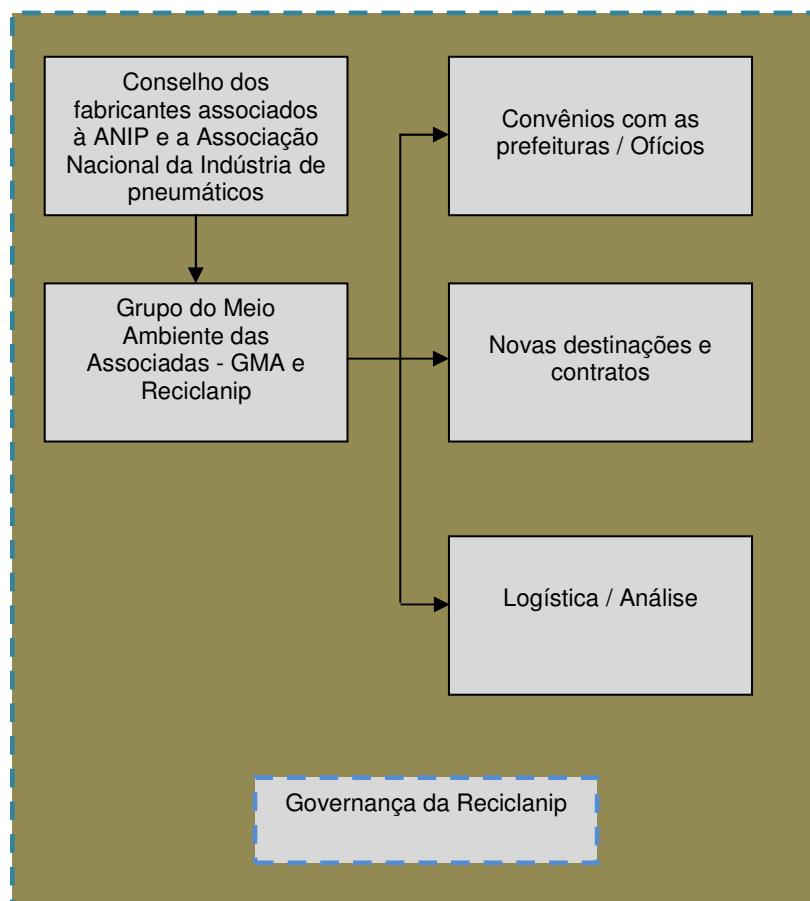


Figura 60 – Diagrama de blocos do processo de gerenciamento da Reciclanip.

A Reciclanip não possui um software para a realização da logística reversa dos pneus inservíveis. O planejamento para a coleta e destinação é em cima de previsões e históricos de reciclagem.

As empresas de pré-tratamento recebem subsídios da Reciclanip para receber os pneus inservíveis coletados nos pontos de coleta.

As cimenteiras enviam uma programação semanal de cargas a serem recebidas por dia, em cima destas informações é realizada uma programação de coleta e destinação para o coprocessamento.

A figura 61 mostra o diagrama de blocos de todo o processo desde a definição das metas até a reportagem da destinação final para o Ibama, pela Reciclanip

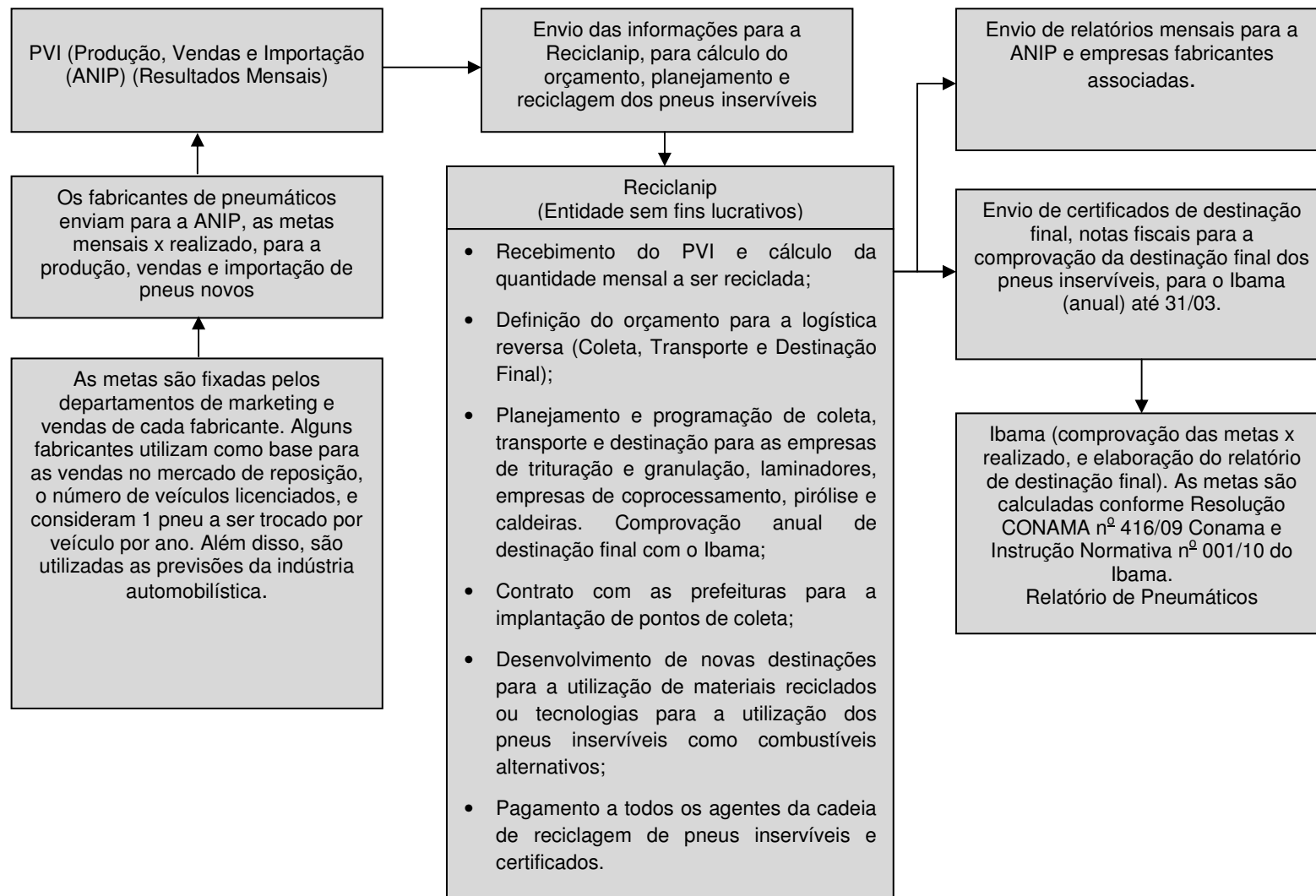


Figura 61 – Diagrama de blocos de todo o processo de definição de metas e destinação dos pneus inservíveis pelos fabricantes.

Custo para a reciclagem de pneus inservíveis no Brasil

Desde 1999 até o 1º quadrimestre de 2011, foram reciclados 1,65 milhões de toneladas, o equivalente a 330 milhões de pneus de automóvel. O investimento realizado pela indústria de pneumáticos no período de 1999 até o 1º quadrimestre de 2011 foi de US\$ 136,2 milhões, com custo para coleta, pré-tratamento e destinação de US\$ 0,41 por pneu inservível (MARTINS; BELLINI, 2011).

Em 2010, foram recicladas 311.554 toneladas, o equivalente a 62,31 milhões de pneus de automóveis (MARTINS; BELLINI, 2011). A meta para a reciclagem de 2010 foi de 301.000 toneladas. Em 2010, foram gastos US\$ 33 milhões com a coleta e a destinação dos pneus inservíveis, o que corresponde a US\$ 0,53 por pneu.

A figura 62 apresenta a quantidade do produto coletado e destinado no período de 2002 a 2010, e a previsão para 2011 e 2012.

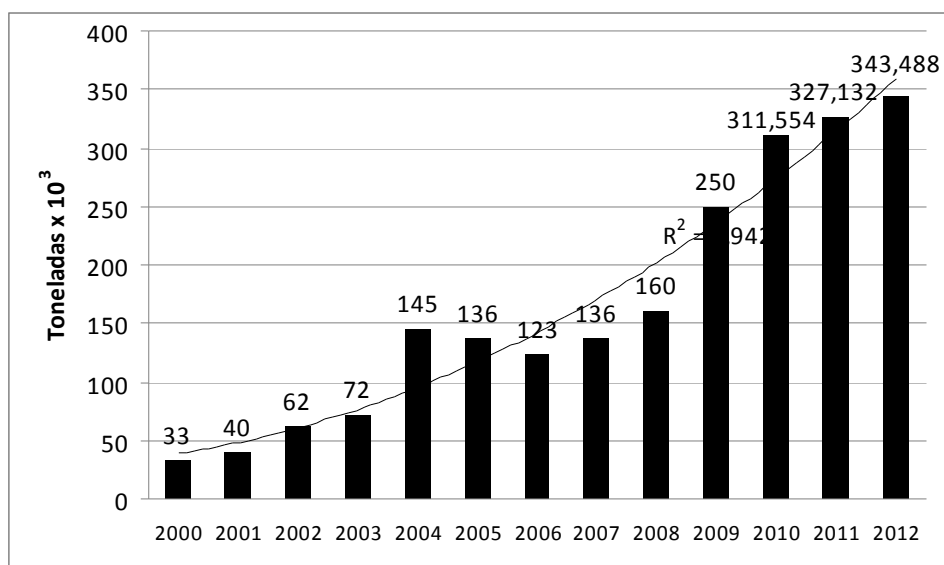


Figura 62 - Quantidade destinada no Brasil pelos fabricantes de pneus no período de 2000 a 2010, e a previsão para a reciclagem em 2011 e 2012.

Referência: Fácio (2010)

A previsão de investimento para 2011 é de US\$ 41,5 milhões, para a coleta e destinação dos pneus inservíveis, 25,76% maior quando comparado a 2010, com previsão de reciclagem de 327.132 toneladas. A tabela 26 apresenta os custos de destinação de 2002 até 2010, e as previsões para 2011 e 2012.

Tabela 26 – Custo da coleta até a destinação final dos pneus inservíveis.

| Ano | Destinação (t) (1) | Equivalente em pneus de automóveis (unidades) | R\$ | US\$ | R\$/t | R\$/pneu inservível destinado | US\$/pneu inservível destinado |
|----------|--------------------|-----------------------------------------------|------------|------------|--------|-------------------------------|--------------------------------|
| 2002 | 62.000 | 12.400.000 | 1.666.667 | 570.386 | 26,88 | 0,13 | 0,04 |
| 2003 | 72.000 | 14.400.000 | 5.000.000 | 1.624.431 | 69,44 | 0,35 | 0,04 |
| 2004 | 145.000 | 29.000.000 | 19.444.444 | 6.645.401 | 134,10 | 0,67 | 0,04 |
| 2005 | 136.000 | 27.200.000 | 26.111.111 | 10.723.249 | 191,99 | 0,96 | 0,05 |
| 2006 | 123.000 | 24.600.000 | 22.222.222 | 10.203.041 | 180,67 | 0,90 | 0,06 |
| 2007 | 136.000 | 27.200.000 | 28.888.889 | 14.830.025 | 212,42 | 1,06 | 0,07 |
| 2008 | 160.000 | 32.000.000 | 28.333.333 | 15.440.509 | 177,08 | 0,89 | 0,07 |
| 2009 | 250.000 | 60.285.714 | 47.928.000 | 24.000.000 | 191,71 | 0,80 | 0,40 |
| 2010 | 311.554 | 62.310.800 | 58.080.000 | 33.000.000 | 186,42 | 0,93 | 0,53 |
| 2011 (2) | 327.132 | 65.426.400 | 67.728.000 | 41.500.000 | 207,04 | 1,04 | 0,63 |
| 2012 (3) | 343.488 | 68.697.600 | 78.400.000 | 52.190.400 | 243,11 | 1,22 | 0,76 |

(1) Destinação foi iniciada pelos fabricantes em 1999. No período de 1999 a 2001, foram reciclados 107.285,71 t, sendo que os custos para a coleta e destinação, não foram informados.

(2) Previsão para a reciclagem de pneus inservíveis em 2011, crescimento de 5% em comparação a 2010.

(3) Previsão para a reciclagem em 2012, crescimento de 5% e aumento de custo de 18,07% em relação a 2011.

Referência: Elaborado pelo autor com dados^{40,41}; Martins e Belini (2011); Faccio (2011); Reciclanip (2011)

Os custos para a destinação final dos pneus são divididos em:

- a) coleta e transporte: R\$ 250 por tonelada;
- b) coprocessamento de pneus inteiros: R\$ 50 por tonelada;
- c) coprocessamento de pneus triturados: R\$ 0;
- d) pré-tratamento dos pneus, considerando a trituração em chips de 2" para o coprocessamento de pneus triturados em fornos de clínquer: R\$ 100 por tonelada;
- e) coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso: R\$ 4,72 a 30,68 por tonelada;
- f) Laminação de pneus inservíveis convencionais / diagonais: R\$ 180 a 220;

⁴⁰ ARANHA, R. **Dados estatísticos sobre a reciclagem de pneus no Brasil em 2009 – IBAMA.** [mensagem pessoal]. Enviada por: <pneus.sede@ibama.gov.br> recebida em: 8 nov. 2010. 1p.;

⁴¹ MARTINS, L. **Dados estatísticos sobre a reciclagem de pneus no Brasil – IBAMA.** [mensagem pessoal]. Enviado por: <lilian.martins@ibama.gov.br> recebida em: 04 set. 2009.

- g) venda do aço dos talões e das cintas de aço para a indústria siderúrgica: R\$ 250 por tonelada.

O custo de coleta e transporte não considera o custo de armazenamento nos pontos de coleta, combustível, caminhões das prefeituras utilizados para a coleta nos municípios e a mão-de-obra utilizada para o carregamento dos pneus usados⁴². Em São Paulo, foi realizado convênio entre a associação dos fabricantes e as transportadoras, que cobram R\$ 550 pelo transporte dos pneus dos pontos de coleta até a sua destinação, em um raio de 150 km da Cidade de São Paulo, considerando uma carga fechada de 2.000 pneus de automóveis ou 300 pneus de carga. No Estado de São Paulo o frete cobrado é de R\$ 2,5 por quilômetro, para o transporte dos pneumáticos inservíveis.

Os caminhões utilizados para o transporte dos pneus inservíveis são adaptados, em função do volume que os mesmos ocupam.

O custo para o coprocessamento dos pneus inservíveis com a rocha de xisto pirobetuminoso varia em função do volume a ser triturado. A Reciclanip não envia os pneus inservíveis para esse processo.

No caso do coprocessamento de pneus triturados em fornos de clínquer, não há pagamento pelo coprocessamento. O custo para este processo e a coleta, transporte e trituração dos pneus é de R\$ 350 por tonelada, ou seja, R\$ 1,75 por pneu inservível de automóvel.

O custo para o coprocessamento de pneus inservíveis inteiros em fornos de clínquer é de R\$ 50 por tonelada. O custo para este processo, a coleta e transporte até as empresas de coprocessamento é de R\$ 300 por tonelada, ou seja, R\$ 1,5 por pneu inservível de automóvel.

Os laminadores de pneus inservíveis diagonais / convencionais fazem a coleta dos pneus nas regiões norte, nordeste e centro-oeste. Os pneumáticos convencionais / diagonais são comprados em borracharias, revendas e distribuidores e são levados para as empresas de laminação para serem cortados. O custo para a destinação é de R\$ 0,9 a 1,1 por pneu inservível.

Os pneus radiais de automóveis possuem na sua composição em média 7% em peso de aço, e os de ônibus e caminhões, 20%. A venda do aço para a indústria

⁴² Como os pontos de coleta não realizam a triagem e a seleção para a classificação de pneus servíveis e inservíveis, os pneus são considerados usados quando da coleta.

siderúrgica é importante junto com o subsídio, para manter as empresas de pré-tratamento no Brasil.

Hierarquia para a destinação dos pneus inservíveis pelos fabricantes

A associação dos fabricantes envia os pneus inservíveis para 22 cimenteiras, 6 empresas de pré-tratamento e 12 empresas de laminação em todo o Brasil.

Para a destinação dos pneus inservíveis, a associação que representa os fabricantes, avalia o custo e a capacidade das empresas. Abaixo segue a hierarquia para a destinação dos pneus inservíveis:

- 1ª Laminação de pneus diagonais / convencionais;
- 2ª Coprocessamento de pneus inservíveis inteiros (55% do volume destinado);
- 3ª Coprocessamento de pneus inservíveis triturados (45% do volume destinado);
- 4ª Granulado de Borracha / Pó de Borracha;
- 5ª Pirólise.

No caso da laminação de pneus, as próprias empresas realizam a coleta e fazem a laminação. A associação que representa os fabricantes, compra os serviços e certificados de destinação final dos pneus laminados, que são utilizados para a comprovação da reciclagem dos fabricantes associados. A capacidade das empresas de laminação média é de 18.000 pneus inservíveis diagonais / convencionais por ano, o que representa 720 toneladas por ano.

Em 2010, foram destinados 185.000 toneladas de pneus inservíveis para o processo de coprocessamento, sendo que 101.750 toneladas foram coprocessados inteiros e 83.250 toneladas coprocessados triturados. A associação dos fabricantes paga para as empresas de pré-tratamento, a trituração dos pneus em chips de 2”, antes do envio para as cimenteiras, é realizado uma nova trituração para chip de 1”, esta trituração é paga pelas empresas cimenteiras;

Na figura 63 está apresentado o diagrama de blocos dos fabricantes de pneus. O modelo atual dos fabricantes de pneus, será descrito abaixo:

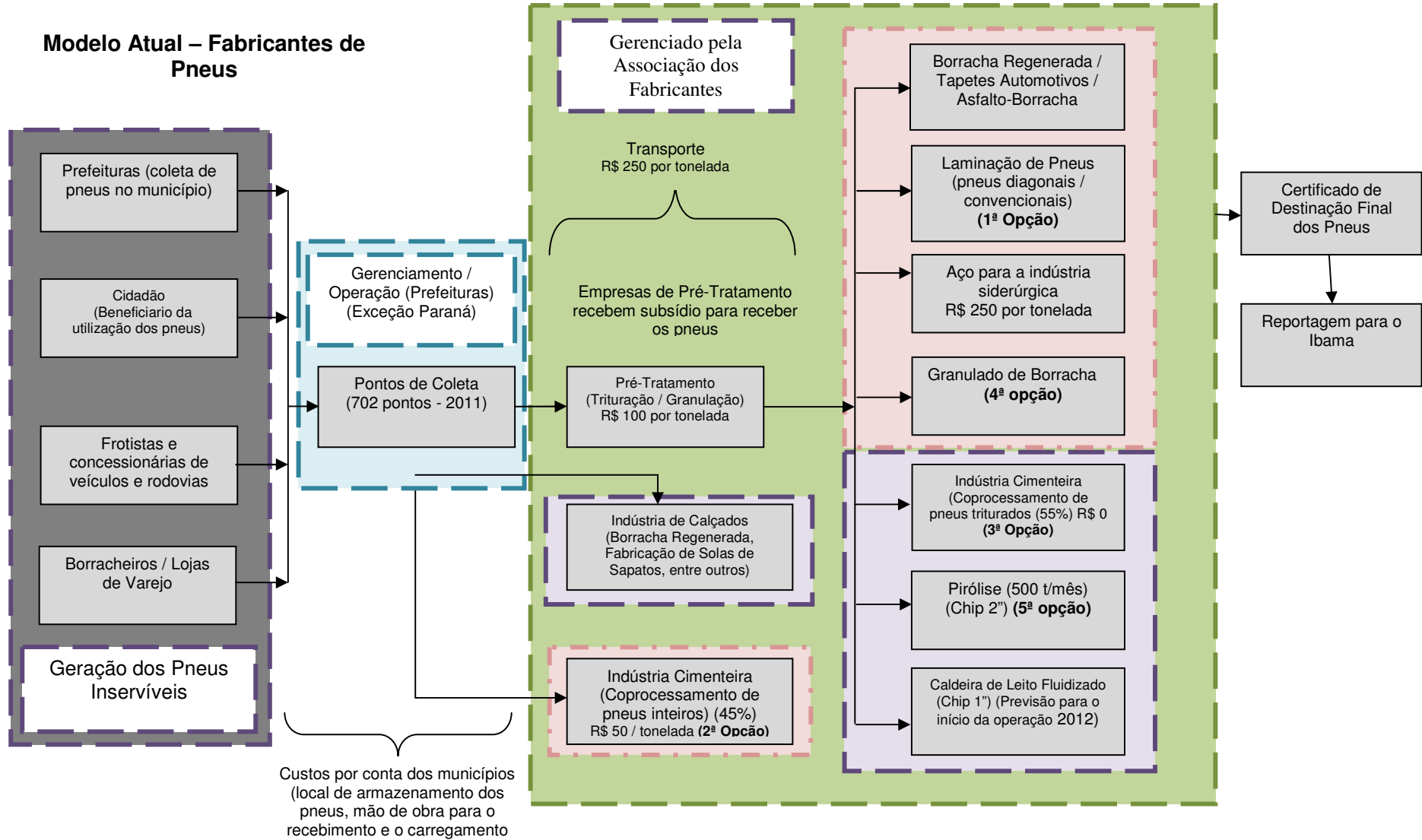


Figura 63 – Diagrama de blocos de logística reversa dos fabricantes de pneus.

a) Prefeituras

As prefeituras são as responsáveis pela coleta de pneus inservíveis nos municípios que possuem o convênio com a Reciclanip. Utilizam mão-de-obra e caminhões ou tratores para a realização da coleta, principalmente nos períodos de chuvas, onde ocorre com maior incidência a propagação de mosquitos como o *Aedes aegypti* e o *Anopheles*.

b) Consumidor

O consumidor, que é o beneficiário da utilização dos pneus e gerador dos pneus, leva os pneus usados para os pontos de coleta. Alguns pontos necessitam de um agendamento prévio para a entrega dos pneus usados, já que não possuem funcionários no local para a coleta e o armazenamento. Geralmente, são os funcionários da limpeza pública que atendem o munícipe quando da entrega dos pneus usados.

O consumidor ao trocar o pneu usado por um novo pode deixar o mesmo na loja para a reciclagem ou levá-lo para casa.

c) Frotistas, concessionárias de veículos e rodovias

Os frotistas são as empresas que possuem frotas de veículos para o transporte de carga e de pessoas. Geralmente, estas empresas possuem borracharias internas e contratos com empresas de recauchutagem, quando do término do número de reformas os pneus inservíveis ficam armazenados temporariamente nestas empresas ou são enviados para os pontos de coleta. Cada empresa possui a sua estatística de geração de pneus inservíveis, e como não existe um planejamento entre a geração e o envio para os pontos de coleta, em muitos casos os pontos de coleta não tem capacidade para o armazenamento de todos os pneus gerados.

As concessionárias de veículos quando da manutenção dos veículos, devem fazer o descarte dos resíduos gerados, inclusive dos pneus que são considerados inservíveis. Existem casos, onde os pneus removidos apresentam condições de

reforma ou falhas de fabricação. No caso de falha de fabricação, os pneus são enviados para os fabricantes para a avaliação técnica e posterior troca do pneu.

As concessionárias de rodovias coletam os pneus inservíveis que são jogados nas margens das rodovias e restos de banda de rodagem dos pneus de carga que apresentaram falhas. Estes pneus inservíveis e bandas de rodagem são enviados para os pontos de coleta.

d) Borracheiros / Lojas de Varejo

As borracharias fazem reparos em pneus de automóveis e carga, trocam os pneus usados por novos, realizam rodízios e fazem a calibragem. Além disso, fazem a triagem e seleção dos pneus, classificando em pneus servíveis e inservíveis. Os servíveis são vendidos como pneus meia-vida ou são enviados para os recauchutadores e remoldadores.

A coleta dos pneus servíveis é realizada por empresas que coletam e revendem para as empresas de reforma. Estas empresas compram os pneus servíveis das borracharias.

Os pneus inservíveis são armazenados a céu aberto na parte externa das borracharias.

Foi realizada uma pesquisa de campo em 40 borracharias localizadas na Cidade de São Paulo, na zona leste e oeste; e na Rodovia Castello Branco, próximo da Cidade de Barueri. Seguem os resultados da pesquisa:

- somente 10% dos pneus usados deixados nas borracharias são considerados servíveis;
- não possuem transporte próprio para levar os pneus inservíveis para os pontos de coleta;
- em 50% das borracharias, os pneus inservíveis são armazenados na parte externa, sendo que algumas possuem coberturas e outras não;
- 30% das borracharias não responderam as perguntas, achando que se tratava de uma fiscalização, ou alegaram que as informações são propriedade da empresa;
- as borracharias localizadas próximo de rodovias fazem a manutenção dos pneus de automóveis, ônibus e caminhões. Além disso, acumulam os

pneus servíveis por cliente para o processo de reforma e revendem pneus de carga reformados. Pode-se verificar na figura 64 e 65, o armazenamento dos pneus servíveis e inservíveis na parte externa e sem nenhum tipo de cobertura para evitar o acúmulo de água das chuvas;

- não foi informado o destino dos pneus inservíveis.

Existem prefeituras que fazem a coleta dos pneus inservíveis nas borracharias e os levam para os pontos de coleta.



Figura 64 – Borracharia localizada na Rod. Castello Branco, próximo da Cidade de Barueri – SP, vista frontal.

A Reciclanip não realiza a coleta e o transporte dos pneus inservíveis das borracharias para a destinação final. Em alguns municípios, as prefeituras fazem a coleta dos pneus inservíveis nas borracharias, empresas de transporte de carga, e reformadores, e os transportam até os pontos de coleta.

No Estado do Paraná, existem caminhoneiros que fazem a coleta dos pneus em borracharias e os vendem para as empresas de pré-tratamento.

Os fabricantes e importadores podem montar um programa para a coleta dos pneus inservíveis em borracharias para minimizar a armazenagem dos pneus, que muitas vezes ocorre na parte externa das borracharias e pode contribuir para o acúmulo de água e formação de vetores de doenças.



Figura 65 – Borracharia localizada na Rod. Castello Branco, próximo da Cidade de Barueri – SP, vista lateral

e) pontos de Coleta

Pontos de coleta montados pelos fabricantes de pneus

No Brasil, até setembro de 2009, os pontos de coleta concentravam-se em cidades com menos de 100 mil habitantes, enquanto que 70% da frota de veículos estão em cidades com mais de 100 mil habitantes.

O sistema de coleta implementado no Brasil em 2009 era insuficiente para a coleta de todos os pneus usados, servíveis ou inservíveis. O programa de coleta é desenvolvido por meio de parcerias com as prefeituras, que cedem os terrenos dentro de normas específicas de segurança e higiene para receber os pneus inservíveis vindos de origens diversas.

O critério para a implantação dos pontos de coleta era a localização próxima dos centros geradores, próximos de empresas de pré-tratamento, cimenteiras, laminadores e empresas que utilizam borracha dos pneus como matéria-prima para a fabricação de tapetes automotivos.

Os pontos de coleta devem ser locais cobertos e fechados para evitar a entrada de água da chuva, não possuem licenciamento ambiental e são aprovados pelas secretarias de saúde e meio ambiente dos municípios.

As prefeituras são responsáveis pelo gerenciamento do ponto de coleta e solicitação do transporte para a associação dos fabricantes, com 72 horas de antecedência, para o carregamento das carretas e o transporte. A carreta deve ter a sua capacidade máxima preenchida, o que determina o fluxo de retirada do passivo.

Não existe um padrão definido para a construção de um ponto de coleta, processo de seleção e triagem no momento do recebimento dos pneus usados, forma de armazenamento dos pneus no interior do ponto de coleta, fechamentos laterais para evitar a entrada da água da chuva.

A capacidade de armazenamento de um ponto de coleta varia em função do local disponibilizado pela prefeitura para o armazenamento temporário dos pneus em cada município.

Existem pontos de coleta onde os pneus usados são armazenados em áreas externas, cobertos com uma lona de PVC, para evitar o acúmulo de água das chuvas e a formação de mosquitos como o *Aedes aegypti* e o *Anopheles*.

Os pneus inservíveis são entregues nos pontos de coleta por borracheiros, empresas de reforma de pneus, frotistas, consumidores, empresas municipais de coleta de lixo, concessionárias de rodovias, distribuidores e revendas.

No Estado de Santa Catarina, os pneus usados enviados para um ponto de coleta são estocados e armazenados temporariamente. A empresa que faz a coleta faz uma seleção e a triagem dos pneus usados. Os pneus inservíveis são cortados para a redução do volume, antes do carregamento. Em 2009, foram coletados 245.196 pneus usados, sendo que 20% deste total foram enviados para a reforma ou venda como pneus meia-vida.

Nesse mesmo Estado, existe um ponto de coleta que recebe das revendas, distribuidores, empresas de reforma, empresas de frota e borracheiros, que descarregam os pneus usados, lotando o depósito, devido a uma falta de programação entre o gerador e o ponto de coleta, conforme apresentado na figura 66. Não há cobrança pelo poder público da utilização de área pública para a estocagem temporária dos pneus.



Figura 66 – Ponto de coleta localizado em Santa Catarina.

No ponto de coleta da cidade de Arquimedes – RO, os pneus usados são deixados na parte externa do ponto de coleta, que possui um galpão com 560 m² para o armazenamento temporário dos pneus e recebem os pneus do município de Buritis – RO, conforme a figura 67.



Figura 67 – Ponto de coleta na cidade de Arquimedes - RO.

Na parte interna do ponto de coleta observa-se a falta de seleção e triagem dos pneus usados, o acondicionamento não é realizado da forma correta, conforme a figura 68, ou seja, os pneus usados devem ser selecionados por tipo e após isso entrelaçar um sobre os outros para aumentar a área disponível para a armazenagem.



Figura 68 – Ponto de coleta na cidade de Arquimedes - RO.

Os pontos de coleta localizados nas cidades de Tangará – MG e Perdizes–MG, possuem cobertura, mas as laterais são abertas, permitindo quando da época de chuvas o acúmulo de água no interior dos pneus usados, entrada de pessoas não autorizadas, entre outros. Pode-se observar que existe uma seleção dos pneus usados por tipo e o empilhamento uns sobre os outros, conforme as figuras 69 a 71.



Figura 69 – Ponto de coleta em Tangará - MG.
Referência: Murad (2007)



Figura 70 – Ponto de Coleta em Perdizes – MG.

Alguns pontos de coleta durante a entrega dos pneus retiram a água do seu interior antes do seu armazenamento. A secretária de saúde de alguns municípios faz uma inspeção quinzenal nesses pontos para a coleta e análise da água e verificar se existem vetores e roedores.



Figura 71 – Ponto de coleta em Perdizes - MG, acondicionamento dos pneus.

A pesquisa de campo foi realizada em 22 pontos de coleta, que representam 5% do total de pontos de coleta instalados no país, em 2010, onde foi constatado:

- os pneus usados são entregues de forma voluntária pela população, borracheiros, prefeituras, oficinas mecânicas e revendas;

- em alguns pontos de coleta é necessário um agendamento prévio para que sejam enviados funcionários da prefeitura para coleta dos pneus usados e armazenamento;
- algumas prefeituras definiram periodicidades para a coleta de pneus usados no município em função de históricos de geração;
- quando é atingida a capacidade de armazenamento do ponto de coleta, ou seja, no mínimo 2.000 pneus usados de automóveis e 300 pneus usados de carga, é solicitada a Reciclanip a coleta e destinação. O prazo de atendimento é de 72 horas;
- a Reciclanip não possui um sistema informatizado com o inventário semanal dos pontos de coleta, o que facilitaria a coleta dos pneus usados em vários municípios;
- somente 8,79% dos pontos de coleta pesquisados, fazem a triagem e seleção dos pneus usados;
- alguns pontos de coleta fazem à preparação dos pneus usados para o transporte; 13,6% fazem limpeza dos pneus usados, retiram a água acumulada no interior dos pneus, fazem aplicação larvicida para evitar a formação de vetores do mosquito da dengue e febre amarela;
- apenas 22% dos pontos de coleta possuem paredes laterais. Não existe legislação com os requisitos mínimos para a abertura de um ponto de coleta, existe apenas a proibição para a armazenagem os pneus a céu aberto;
- 40,9% dos pneumáticos usados quando recebidos nos pontos de coletas são separados por tipo e empilhados;
- 18,2% recebem os pneus usados coletados de outros municípios;
- com relação aos custos para o armazenamento, mão-de-obra, transporte, foi informado que são utilizados funcionários da prefeitura para o carregamento dos pneus usados dos pontos de coleta para o envio para a destinação final, conforme programação feita com a associação que representa os fabricantes. O ponto de coleta de Ji-Paraná - RO, informou que o custo para a estocagem de pneus é de R\$ 3.900 e que os salários pagos para os funcionários para a coleta, armazenamento e carregamento

é de R\$ 900. Estes custos, não fazem parte dos custos de destinação informados pela Reciclanip;

- 59,1% dos pontos de coleta conhecem o destino dos pneus usados. Eles são enviados para o coprocessamento em cimenteiras ou empresas de pré-tratamento. O destino dos pneus usados após a coleta é definido pela Reciclanip;
- os pontos positivos da implantação de pontos de coleta nos municípios é a redução de casos de dengue, evitar o envio dos pneus inservíveis para aterros, lixões, local concentrado para o descarte, entre outros;
- os pontos negativos são a falta de cobrança pelo poder público pelo uso de área pública para o armazenamento temporário dos pneus usados; falta de programação entre os geradores e os pontos de coleta; o que dificulta uma programação de coleta e o armazenamento dos pneus usados dentro dos depósitos; falta de conscientização da população com o descarte dos pneus usados nos pontos de coleta; falta de sistemática de coleta principalmente no Município de São Paulo, que possui apenas quatro pontos de coleta;
- os pontos de coleta localizados no Município de São Paulo não divulgaram a geração de pneus usados de 2010.

Pontos de coleta no Estado do Paraná

No Estado do Paraná não é feito convênio entre a Reciclanip e as prefeituras para a coleta e o armazenamento dos pneus usados. Existem algumas empresas de reforma que cedem o espaço para o armazenamento temporário dos pneus usados.

As empresas de reforma recebem os pneus usados, fazem a seleção e triagem, separando os pneus por tipo e classificando em servíveis e inservíveis. Os servíveis são utilizados no processo de reforma destas empresas.

As figuras 72 a 75 apresentam o processo que é realizado pelas empresas de reforma de pneus, que possuem ponto de coleta no Estado do Paraná.

Os pneus inservíveis são destinados para uma empresa de coleta, que é contratada pela Reciclanip para coletar, realizar o pré-tratamento e destinar os pneus inservíveis para o coprocessamento em fornos de clínquer em Rio Branco do Sul – PR.

Não existe nenhum custo para as empresas de reforma, que cedem o espaço para o armazenamento temporário e funcionários utilizados para o carregamento dos caminhões para a destinação final.



Figura 72 – Ponto de coleta em Apucarana – PR.



Figura 73 – Separação e armazenamento de pneus de automóveis.



Figura 74 – Pneus de carga separados dentro do ponto de coleta.



Figura 75 – Pneus de motos que são estocados amarrados para facilitar o transporte.

Análise dos pontos de coleta

Segundo o Ibama, para o melhor aproveitamento dos pneus usados no Brasil, é necessário aperfeiçoar o sistema de coleta, sob responsabilidade dos geradores, no caso os consumidores e com a participação dos pontos de revenda, distribuidores, borracheiros, fabricantes, importadores de pneus novos e automóveis, e o controle do uso dos pneus no país. Este sistema deverá:

- assegurar a reforma dos pneus no final da vida útil, pneus esses produzidos no Brasil ou importados novos;

- garantir matéria-prima em quantidade suficiente para reformadores de pneus;
- ampliar a atividade de reforma de pneus e a geração de empregos;
- evitar a disposição inadequada dos pneus inservíveis;
- direcionar os inservíveis para destinações licenciadas.

Além disso, é necessário melhorar e ampliar a fiscalização para que os órgãos responsáveis coíbam o uso dos pneus até o final da vida útil, estabelecendo um sistema de inspeção veicular. Como vantagens dessas práticas, haverá maior segurança nas ruas, avenidas e estradas e redução da geração de resíduos.

No município de São Paulo, os pneus não são verificados durante a inspeção veicular. Não existe previsão para implementação da inspeção de desgaste dos pneus, durante a realização da inspeção.

Mudança na legislação para a criação dos pontos de coleta

Em 2010, os fabricantes junto com as prefeituras montaram 469 pontos de coleta de pneus inservíveis em todo o Brasil, conforme apresentado na figura 76. Em janeiro de 2011 já são 702 pontos de coleta implementados pelos fabricantes. A partir da aprovação da Resolução n° 416/09, os fabricantes estão fazendo convênios com revendas e distribuidores para o recebimento de pneus inservíveis de forma voluntária, além dos pneus trocados nas lojas.

Em 2010, 84,4% dos pontos de coleta estavam localizados nas regiões sul e sudeste; 10,04% na região centro-oeste; 3,2% na região norte e 2,35% na região centro-oeste.

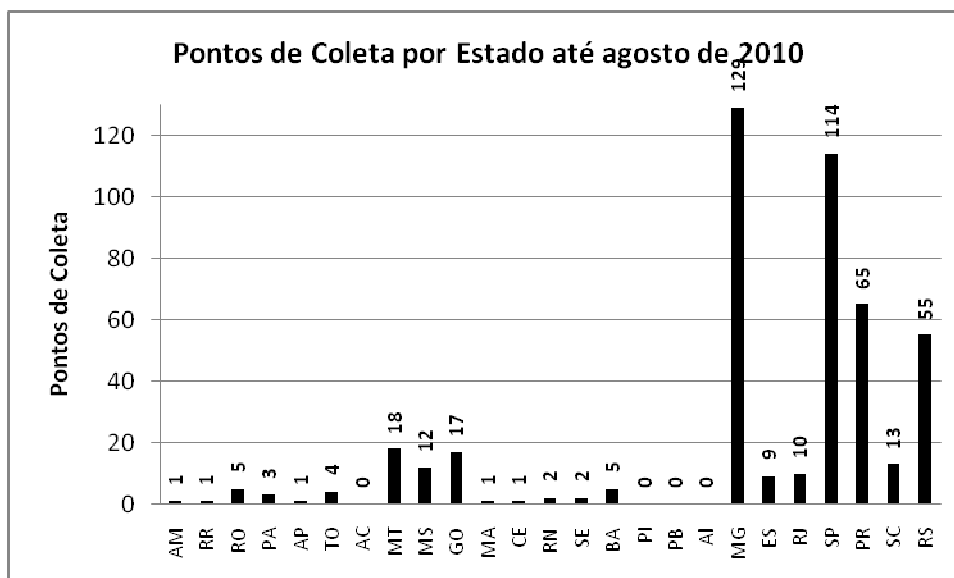


Figura 76 – Pontos de coleta implementados pelos fabricantes por estado até agosto de 2010.
Referência: Elaborado pelo autor com dados da Reciclanip (2011)

Em 2010, os pontos de coleta representavam 13,78% das vendas e distribuidores no país, e são insuficientes para a coleta de todos os pneus inservíveis gerados. Nas cidades que não possuem convênio com a associação dos fabricantes, os pneus inservíveis não são coletados, conforme informado por André Kovacs da área de planejamento da Secretária de Meio Ambiente de São Paulo (SMA) em 2011 (informação verbal)⁴³.

A figura 77 apresenta a quantidade de pontos de coleta no período de 2004 a julho de 2011.

⁴³ Entrevista realizada com André Kovacs, da Área de Planejamento da Secretária de Meio Ambiente de São Paulo, São Paulo em 2011.

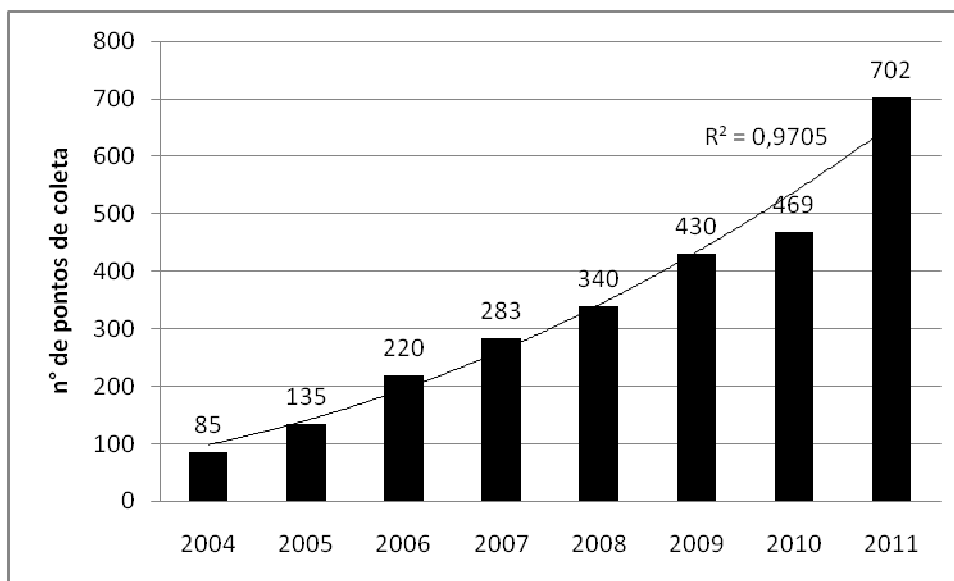


Figura 77 – Evolução dos pontos de coleta no período de 2004 a julho de 2011, implementado pelos fabricantes.
Referência: Faccio (2010; 2011⁴⁴)

Em julho de 2011, foi divulgado o Relatório de Pneumáticos pelo Ibama (2011).

Foram cadastrados entre outubro de 2009 a dezembro de 2010, 1.884 pontos de coleta, sendo que 73,04% estão instalados em municípios com população acima de 100 mil habitantes. Do total de pontos de coleta implementados no Brasil, 75,75% estão localizados nas regiões Sul e Sudeste, conforme a tabela 27.

Os responsáveis pelo cadastro dos pontos de coleta no CTF são os fabricantes e importadores de pneus. Não existe no CTF a quantificação dos pontos de coleta em revendas e distribuidores, borracheiros e municípios. Além disso, não existe um padrão mínimo para a montagem do ponto de coleta.

A quantidade de pontos de coleta implementados representa 47,1% das revendas e distribuidores no Brasil. Para uma sistemática de coleta mais eficiente, todas as revendas e distribuidores de pneus, devem receber de forma voluntária os pneus inservíveis, não só aqueles trocados nas lojas.

⁴⁴ Entrevista realizada com César Faccio – gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip, São Paulo em 2010 e 2011.

Tabela 27 - Distribuição dos pontos de coleta no Brasil por unidade federativa e região geográfica no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, implementados pelos fabricantes e importadores de pneus.

| Região | UF | Quantidade | % UF | % Região |
|--------------|----|------------|-------|----------|
| Norte | RR | 1 | 0,05 | 2,60 |
| | AM | 7 | 0,37 | |
| | AC | 2 | 0,11 | |
| | RO | 12 | 0,64 | |
| | PA | 25 | 1,33 | |
| | AP | 2 | 0,11 | |
| Sul | PR | 197 | 10,46 | 24,26 |
| | SC | 91 | 4,83 | |
| | RS | 169 | 8,97 | |
| Sudeste | MG | 231 | 12,26 | 51,49 |
| | SP | 578 | 30,68 | |
| | RJ | 125 | 6,63 | |
| | ES | 36 | 1,91 | |
| Nordeste | MA | 28 | 1,49 | 14,60 |
| | PI | 13 | 0,69 | |
| | CE | 25 | 1,33 | |
| | RN | 20 | 1,06 | |
| | PB | 33 | 1,75 | |
| | PE | 49 | 2,60 | |
| | AL | 11 | 0,58 | |
| | SE | 7 | 0,37 | |
| | BA | 89 | 4,72 | |
| Centro-Oeste | MT | 50 | 2,65 | 7,06 |
| | MS | 22 | 1,17 | |
| | GO | 51 | 2,71 | |
| | DF | 10 | 0,53 | |
| Total Geral | | 1.884 | | |

Referência: Elaborado pelo autor com dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

A evolução dos pontos de coleta por região é apresentado na figura 78. Após a aprovação da Resolução Conama nº 416/09, ocorreu um crescimento de 402,5% no número de pontos de coleta.

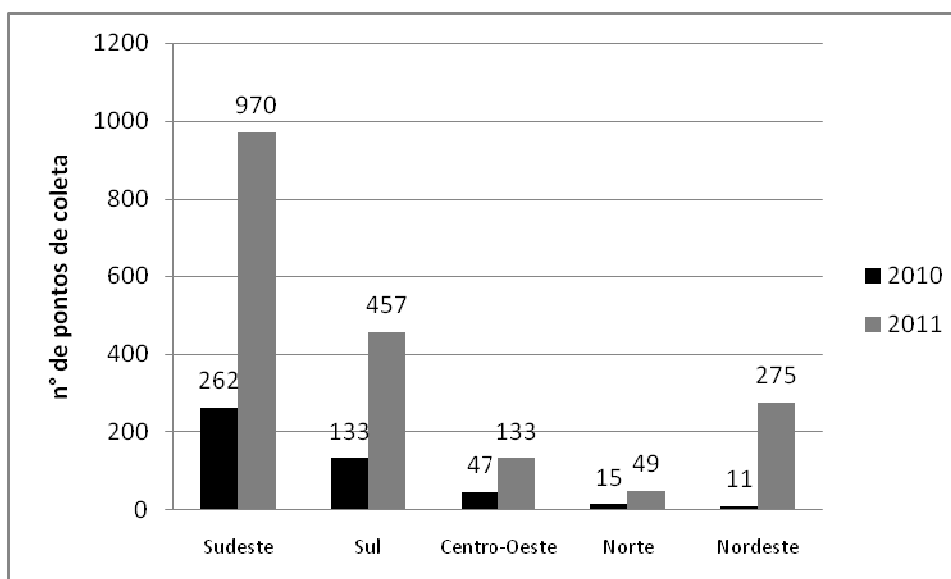


Figura 78 – Localização dos pontos de coleta por região, 31 de março de 2011. Referência: Elaborado pelo autor com dados do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011); Reciclanip (2011); Faccio (2010; 2011⁴⁵)

Não existe um controle do fluxo de pneus dentro dos municípios e estados, dificultando com isso o dimensionamento do ponto de coleta, localização e gerenciamento do recebimento, armazenamento e transporte.

A proposta é a utilização de consórcio entre os municípios para o armazenamento e controle dos pneus inservíveis e outros resíduos, com o objetivo de atender a Resolução Conama nº 416/99, a PNRS e as Resoluções Estaduais.

A movimentação dos pneus inservíveis dentro dos municípios para os pontos de coleta deve ser controlada com nota fiscal de recebimento no ponto de coleta. Atualmente, somente no Estado do Paraná é exigida a nota fiscal para o transporte de pneus inservíveis inteiros dentro do estado, não sendo permitida a entrada de pneus inservíveis inteiros de outros estados.

Empresas cadastradas para a destinação dos pneus inservíveis

Em 2010, existiam 124 empresas cadastradas no Ibama para as atividades de reciclagem e valorização energética dos pneus inservíveis. As regiões sul e sudeste representam 74,19% do total das empresas. A figura 79 mostra a quantidade de empresas por região.

⁴⁵ Faccio, op. cit.

Os fabricantes de pneus, destinaram no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, 357.743,12 toneladas, o equivalente a 71,55 milhões de pneus inservíveis (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS, 2011).

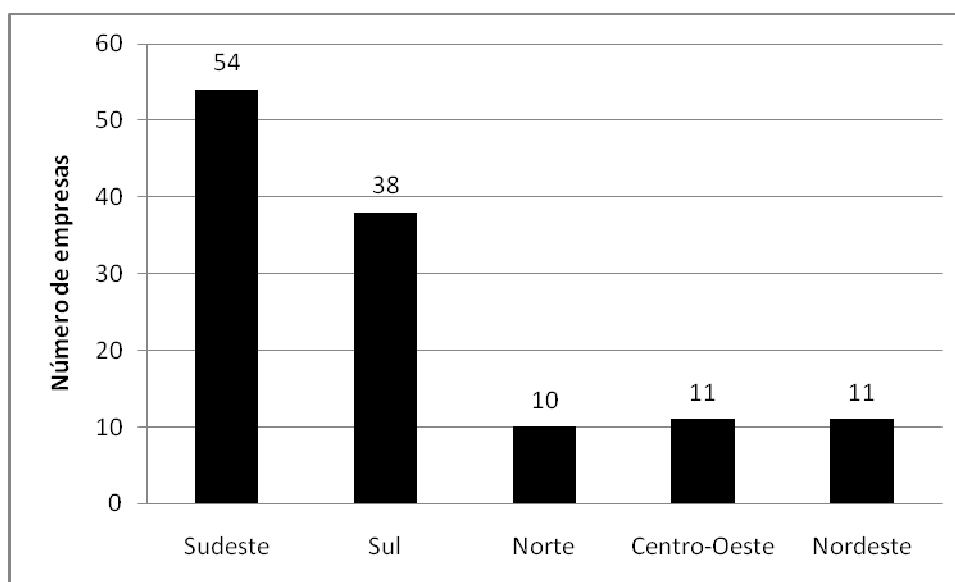


Figura 79 – Empresas de reciclagem de pneus inservíveis, em 2010.
Referência: Elaborado pelo autor com dados de Aranha (2011)

O destino dos pneus inservíveis pelos fabricantes em 2010 foi de 64% para o coprocessamento, 4% para a laminação de pneus diagonais / convencionais e 32% para a fabricação de granulado, pó de borracha, artefatos de borracha e a venda do aço retirado da banda de rodagem e talões para a indústria siderúrgica, conforme a figura 80.

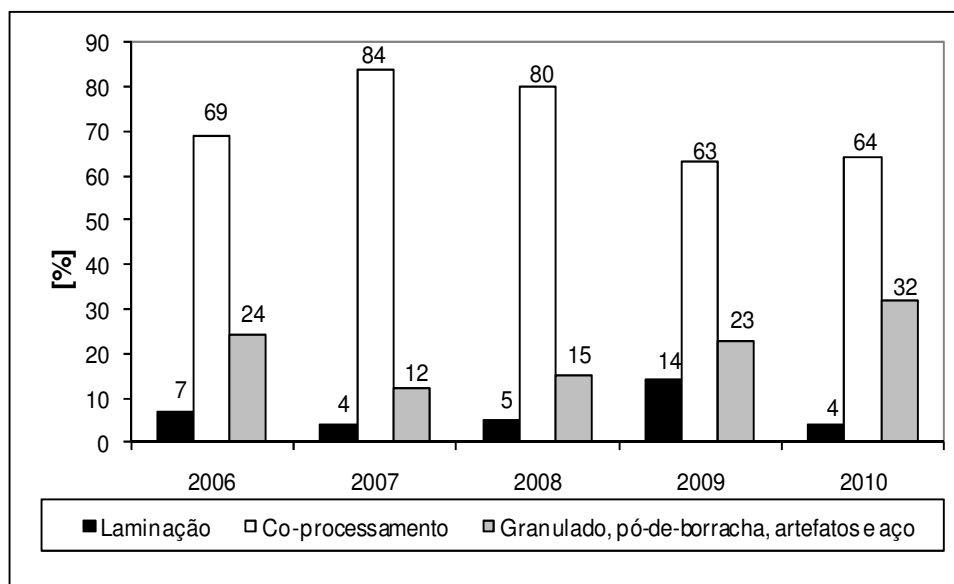


Figura 80 – Destinação de pneus no Brasil pelos fabricantes, no período de 2006 a 2010.

Em 2009, foram destinadas 250.000 toneladas pelos fabricantes, o equivalente a 50 milhões de pneus inservíveis, conforme apresentada na figura 81.

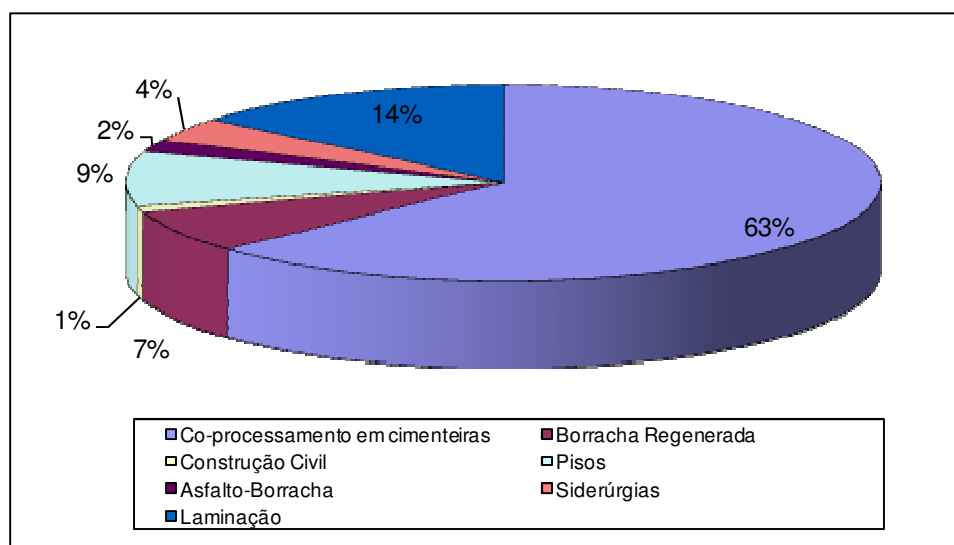


Figura 81 – Destinação pelos fabricantes de pneus no Brasil em 2009.
Referência: Fácio (2010)⁴⁶

⁴⁶ Entrevista realizada com César Fácio – gerente da Reciclanip, sobre o processo de coleta, tecnologias utilizadas para a reciclagem e destinação dos pneus inservíveis da Reciclanip, São Paulo em 2010 e 2011.

g) Certificação de destinação final dos pneus inservíveis

As empresas emitem um certificado de destinação final dos pneus inservíveis, e fazem o cadastro no Ibama.

h) Reportagem ao Ibama

Os fabricantes e importadores de pneus devem fazer o cadastro dos pontos de coleta, que devem ser feitos trimestralmente, ainda que os pontos sejam os mesmos, conforme a figura 82.

Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09

Caminho: [Serviços](#) >> [Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09](#) >> Cadastro de ponto de coleta para pneumáticos

Cadastro de Pontos de Coleta para Pneumáticos

Dados do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09

Período: * 1º trimestre de 2010

UF: * DISTRITO FEDERAL Selecione as opções desejadas

Município: * -- Selecione --

Endereço: * Digite os campos com os dados solicitados

CEP: *

Nome do Local: *

Responsável: *

Capacidade: Unidade

Dados gravados
Clique aqui para gravar as informações
Gravar Dados
Clique aqui para editar o registro

| Data | UF | Município | Endereço | CEP | Nome do Local | Responsável | Capacidade | Período | OPERAÇÃO |
|------------|----|-----------|--------------|-----------|---------------|-------------|------------|------------|----------|
| 19/03/2010 | DF | BRASILIA | RUA 20 NORTE | 71915-750 | GALPÃO | BRUNO | 111111 | 1º período | |
| 19/03/2010 | DF | BRASILIA | RUA 20 NORTE | 71915-750 | GALPÃO | BRUNO | 111111 | 1º período | |
| 19/03/2010 | CE | FORTALEZA | Rua sei lá | 70658-472 | Padaria | Gilberto | --- | 1º período | |
| 18/12/2009 | DF | BRASILIA | RUA 20 NORTE | 71915-750 | GALPÃO | BRUNO | 111111 | 4º período | |

Veja abaixo o explicativo sobre esse ícone

(*) preenchimento obrigatório Clique aqui para excluir o registro

Figura 82 – Cadastro dos pontos de coleta realizados pelos fabricantes e importadores de pneus.

Referência: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

A empresa destinadora deve informar o CNPJ e nome do fabricante ou importador de pneus. Deve ser selecionado pelo menos um campo de destinação: recicladora, laminadora, trituradora, cimenteira, industrialização do xisto e regeneradora, conforme a figura 83.

Quando a empresa envia as lascas ou resíduos para outra empresa processar e dar destinação final, conforme a figura 84.

Os fabricantes e importadores devem fazer o cadastro do número e peso dos pneus fabricados, importados, enviados a montadoras e exportados, utilizando a Nomenclatura Comum do Mercosul (NCM), conforme a figura 85.

Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09

Caminho: [Serviços](#) >> [Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09](#) >> Empresa fabricante e/ou importador de pneumáticos

Manual e Atendimento do Serviços On-Line
[Manual do Relatório de Pneumáticos: Resolução Conama nº 416/09](#)

Declaração de Operações Utilizando Pneumáticos - Fabricante e/ou Importador

Observação sobre a Declaração de Pneumáticos

Atenção
Deverão ser prestadas as informações referentes ao 4º trimestre de 2009 (outubro a dezembro) e ao 1º trimestre de 2010 (janeiro a março).

Saldo / Operações | Fabricação | Importação | Enviados à Montadora | Exportação

Informações Sobre Metas e Saldos para Destinações de Pneumáticos

Meta de Destinação: Kg
 Saldo de Destinação: Kg
 Cumprimento da Res. 416/2009: Kg

Veja abaixo o explicativo sobre esses campos

Informações de operações declaradas

Lista de Operações Declaradas

| Operação | Período | Quantidade(Kg) |
|-------------------|----------------------|----------------|
| IMPORTAÇÃO | 1º Trimestre de 2010 | 10,00 |
| EXPORTAÇÃO | 1º Trimestre de 2010 | 5,55 |
| FABRICAÇÃO | 1º Trimestre de 2010 | 10,00 |
| ENVIO À MONTADORA | 1º Trimestre de 2010 | 5,55 |

Informações de destinações declaradas

Lista de Destinações Declaradas

| Data | Empresa Beneficiada | Período | Reciclado(Kg) | Armazenado(Kg) |
|------------|----------------------------------------|----------------------|---------------|----------------|
| 14/04/2010 | A FANTASTICA FABRICA DE CHOCOLATES V23 | 1º Trimestre de 2010 | 100,00 | 10,00 |
| 01/04/2010 | A FANTASTICA FABRICA DE CHOCOLATES V23 | 1º Trimestre de 2010 | 5,55 | 5,00 |

Figura 85 – Declaração de operação dos pneumáticos pelos fabricantes e importadores de pneus.

Referência: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

9.2 RECICLAGEM DE PNEUS PELOS IMPORTADORES

Os importadores de pneus, de veículos automotores, máquinas agrícolas, não possuem uma associação responsável pela reciclagem dos pneus inservíveis.

Para importação dos pneus de 2002 a setembro de 2009, as empresas deviam reciclar os pneus inservíveis antes de realizar a importação dos pneus novos. Somente após a aprovação do Decex e Ibama era liberada a Licença de Importação (LI). A partir da aprovação da Resolução Conama nº 416/09, somente o Decex faz a aprovação da LI, os importadores tem até um ano para comprovar a destinação dos pneus inservíveis para o Ibama, no CTF. Além disso, devem fazer o cadastro dos pontos de coleta, trimestralmente.

O diagrama de blocos de logística reversa dos importadores de pneus, veículos automotores e máquinas agrícolas é apresentado na figura 86. Pode-se observar que os importadores compram os serviços e certificados de destinação final das empresas de pré-tratamento, laminação e coprocessamento dos pneus com a rocha de xisto pirobetuminoso.

Modelo Atual – Importador

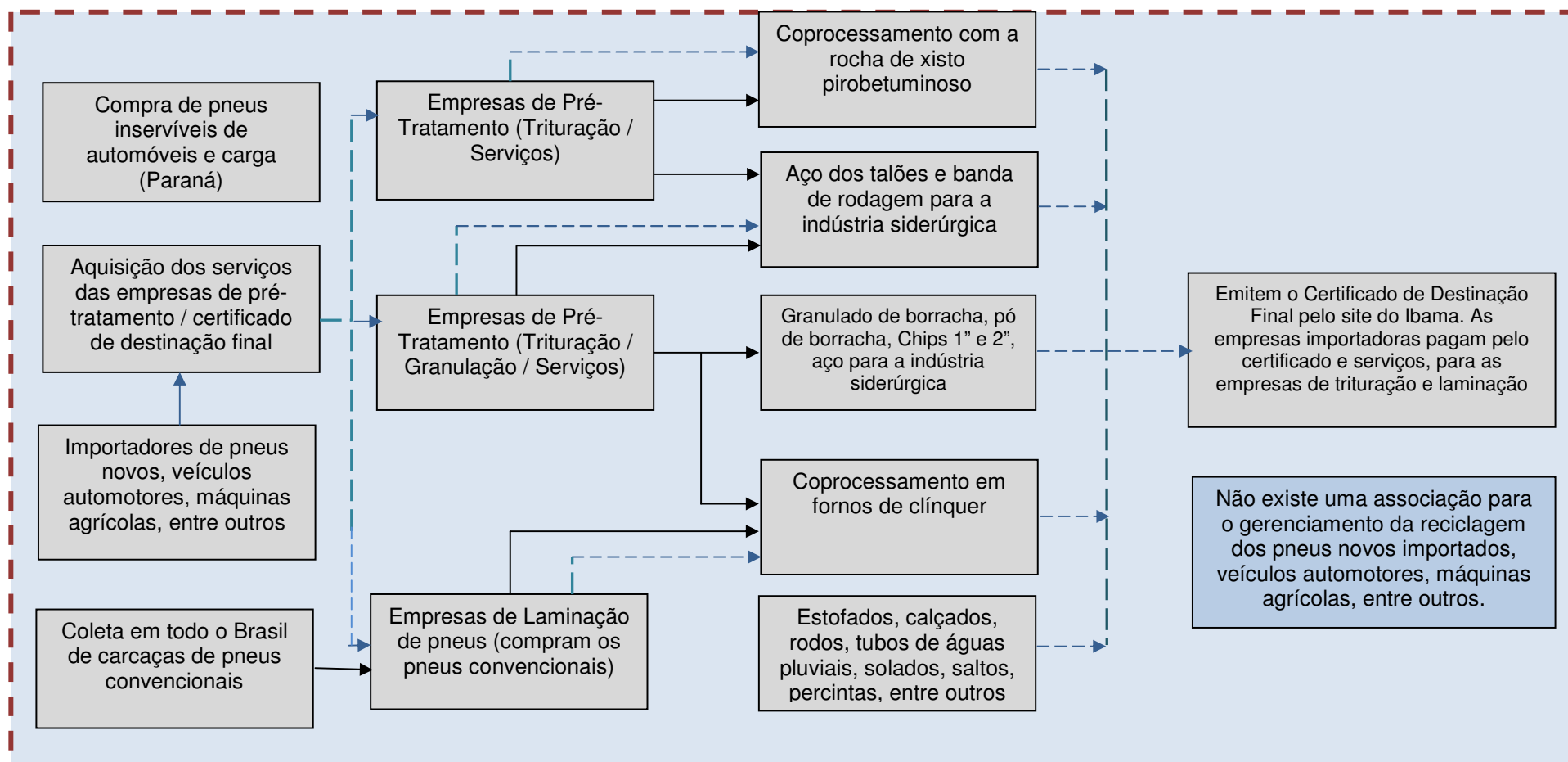


Figura 86 – Diagrama de blocos do modelo de logística reversa dos importadores.

9.3 DISTRIBUIDORAS E REVENDAS DE PNEUS

As distribuidoras e revendas participam do processo de coleta de pneus trocados pelos consumidores e contratos feitos com os integrantes de empresas de frotas para o retorno dos pneus inservíveis. A estratégia adotada pelos fabricantes foi utilizar as 4.500 revendas e distribuidores para fazer a coleta dos pneus usados, quando deixados pelos clientes de forma voluntária no momento da troca por pneus novos. Os pneus usados são estocados nas lojas e após atingir uma quantidade mínima, que depende do espaço disponível para o armazenamento, é solicitada às empresas de triagem e seleção a sua coleta, assim como a de outros resíduos.

As revendas são lojas que prestam serviço de montagem, balanceamento e alinhamento dos pneus.

Os distribuidores são lojas de revendas de pneus para revendas ou frotistas, não prestam serviços de montagem, alinhamento e balanceamento dos pneus.

Os distribuidores e revendas têm duas opções para o encaminhamento dos pneus usados, sendo: empresas de triagem e seleção; venda dos pneus para empresas que não possuem rastreabilidade do processo de coleta, triagem, seleção e destinação final.

Não existe um controle de quantos pneus são coletados e o seu destino. Alguns clientes têm receio de deixar os pneus nos distribuidores e revendas e levam os mesmos para casa achando que existe algum valor agregado.

Em 2003, aproximadamente 60% dos consumidores deixavam os pneus nas revendas após a troca por novos (DAVIDOFF, 2003). Em 2004, aproximadamente 63,1% deixam os pneus usados nas lojas após a troca (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2004).

Segundo estudo realizado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2006), de 100% vendidos no mercado de reposição, 54,1% foram considerados servíveis e 44,7% inservíveis. Do total de pneus servíveis 13,2% ficaram retidos com os consumidores, deste total, 7,5% são doados ou vendidos e 5,8% para uso próprio, o restante é considerado inservível.

O diagrama de blocos do processo de logística reversa das revendas e distribuidores é apresentado na figura 87.

Para que os clientes deixem os pneus usados nas lojas após a troca por novos, devem ser oferecidos: desconto na compra dos pneus novos; destruição dos pneus inservíveis na frente do consumidor; envio dos pneus servíveis para o processo de reforma; criação de um bônus para o incentivo a reciclagem de pneus, com a participação dos fabricantes e importadores.

Uma das maiores redes de revendas no Brasil possui uma empresa de triagem e seleção, que mantém um controle da quantidade de pneus coletados por loja e a sua respectiva destinação, ou seja, para o processo de reforma, venda como pneus meias-vidas e para as empresas de pré-tratamento, facilitando com isso a sua rastreabilidade em caso de fiscalização pelos órgãos ambientais.

Existem empresas de triagem e seleção que pagam um valor maior para a compra dos pneus usados, mas não existe um controle do processo de triagem, seleção e destinação final. Em alguns casos, os pneus usados são colocados na parte externa das lojas e nesse local é feita a primeira parte da triagem e seleção das carcaças.

O modelo ideal é aquele em que os distribuidores e revendas participem no processo de coleta e armazenamento dos pneus usados, não somente dos trocados nos veículos, mas também dos recebidos de forma voluntária em cada loja. Além disso, no momento da troca deve haver um incentivo pelos fabricantes, importadores, revendas e distribuidores para que os clientes deixem os pneus nas lojas para serem destinados após a troca. O controle deve ser feito através de nota fiscal, ou seja, caso o cliente opte por deixar o pneu na loja, deve constar na nota fiscal que os pneus foram deixados no local para destinação ou, caso os clientes decidam levar os pneus usados para casa, deve ser informado na nota fiscal o ponto de coleta mais próximo para a sua disposição.

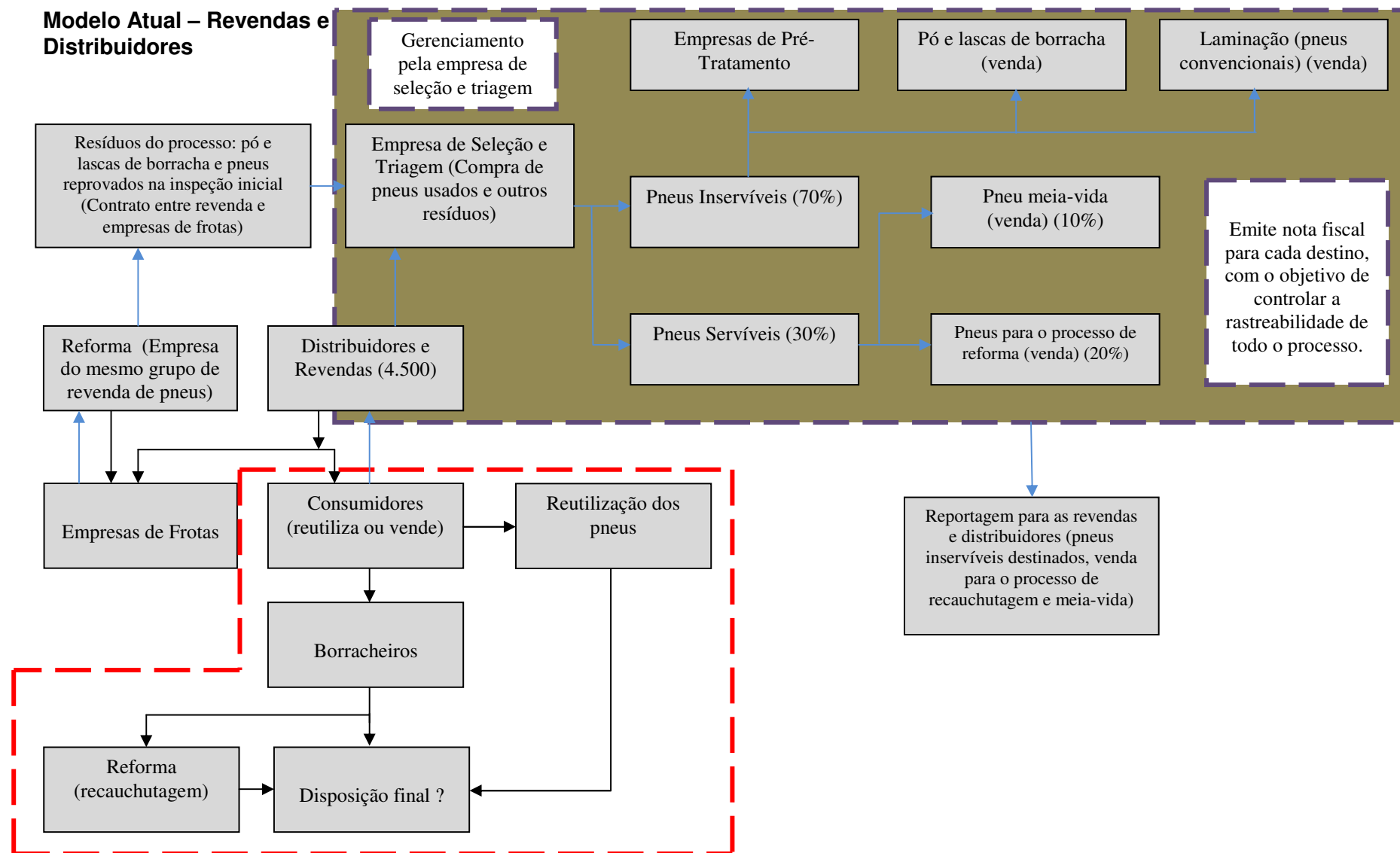


Figura 87 – Diagrama de blocos do processo de logística reversa das revendas e distribuidores no Brasil.

9.4 EMPRESAS DE SELEÇÃO E TRIAGEM DOS PNEUS USADOS

O cliente ao trocar o pneu usado em uma das mais de 4.500 lojas o deixa de forma voluntária, em seguida o pneu é encaminhado a uma empresa que faz a coleta, triagem e seleção. Não existe uma estatística da quantidade de empresas de seleção e triagem de pneus usados no Brasil.

A empresa coleta pneus usados, baterias, escapamentos, amortecedores, contrapesos utilizados no balanceamento dos pneus, pára-brisas, sucatas metálicas, plásticos, papelão, borracha e embalagens de óleo, das revendas e distribuidores, transporta estes resíduos pós-consumo, faz a triagem e seleção, e destina os resíduos para a reciclagem.

As empresas de seleção e triagem compram os pneus usados nas revendas e distribuidores. Algumas empresas pagam um valor maior na compra, mas o destino dos pneus inservíveis é desconhecido.

Outras necessitam um controle da entrada dos pneus usados, mas fazem a seleção dos pneus em servíveis e inservíveis e comprovam a destinação dos pneus inservíveis para as empresas de pré-tratamento e dos servíveis, que são vendidos para as empresas de recauchutagem ou meia-vida. O que mantém as empresas de triagem e seleção é a venda dos pneus servíveis e outros resíduos coletados.

Não existe uma regulamentação para a atividade de triagem e seleção no Brasil.

O diagrama de blocos do processo de coleta, triagem, seleção e disposição final dos pneus usados é apresentado na figura 88.

Além da conscientização e verificação periódica dos pneus em uso, os governos estaduais e prefeituras devem montar um plano para a melhoria dos pavimentos, o que aumenta a vida útil dos pneus em uso e reduz o custo de manutenção corretiva dos veículos e acidentes. A prevenção é a única forma de minimizar a quantidade de pneus inservíveis gerados no país todos os anos.

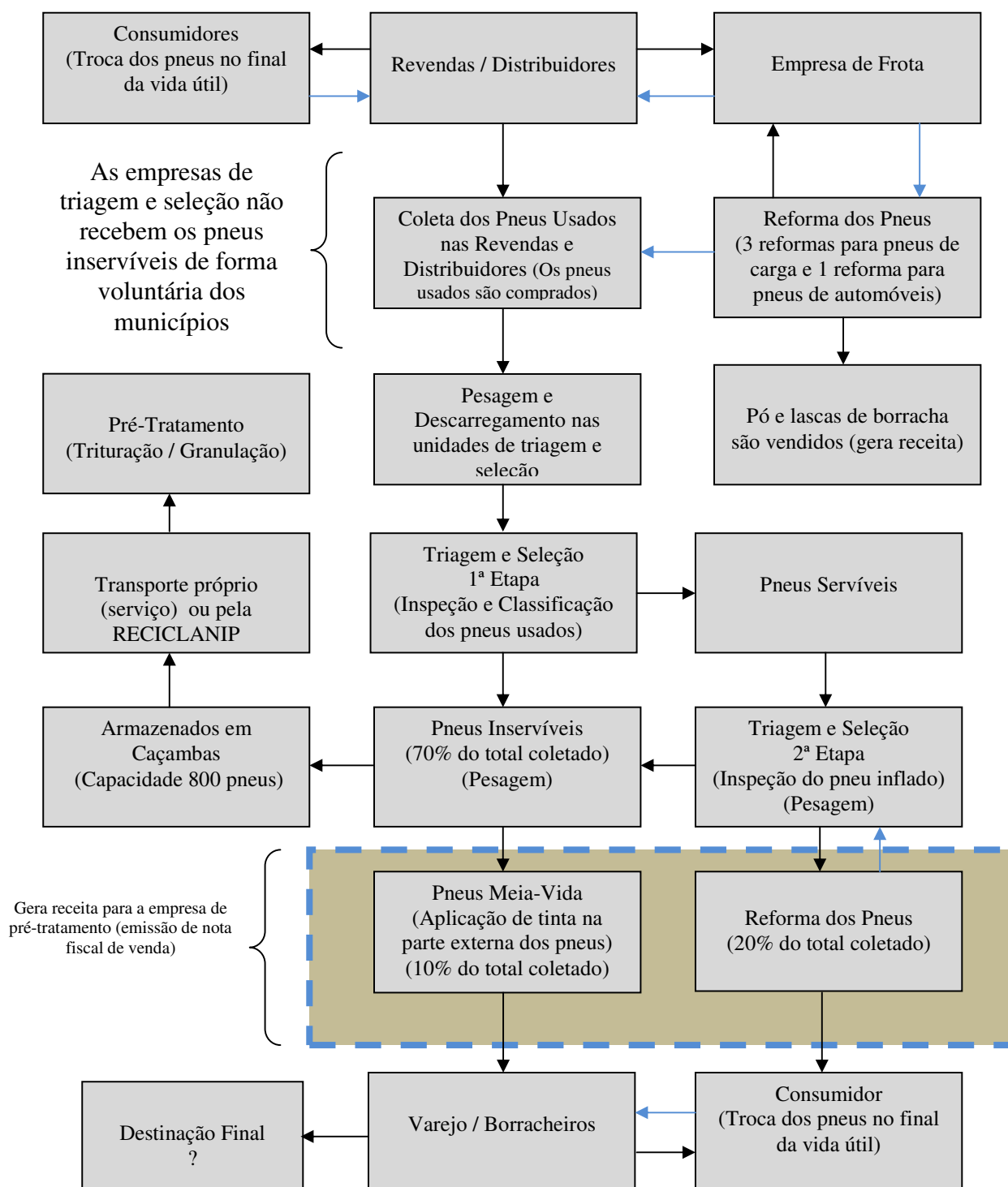


Figura 88 – Diagrama de blocos do processo de coleta, triagem, seleção e destinação dos pneus usados coletados em revendas e distribuidores.

Transporte, descarregamento e conferência

Os pneus são descarregados e conferidos por revenda. A capacidade de carga dos pneus usados no caminhão é de 1.000 a 1.200 e na caçamba de 700 a 800 pneus de automóvel. Os pneus são armazenados entrelaçados uns sobre os outros. Exemplo de caminhão utilizado na coleta dos pneus usados nas revendas e distribuidores é apresentado nas figuras 89 e 90. Dependendo da localidade e das restrições do município, a coleta é feita com um veículo que leva os pneus usados para outro ponto de carregamento.



Figura 89 – Caminhão utilizado para a coleta dos pneus em revendas e distribuidoras.



Figura 90 – Retorno e descarregamento do caminhão com pneus usados.

Algumas empresas de transporte de cargas e frotas de ônibus fazem contratos com as revendas e distribuidores para o descarte dos pneus inservíveis, após o término do ciclo de reforma. As empresas de recauchutagem e recapagem fazem o armazenamento dos pneus inservíveis entrelaçados nas caçambas, que posteriormente são coletados pela empresa de seleção e triagem. A caçamba utilizada em revendas e empresas de frotas é apresentada na figura 91.

Os pneus coletados nas revendas são separados em lotes, selecionados e classificados como servíveis e inservíveis. Os dados são compilados em uma planilha eletrônica no qual constam as porcentagens de pneus por revenda, considerados inservíveis, meia-vida e os destinados para a recauchutagem. Através desta planilha é verificada a quantidade de pneus inservíveis geradas por cada revenda.



Figura 91 – Caçamba utilizada em revendas e frotistas.

Exame e seleção primária dos pneus

Indicadores de Desgaste

O pneu possui indicadores de desgaste identificados com as letras TWI (*Tread Wear Indicator*) ou um triângulo, em oito pontos, localizados na banda de

rodagem. Quando a profundidade do sulco atinge o limite máximo permitido por lei, de 1,6 mm, faixas transversais tornam-se visíveis no fundo dos sulcos, indicando que o pneu deve ser removido do serviço.

As profundidades das cavidades da banda de rodagem serão limitadas a um desgaste máximo conforme a Resolução do Conselho Nacional de Trânsito (Contran) nº 558/80, o qual será determinado por indicadores visuais colocados nos pneus (BRASIL, 1980).

Os indicadores de desgaste da banda de rodagem devem advertir visualmente quando a profundidade das cavidades correspondentes da banda de rodagem estiverem reduzidas a 1,6 mm, com tolerância de + 0,6 mm / 0 mm, o que permite num rápido exame visual, avaliar se o pneu atingiu o limite de desgaste previsto por lei.

Seleção e Triagem

Os pneus usados nesta etapa são classificados como: pneus inservíveis e servíveis.

Em 1999, 65% de todos os pneus coletados eram considerados inservíveis. Em 2004, 68% eram considerados inservíveis, 16% vendidos como pneus meia-vida e 16% eram destinados para a reforma (LAGARINHOS, 2004). Em 2007, segundo a Mazola Pneus, 30% dos pneus usados podiam ser reformados (BRASIL, 2007).

Durante a pesquisa na empresa de triagem e seleção foi constatado que alguns pneus usados que foram trocados nas revendas, estão desalinhados com lona de aço exposta e careca, conforme as figuras 92 e 93.



Figura 92 – Pneu inservível com lona exposta, provocada pelo desalinhamento dos pneus.



Figura 93 – Pneu inservível que foi trocado em uma revenda de pneus.

Segundo Alvarenga (informação verbal)⁴⁷ do total coletado nas revendas e distribuidores, 70% dos pneus são considerados inservíveis, 20% destinados para o processo de reforma e 10% venda como pneus meia-vida. A empresa de triagem e seleção coletou em 2010, aproximadamente 450.000 pneus de automóveis e 35.000 pneus de caminhão.

Os pneus servíveis são acondicionados entrelaçados para a redução do espaço de armazenamento, manter estável a pilha e facilitar a sua retirada durante a 2ª parte da inspeção, conforme a figura 94.

O lote de pneus servíveis passa por uma nova inspeção para averiguar irregularidades não detectadas na 1ª etapa do processo de triagem e seleção. Os pneus considerados servíveis são enviados para o processo de recauchutagem ou são vendidos como pneus meia-vida, após serem inspecionados e pintados.

No Brasil, de todos os pneus trocados em revendas e distribuidores, 70% são considerados inservíveis, devido à falta de manutenção, alinhamento e balanceamento do veículo, a falta de conscientização do condutor com relação à inspeção e calibração dos pneus de forma periódica, a falta de fiscalização pelas autoridades competentes, poder aquisitivo da população, o que compromete a segurança do veículo e diminui a vida útil dos pneus, tornando-os inservíveis.

⁴⁷ Entrevista realizada com Marcelo Alvarenga, diretor da Mazola Logística e Reciclagem, Valinhos em 2011.



Figura 94 – Pneus servíveis após a 1ª etapa de triagem e seleção, que representa 30% do total coletado.

Os pneus inservíveis são acondicionados durante a 1ª parte da inspeção em uma área definida, para posterior carregamento nas caçambas, conforme a figura 95.



Figura 95 – Seleção dos pneus inservíveis após a 1ª etapa da triagem e seleção, que representa 70% do total coletado em Valinhos – SP.

Os pneus inservíveis são armazenados em caçambas que são cobertas após o término do carregamento para evitar o acúmulo de água durante as chuvas. Pode-se observar na figura 96 a quantidade de caçambas de pneus inservíveis aguardando a coleta e destinação final.



Figura 96 – Caçambas cobertas aguardando a coleta e destinação final dos pneus Inservíveis em Valinhos – SP.

Existem empresas de pré-tratamento de pneus inservíveis que deixam as caçambas a disposição da empresa de triagem e seleção para o armazenamento dos pneus inservíveis. Estas empresas fazem a coleta e o transporte até a unidade de pré-tratamento, que fica localizada na cidade de Jundiaí - SP e São Bernardo do Campo - SP.

Exame final dos pneus

Os pneus servíveis passam por uma nova inspeção da carcaça e são inflados para verificar problemas não detectados na inspeção visual. A figura 97 mostra o processo de inspeção das carcaças. Nesta etapa os pneus são classificados como pneus meia-vida, para o processo de reforma e inservíveis.



Figura 97 – 2ª etapa do processo de triagem e seleção.

Os pneus servíveis após serem separados e classificados como pneus meia-vida, são pintados com uma tinta, para melhorar a aparência, conforme a figura 98.



Figura 98 – Pneus meia-vida pintados com tinta a base d'água.

Após o término do processo de pintura e secagem, os pneus são separados por aro e estocados em um galpão coberto para venda ao consumidor, conforme a figura 99.



Figura 99 – Área de estocagem dos pneus meia-vida.

Os pneus convencionais são armazenados no interior do galpão e são vendidos para as empresas de laminação, para a fabricação de percintas para sofás, entre outros, conforme a figura 100.



Figura 100 – Área coberta para a armazenagem dos pneus inservíveis convencionais de ônibus e caminhão.

Os resíduos do processo de raspagem dos pneus de carga durante os processos de recapagem e recauchutagem são comprados pela empresa de seleção e trituração e vendidos para as empresas que fabricam tapetes automotivos, borracha regenerada e empresas que peneiram até atingir uma granulometria ideal para a utilização no asfalto-borracha. O custo de venda desse material é inferior ao custo do pó de borracha após o processo de pré-tratamento. A figura 101 mostra o pó e lascas de borracha geradas pela raspagem dos pneus durante o processo de recauchutagem e recapagem.



Figura 101 – Pó e lascas de borracha geradas pelo processo de reforma dos pneus de carga.

O pó e lascas de borracha do processo de raspagem não devem ser contabilizados nas estatísticas de reciclagem de pneus, por se tratar de um resíduo do processo de reforma.

Existem empresas de seleção e triagem de pneus que trabalham para várias revendas e distribuidores de pneus, que não possuem estrutura e rastreabilidade do processo de coleta, seleção, triagem e destinação para os pneus, chegam em alguns casos a pagar mais pelos pneus usados.

A atividade de seleção e triagem deve ser regulamentada, controlada e fiscalizada pelos órgãos ambientais para controlar o fluxo dos pneus usados nos municípios, estados e no país. Existem empresas que trabalham de acordo com a legislação, normas e procedimentos, possuindo toda a documentação necessária para a rastreabilidade de todo o processo da coleta até a destinação final.

As empresas de triagem e seleção devem classificar os pneus como servíveis ou inservíveis, emitir uma nota fiscal para o envio dos pneus inservíveis para os pontos de coleta ou para a destinação final, e uma nota fiscal para a venda como pneus meia-vida ou para a indústria de reforma. Deve ser reportada para os órgãos ambientais a quantidade de pneus inservíveis e a sua destinação, vendas para a indústria de reforma e meia-vida.

9.5 CUMPRIMENTO DA RESOLUÇÃO Nº 258/99 E Nº 416/09

No Brasil, os importadores de pneus novos⁴⁸ no período de 2002 a 2010, destinaram 859.479,45 toneladas, o equivalente a 171,89 milhões de pneus inservíveis de automóveis. A tabela 28 apresenta a reciclagem de pneus inservíveis pelos importadores de pneus novos no período de 2002 a 2010.

Em julho de 2011, foi publicado pelo Ibama o Relatório de Pneumáticos, referente a reciclagem de pneus inservíveis no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010. Os dados foram obtidos no CTF do Ibama. O relatório apresenta informações consolidadas de 15 fabricantes de pneus e 466 importadoras de pneus novos. A meta para a destinação no período foi de 560.337,63 toneladas, com destinação de 555.107,62 toneladas, o que representa 99,07% da reciclagem, sendo 105,88% reciclados pelos fabricantes e 87,04%, pelos importadores.

No período de outubro a dezembro de 2010, 466 empresas importadoras estavam cadastradas no CTF, reciclando no período apenas 87,04% da meta, que era de 202.594,52 toneladas. Segundo o relatório de pneumáticos (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS, 2011), houve um retrocesso no cumprimento da meta pelas empresas importadoras de pneus novos, quando comparado com as metas estabelecidas pela Resolução Conama nº 258/99, revogada pela nº 416/09.

No período de 2002 a outubro de 2009, os importadores de pneus novos tinham que comprovar a destinação dos pneus para obter a aprovação da LI.

Quando vigorava a Resolução Conama nº 258/99, os importadores de pneus novos tinham de comprovar a destinação antes do embarque da mercadoria porque o Ibama, órgão anuente da atividade, só liberava a importação mediante a comprovação da destinação de pneus inservíveis. Assim, os importadores sempre cumpriram as metas de destinação.

Com a aprovação da Resolução nº 416/09, o Ibama deixou de ser anuente, pois a comprovação de destinação é feita posteriormente ao recebimento dos pneus novos. As empresas importadoras passaram a ter até um ano para comprovar a destinação e, então, muitos importadores acham que não precisavam mais cumprir as metas estabelecidas e outros alegam o desconhecimento da Lei.

⁴⁸ Inclusive os pneus novos importados equipados em veículos e equipamentos agrícolas.

Das 466 empresas importadoras de pneus novos cadastradas no CTF, apenas 3,43% responderam dentro do prazo previsto na Instrução Normativa nº 001/10. Em fevereiro de 2011, o Ibama notificou 450 empresas para que regularizassem sua situação.

Segundo o Ibama (2011), algumas empresas mesmo notificadas não cumpriram as metas de reciclagem, cabendo ao instituto a aplicação de medidas administrativas cabíveis, objetivando o cumprimento da meta estabelecida.

Tabela 28 – Reciclagem de pneus inservíveis pelos importadores de pneus novos no período de 2002 a 2010.

| Período | Importadores de pneus novos | |
|-----------------|-----------------------------|---------------|
| | Destinação (t) | % cumprimento |
| 2002 | 1.196,79 | 100,00 |
| 2003 | 13.406,98 | 100,00 |
| 2004 | 34.235,33 | 100,00 |
| 2005 | 63.951,12 | 100,00 |
| 2006 | 95.679,13 | 100,00 |
| 2007 | 184.397,03 | 100,00 |
| 2008 | 161.065,28 | 100,00 |
| jan/09 a set/09 | 129.214,26 | 100,00 |
| out/09 a dez/10 | 176.333,53 | 87,04 |
| Total | 859.479,45 | 97,03 |

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Martins (2009); Aranha (2010); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

As empresas importadoras de pneus usados não cumprem as metas desde 2003. No período de 2003 a 2009, somente 12,92% dos pneus usados que entraram no país foram reciclados. A partir de 2009 a importação de pneus usados foi proibida no Brasil, inclusive dos países membros do Mercosul. A tabela 29 apresenta a reciclagem do material pelos importadores de pneus usados no período de 2003 a junho de 2009.

Tabela 29 – Reciclagem de pneus pelos importadores de pneus usados no período de agosto de 2003 a junho de 2009.

| Período | Importadores de pneus usados | | |
|-----------------|------------------------------|------------------|---------------|
| | Meta (t) | Destinação (t) | % cumprimento |
| ago/03 a dez/03 | 9.864,81 | 5.043,04 | 51,12 |
| 2004 | 70.848,99 | 9.541,61 | 13,47 |
| jan/05 a out/05 | 99.166,04 | 1.849,70 | 1,87 |
| nov/05 a ago/06 | 79.676,91 | 9.121,53 | 11,45 |
| set/06 a dez/07 | 115.433,47 | 16.856,52 | 14,60 |
| jan/08 a jun/09 | 66.213,35 | 14.592,20 | 22,04 |
| Total | 441.203,56 | 57.004,59 | 12,92 |

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Martins (2009); Aranha (2010)

A associação que representa os fabricantes de pneus destinou 250.000 toneladas de pneus inservíveis em 2009. O objetivo para atender a Resolução Conama nº 258/99 e nº 416/09 era de 250.000 toneladas. O Ibama, após o fechamento e análise dos certificados de destinação, informou que os fabricantes destinaram 230.743,75 toneladas em 2009, cumprindo 92,3% do objetivo.

No período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, foram vendidos no mercado de reposição 52.769.776 pneus, o que corresponde a 800.482,34 toneladas, sendo que 79,04% dos pneus foram produzidos no Brasil e 20,96% importados (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVAVEIS, 2011). A meta para a reciclagem de pneus inservíveis era de 560.337,63 toneladas.

No período de 2002 ao primeiro semestre de 2011, somente 47,3% das metas foram cumpridas, conforme a tabela 30.

No período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, foram destinadas 378.774,09 toneladas de pneus inservíveis, o que corresponde a 105,88% da meta de reciclagem. As 15 empresas fabricantes de pneus cumpriram, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, a meta de destinação conjuntamente e individualmente pelo Cadastro Nacional de Pessoa Jurídica (CNPJ) de cada empresa.

Tabela 30 – Reciclagem de pneus no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011, pelos fabricantes de pneus.

| Período | Fabricantes de pneus | | |
|--------------|----------------------|---------------------|---------------|
| | Meta (t) | Destinação (t) | % cumprimento |
| 2002 | 83.985,94 | 98.826,10 | 117,67 |
| 2003 | 174.190,43 | 61.635,52 | 35,38 |
| 2004 | 378.978,44 | 134.998,93 | 35,62 |
| 2005 | 489.144,71 | 139.956,87 | 28,61 |
| 2006 | 448.277,33 | 135.817,09 | 30,30 |
| 2007 | 492.539,41 | 134.809,69 | 27,37 |
| 2008 | 527.496,78 | 183.154,07 | 34,72 |
| 2009 (**) | 250.000,00 | 230.743,75 (*) | 92,30 |
| 2010 (***) | 301.000,00 | 311.554,00 | 103,51 |
| 2011 (****) | 107.104,00 | 107.104,00 | 100 |
| Total | 3.252.717,04 | 1.538.600,02 | 47,3 |

Legenda:

(*) Tonelagem de pneus reciclados aceitos pelo Ibama após a avaliação dos certificados de destinação pelos fabricantes de pneus

(**) Mudança na forma de cálculo para a reciclagem de pneus conforme Resolução Conama nº 416/09

(***) Reciclagem de pneus inservíveis no período de out. 2009 a dez. 2010 foi de 357.743,12 t

(****) Reciclagem de pneus inservíveis no 1º quadrimestre de 2011.

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Martins (2009); Aranha (2010); Martins e Bellini (2011); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

No período de 2002 ao primeiro quadrimestre de 2011, não foram destinadas pelos fabricantes, importadores de pneus novos e usados 2.124.576,98 toneladas, o equivalente a 424,91 milhões de pneus inservíveis de automóveis. Desse total, 18,08% era dos importadores de pneus usados; 80,68%, dos fabricantes de pneus e 1,24%, dos importadores de pneus novos, conforme as figuras 102 e 103.

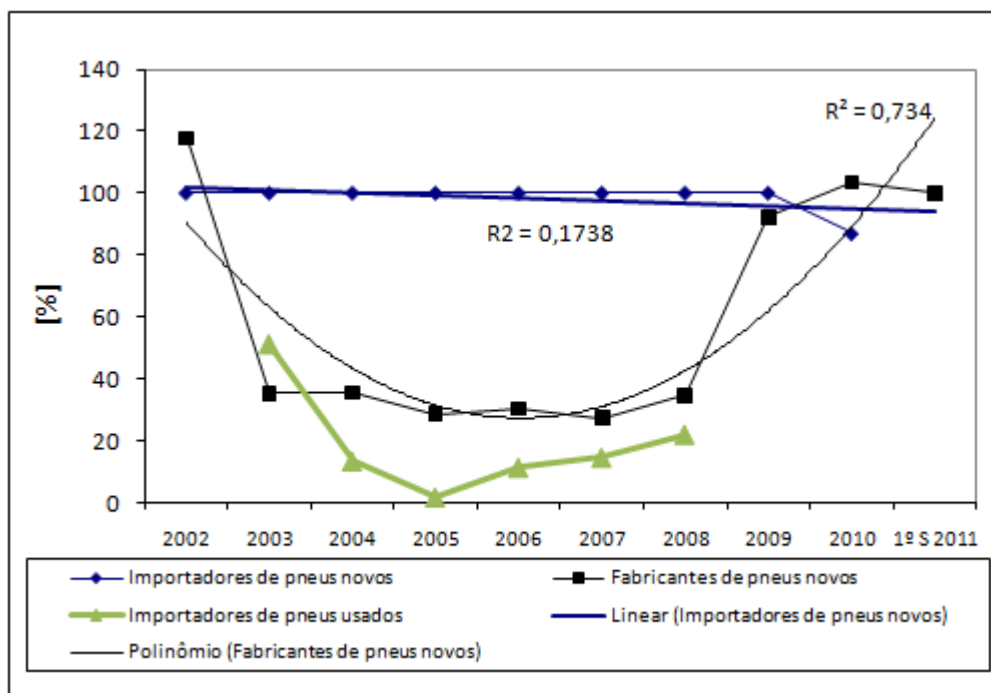
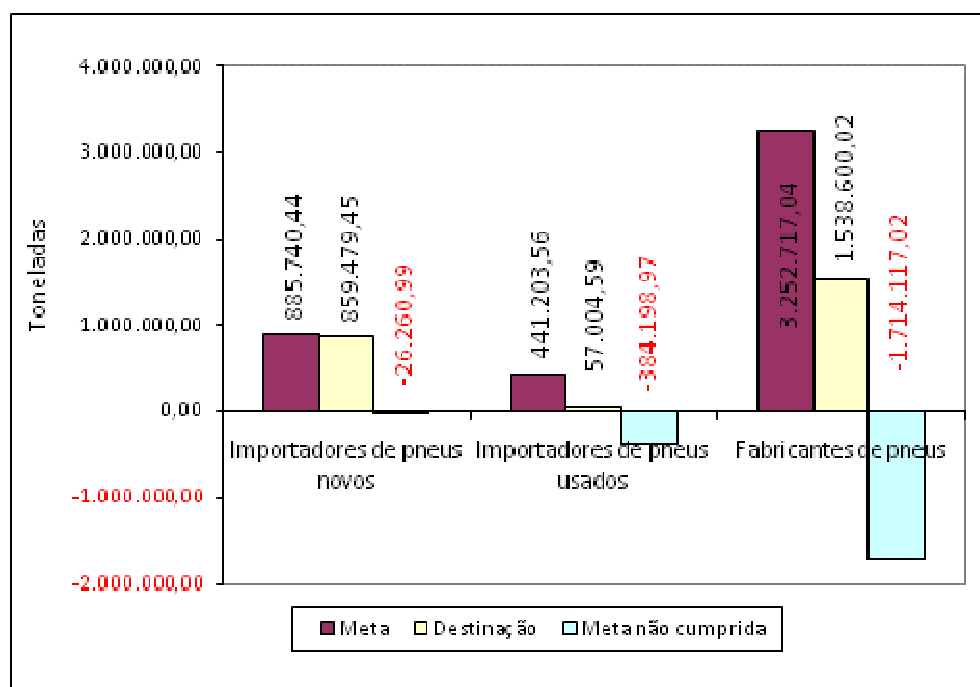


Figura 102 - Cumprimento das Resoluções nº 258/99 e nº 416/09, no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011.

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Martins (2009); Aranha (2010); Reciclanip (2011); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)



(*) 1º Quadrimestre de 2011 – Dados divulgados pela Reciclanip

Figura 103 - Metas e destinação dos pneus no Brasil no período de 2002 ao 1º quadrimestre de 2011.

Referência: Elaborado pelo autor com dados de Martins (2009); Aranha (2010); Reciclanip (2011); Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

Em 2010, os tipos de destinação ambientalmente adequadas constantes no formulário do CTF, preenchido pelas empresas destinadoras, foram:

- **coprocessamento em cimenteiras:** empresas que se dedicam à fabricação de cimentos e que coprocessam os pneus inservíveis inteiros ou triturados nos fornos de clínquer em substituição parcial de matéria-prima e combustível alternativo;
- **trituradora:** empresa que tritura os pneus inservíveis em chips para o envio às empresas cimenteiras;
- **laminadora:** empresa que faz a laminação de pneus diagonais / convencionais e fabrica os artefatos de borracha;
- **recicladora:** empresa que tritura e granula os pneus inservíveis, separando o aço e as fibras têxteis utilizadas na construção dos pneus, com produto final pó de borracha e aço;
- **coprocessamento no processo Petrosix:** empresa que faz o coprocessamento da rocha de xisto pirobetuminoso com os pneus inservíveis.

O coprocessamento em cimenteiras é responsável por 49,87% das destinações realizadas. Os pneus triturados em chips são enviados posteriormente às empresas cimenteiras e representam 4,01% do total, conforme a tabela 31.

Tabela 31 - Destinação dos pneus inservíveis no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, conforme o CTF .

| Tipo de Destinação | Quantidade Destinada (t) | % |
|-----------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 1 - Coprocessamento nas cimenteiras | 281.357,83 | 49,87 |
| 2 - Recicladora | 97.194,16 | 17,23 |
| 3 - Laminadora | 66.239,08 | 11,74 |
| 4 - Recicladora / Regeneradora | 38.413,34 | 6,81 |
| 5 - Recicladora / Trituradora | 25.151,11 | 4,46 |
| 6 - Trituradora | 22.637,59 | 4,01 |
| 7 - Recicladora / Laminadora | 22.434,68 | 3,98 |
| 8 - Coprocessamento processo Petrosix | 7.549,51 | 1,34 |
| 9 - Recicladora / Laminadora / Trituradora | 3.040,94 | 0,54 |
| 10 - Regeneradora | 118,28 | 0,02 |
| 11 - Recicladora / Trituradora / Regeneradora | 9,58 | 0,002 |
| Total Geral | 564.146,10 | 100,00 |

Referência: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011)

Como a Resolução nº 416/09 passou a vigorar a partir de outubro de 2009, os dados apresentados no relatório de pneumáticos, referem-se ao último trimestre de 2009 até dezembro de 2010.

Segundo o Ibama (2011), devido a forma de funcionamento do sistema de inserção das informações, não foi possível, para o primeiro relatório da Resolução nº 416/09, separar os dois períodos.

O relatório de pneumáticos do Ibama, conforme a Resolução nº 416/09 e Instrução Normativa nº 001/10, não divulgou a destinação dos pneus inservíveis para a utilização no asfalto-borracha, pirólise, ou em caldeiras. Segundo o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (2011), ainda não estão aceitas a pirólise e utilização em caldeiras como forma ambientalmente adequada para destinação de pneus inservíveis.

Como as empresas de destinação cadastradas no CTF têm mais de uma destinação, não é divulgada a quantidade para a reciclagem e a valorização energética.

Com relação à capacidade ociosa das empresas de trituração / granulação, laminação e operadores logísticos associados à Arebop, o índice foi de 15% em 2010. A Arebop trabalha 90% para a associação dos fabricantes e 10% para os importadores de pneus novos.

Evolução dos pontos de coleta no Brasil após a aprovação da Resolução nº 416/09

A partir da aprovação da Resolução nº 416/09, obrigando os fabricantes e importadores de pneus a implementarem pontos de coleta em cidades com mais de 100 mil habitantes, foram montadas unidades de forma individual ou compartilhada, podendo envolver as revendas e distribuidores; os municípios, os borracheiros, entre outros.

Foram cadastrados, entre outubro de 2009 e dezembro de 2010, 1.884 pontos de coleta.

Os responsáveis pelo cadastro dos pontos de coleta no CTF são os fabricantes e importadores de pneus. Não existe no CTF a quantificação dos pontos de coleta em revendas e distribuidores, borracheiros e municípios.

Comparativo da Reciclagem de Pneus no Brasil, Europa e América do Norte

Comparando os resultados obtidos no Brasil, Europa e América do Norte, podemos observar a tendência no Brasil do aumento da quantidade de pneus inservíveis enviados para valorização energética. Na Europa, uma das tendências verificadas foi a destinação dos pneus inservíveis para a reciclagem de materiais, conforme a figura 104. No Brasil, os dados foram fornecidos pela associação que representa os fabricantes. A atividade de reforma e a reutilização de pneus não entram na reciclagem de pneus inservíveis.

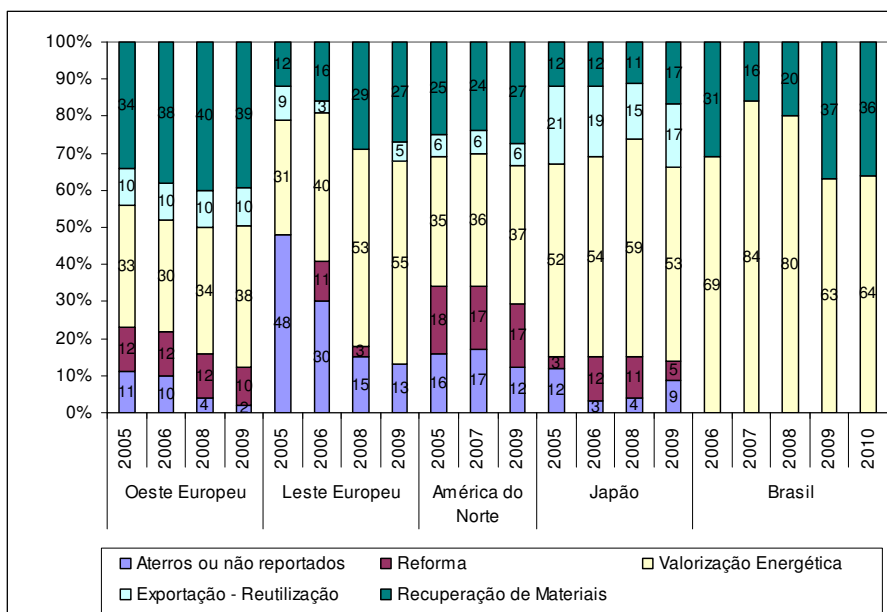


Figura 104 – Reciclagem de pneus na Europa, América do Norte, Japão e Brasil. Referência: Reciclanip (2011); Michelin (2009; 2010)

9.6 MODELO DE LOGÍSTICA REVERSA

Os seguintes pontos devem ser considerados para o dimensionamento de uma rede de logística reversa para os pneus inservíveis: população; frota de veículos licenciados; previsão de vendas da indústria automobilística; previsão para a geração dos pneus inservíveis; controle da venda no mercado de reposição; controle de pneus usados que entram nos municípios para o processo de reforma e laminação ou outros; controle dos pneus usados que entram de um estado para o outro para a destinação final; capacidade instalada para a trituração / granulação, reciclagem, valorização energética e reforma; controle da destinação dos pneus inservíveis e inventário do passivo ambiental negativo dos pneus inservíveis em cada município, entre outras.

Não existe um estudo do fluxo da logística direta dos pneus novos e reversa dos pneus pós-consumo dentro do Estado de São Paulo para o dimensionamento da rede de coleta de pneus inservíveis. Isso dificulta a fixação de metas para a coleta por município, reportagem, controle e fiscalização.

Nas Regiões Sul e Sudeste está concentrada a maior parte das empresas de reforma, empresas de trituração / granulação e laminadores de pneus. Os pneus de carga convencionais e radiais são coletados em outras regiões e levados para as Regiões Sul e Sudeste, o que aumenta a quantidade de pneus inservíveis geradas nessas regiões.

9.6.1 Modelagem

A otimização estocástica é uma classe geral de algoritmos e técnicas que empregam de alguma maneira a aleatoriedade para encontrar soluções para problemas complexos. A meta-heurística é a mais generalista dessa classe de algoritmos e é utilizada para solucionar problemas não polinomiais, por exemplo.

O Algoritmo Genético foi inventado em 1970, na Universidade de Michigan, pelo pesquisador John Holland. Essa categoria de algoritmos foi desenvolvida com

base nas teorias da Biologia dos métodos de mutação genética e divisão celular para explicar a evolução das espécies (LUKE, 2009).

O conceito matemático que está por trás desses fundamentos é que existe um vetor no espaço de solução que pode ser encontrado de forma a fornecer uma resposta satisfatória ao problema pesquisado. O fato de o algoritmo encontrar uma solução satisfatória não significa, necessariamente, que essa solução é a única e nem a melhor entre todas as possibilidades.

A sistemática de funcionamento do algoritmo genético é a seguinte:

- primeiro uma população de soluções é gerada de modo aleatório;
- a adequação dessas soluções é avaliada e classificada de modo que as de melhor adaptação são as com mais chances de se perpetuar para as próximas gerações;
- a partir da seleção aleatória, novos vetores são gerados pela combinação de algumas das soluções anteriores que tinham melhor avaliação;
- esses novos vetores formam uma nova geração de soluções que ainda tem alguns de seus valores modificados através de um processo de mutação;
- essa nova geração é, então, avaliada e classificada novamente e o processo se repete até que algum parâmetro de convergência ou limite de iterações seja atingido.

Além dos parâmetros de combinação, ainda podem ser alteradas a taxa de mutação e a forma de avaliação da classificação das soluções. Cada problema em particular terá um método mais eficaz de procura pela melhor solução e eficiência do algoritmo.

Há exemplos na literatura do emprego de algoritmos genéticos para solucionar problemas de logística reversa (MIN; KO; KO, 2006). O posicionamento de pontos de coleta e de destinação dos resíduos, assim como a redução dos custos envolvidos nessas operações, pode ser modelado a fim de melhorar sistemas existentes ou projetar novos sistemas de logística reversa.

O método de algoritmos genéticos é interessante nesse caso, pois utiliza menor capacidade de processamento e fornece dados satisfatórios em tempo mais curto.

9.6.2 Modelo de Logística Reversa com a utilização do Algoritmo Genético

Foi utilizado o algoritmo genético para a simulação de um modelo de logística reversa para os pneus inservíveis. As informações utilizadas foram fornecidas pelos pontos de coleta, pré-tratamento e coprocessamento no Estado de São Paulo. Como o excedente da capacidade é enviado para coprocessamento nos Estados de Minas Gerais e Paraná, esses pontos também foram considerados no algoritmo. A figura 105 apresenta o modelo para a simulação, no qual é obtido o menor custo e a melhor destinação para os pneus inservíveis.

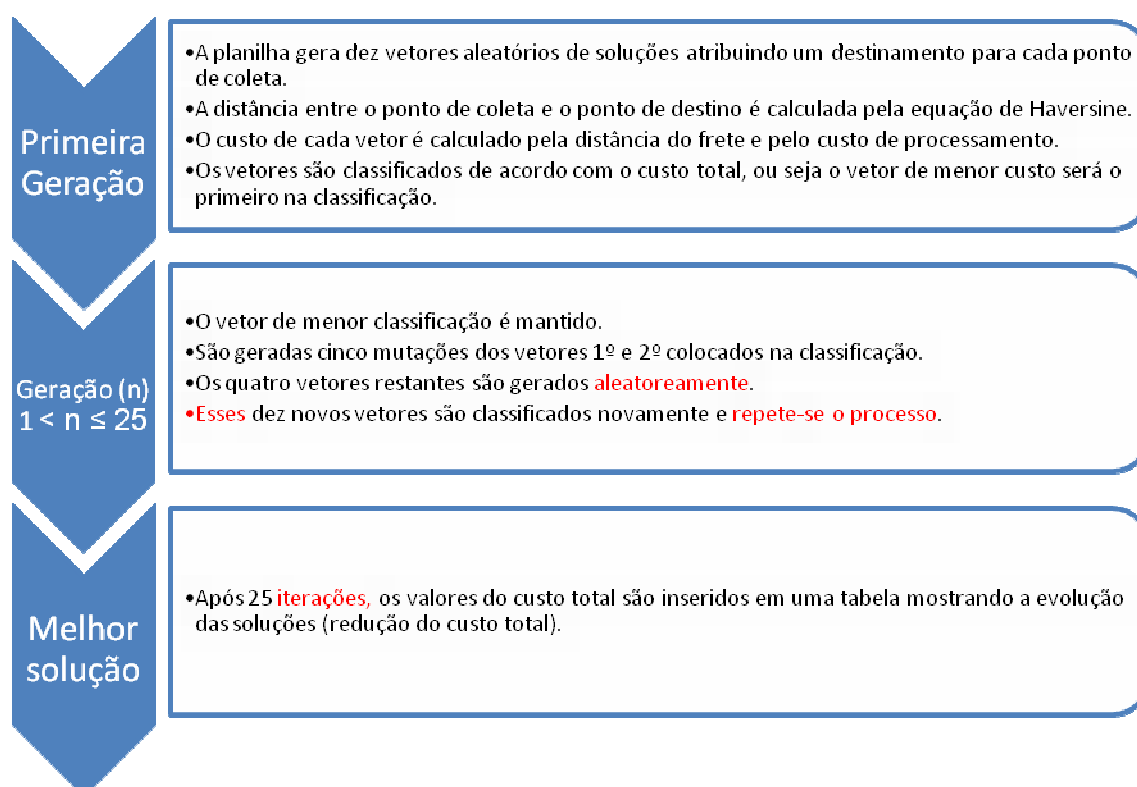


Figura 105 – Diagrama de blocos da logística reversa com a utilização do algoritmo genético.

Nesse algoritmo (APÊNDICE E) foi considerada a simulação de 233 pontos de coleta e 15 pontos de destinação para os pneus servíveis, simultaneamente. Foram levantadas as seguintes informações para a modelagem da logística reversa desse material:

- *A*: cálculo entre latitudes e longitudes dos pontos de geração e destinação;
- *c*: custos para a coleta e transporte dos pneus inservíveis dos pontos de coleta até as empresas de pré-tratamento;
- *cap*: capacidade instalada por ponto de destinação;
- *ccpi*: custo para o coprocessamento dos pneus inteiros em fornos de clínquer;
- *ccr*: custo para o coprocessamento dos pneus inservíveis com a rocha de xisto pirobetuminoso;
- *cl*: custo para a laminação dos pneus diagonais / convencionais;
- *col*: custo da coleta;
- *cp*: custo por tipo de destinação final;
- *ct*: custo para a trituração dos pneus nas empresas de pré-tratamento;
- *D*: distância entre o ponto de geração e destinação (km);
- *dcp*: distância das empresas de coprocessamento;
- *dpt*: distância empresas de pré-tratamento;
- *f*: é o fator utilizado pelos fabricantes e recicladores para o cálculo da previsão de geração de pneus inservíveis por veículos licenciados por ano. O fator considerado pelos fabricantes e recicladores é 1, ou seja, 1 pneu inservível por ano por veículo licenciado;
- *fr*: frete;
- *fv*: frota de veículos no Estado de São Paulo por município;
- *latitude 1*: latitude de cada ponto de coleta;
- *latitude 2*: latitude dos pontos de destinação;
- *latpro*: latitude das empresas de pré-tratamento;
- *longpro*: longitude das empresas de pré-tratamento;
- *longitude 1*: longitude de cada ponto de coleta;
- *longitude 2*: longitude dos pontos de destinação;
- *N*: cálculo da frota de veículos licenciados sobre a população de cada município;
- *pc*: total de pontos de coleta no Estado de São Paulo em março de 2011;
- *pd*: pontos de destinação dos pneus inservíveis no Estado de São Paulo;
- *Pg*: cálculo previsto de geração de pneus inservíveis no Estado de São Paulo por município, considerando apenas os municípios com pontos de coleta;
- *pg*: geração de pneus inservíveis por município;

- pm : população no Estado de São Paulo por município;
- RT : raio da terra (6.372,8 m);
- Δ : é a diferença entre a longitude 1 e 2;

Cálculo do número de veículos per capita por município

$$N = fv/PM \quad (2)$$

onde: fv é a frota de veículos licenciados em cada município

pm é a população de cada município

Cálculo da previsão de geração de pneus inservíveis (APÊNDICE F)

$$Pg = fv \times f \quad (3)$$

onde: fv é a frota de veículos licenciados em cada município

f é o fator utilizado pelos fabricantes e recicladores para o cálculo da previsão de geração de pneus inservíveis por veículos licenciados por ano.

Pg é a previsão de geração de pneus inservíveis gerados por ano em cada município

Latitude e longitude dos pontos de coleta, empresas de pré-tratamento e destinação final dos pneus inservíveis.

Para calcular a distância entre o ponto de geração, o ponto de pré-tratamento e a destinação final, foi utilizada a equação da Haversine, que considera a distância do ponto de coleta até o seu destino uma reta. Deve-se levar em consideração que as estradas são sinuosas, e que algumas não possuem condições de tráfico para veículos de carga, devido às péssimas condições do asfalto, ou mesmo segurança.

$$\Delta longitude = longitude1 - longitude2 \quad (4)$$

Onde: $longitude1$ é a longitude do ponto de geração

$longitude2$ é a longitude do ponto de destinação

Δ é a diferença entre a longitude 1 e 2

$$A = \text{sen}(\text{latitude } 1) \times \text{sen}(\text{latitude } 2) + \text{cos}(\text{latitude } 1) \times \text{cos}(\text{latitude } 2) \times \text{cos}(\Delta \text{ longitude}) \quad (5)$$

Onde: *latitude1* – latitude do ponto de geração (radianos)

latitude 2 – latitude do ponto de destinação (radianos)

Δ *longitude* – diferença entre a longitude 1 e 2 (radianos)

A – cálculo entre latitudes e longitudes dos pontos de geração e destinação

$$D = \arccos(A) \times RT \quad (6)$$

Onde: *D* distância entre o ponto de geração e destinação (km)

RT raio da terra (6.372,8 m)

Custo

No Brasil, em 2010, os custos para a coleta e destinação dos pneus inservíveis foram:

Coleta: R\$ 250 por tonelada;

Transporte: R\$ 2,5 / t. km;

Custo de trituração: R\$ 100 por tonelada;

Coprocessamento de pneus inteiros em fornos de clínquer: R\$ 50 por tonelada;

Coprocessamento de pneus triturados em fornos de clínquer: R\$ 0;

Custo da laminação: R\$ 180 a 220 por tonelada

Custo da pirólise: R\$ 0 (*)

Custo da queima de pneus em caldeiras de leito fluidizado: R\$ 0 (*)

(*) Em fase de testes

$$\text{Custo Total} = cp \times pg + col \times pg + 2 \times dpt \times fr + 2 \times dcp \times fr \quad (7)$$

Onde: *cp* = custo por tipo de destinação final

pg = geração de pneus inservíveis por município

dpt = distância empresas de pré-tratamento

dcp = distância das empresas de co-processamento

col = custo da coleta (R\$ 250)

fr = frete (R\$ 2,5 por km)

Capacidade

Para o cálculo da capacidade foi utilizado o volume total de pneus inservíveis gerados nos pontos de coleta no Estado de São Paulo, com o acréscimo de uma porcentagem adicional para comportar o aumento da demanda. O valor encontrado foi dividido pela capacidade instalada nos Estados de São Paulo e do coprocessamento nos Estados do Paraná e Minas Gerais.

A capacidade final é a capacidade total subtraída do volume destinado para aquele ponto específico.

Na tabela 32 é realizada uma simulação da distância do ponto de coleta até o processamento nas empresas de pré-tratamento ou coprocessamento. Na coluna processamento, após a simulação é apresentada a melhor solução para cada ponto de coleta. A programação realizada no visual basic - VBA e o fluxograma utilizado no algoritmo genético é apresentado no APÊNDICE E.

Após a realização das 25 iterações, a melhor solução foi encontrada na iteração 22. Pode-se observar na tabela 32, a relação dos pontos de coleta implementados pelos fabricantes no Estado de São Paulo, com as suas respectivas latitudes e longitudes. O cálculo da quantidade de pneus inservíveis gerados anualmente por município, o código de processamento, as latitudes e longitudes, o cálculo do custo, capacidade e distância. Além disso, existem os códigos de coprocessamento, com as suas respectivas latitudes, longitudes e distâncias.

Tabela 32 - Cálculo da distância do ponto de coleta ao ponto de processamento ou coprocessamento dos pneus inservíveis (APÊNDICE G).

| Ponto | Cidade | Latitude | Longitud | Inservíveis | Processame | LatPro | LonPro | Custo | Capacida | Distância | Co-proce | LatCo | LonCo | Distância |
|-------|---------------------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|----------------|-------------|-------------|----------|------------|------------|-------------|
| 1 | Adamantina | -0,3784795 | -0,891383282 | 98,32 | 7 | -0,3803765 | -0,8881188 | R\$ 24.692,72 | 33846,3825 | 22,79422574 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 2 | Altinópolis | -0,36696517 | -0,826830341 | 33,12 | 7 | -0,3803765 | -0,8881188 | R\$ 10.146,37 | 33846,3825 | 373,5247953 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 3 | Álvares Machado | -0,385359 | -0,898354903 | 46,77 | 6 | -0,3966636 | -0,7874917 | R\$ 14.976,71 | 32770,51 | 657,0919971 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 4 | Americana | -0,39687333 | -0,826088576 | 653,19 | 6 | -0,3966636 | -0,7874917 | R\$ 164.430,57 | 32770,51 | 226,8637955 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 5 | Américo Brasiliense | -0,37916308 | -0,839532459 | 77,28 | 2 | -0,4144665 | -0,813628 | R\$ 29.286,43 | -14764,845 | 271,6520074 | 12 | -0,3622077 | -0,8161362 | 176,0346345 |
| 6 | Andradina | -0,36470594 | -0,896740473 | 157,58 | 1 | -0,3722773 | -0,8330169 | R\$ 60.984,05 | -12315,0675 | 381,8880868 | 11 | -0,3650356 | -0,7649827 | 784,3210987 |
| 7 | Angatuba | -0,40997299 | -0,844962372 | 40,72 | 8 | -0,4241899 | -0,88333 | R\$ 11.386,03 | 38912,2675 | 241,2058181 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 8 | Aracatuba | -0,37016494 | -0,880218023 | 626,04 | 9 | -0,4127571 | -0,8303095 | R\$ 189.811,04 | -3904 | 400,1084318 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 9 | Araraquara | -0,38038481 | -0,840822063 | 645,61 | 2 | -0,4144665 | -0,813628 | R\$ 229.614,75 | -14764,845 | 269,6376418 | 11 | -0,3650356 | -0,7649827 | 460,6124701 |

Na cidade de Américo Brasiliense, na coluna processamento observa-se o código 2, no campo de coprocessamento, o código 12. Na tabela 33, pode-se observar que o código 2 é de pré-tratamento, ou seja, os pneus inservíveis são enviados para o pré-tratamento na empresa CBL e posteriormente para coprocessamento em fornos de clínquer na empresa Itaú de Minas – MG.

Tabela 33 – Destinação dos pneus inservíveis nos Estado de São Paulo, Minas Gerais e Paraná.

| Código | Local | Nome da Empresa | Categoria | Latitude | Longitude | Custo (R\$/t) |
|--------|----------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|-----------|-----------|---------------|
| 1 | Cravinhos - SP | Ecobalbo Reciclagem de Pneus S/A | Pré-Tratamento | -0,372277 | -0,833017 | 100 |
| 2 | São Bernardo do Campo - SP | CBL Comércio e Reciclagem de Borrachas Ltda (*) | Pré-Tratamento | -0,414466 | -0,813628 | 100 |
| 3 | Jundiaí - SP | Eco Processa Tratamentos de Resíduos Ltda (*) | Pré-tratamento | -0,40468 | -0,818288 | 100 |
| 4 | Guarulhos - SP | UTEF do Brasil Ltda (*) | Pré-Tratamento | -0,409514 | -0,812162 | 100 |
| 5 | Bragança Paulista - SP | Polcarpo e Cia Ltda | Pré-tratamento | -0,400574 | -0,812286 | 100 |
| 6 | Lorena - SP | RM Materiais Refratários Ltda | Pirólise | -0,396664 | -0,787492 | 0 |
| 7 | Oswaldo Cruz - SP | Laminação de Pneus Nicoletti Ltda | Laminação | -0,380377 | -0,888119 | 0 |
| 8 | Telemaco Borba - PR | Klabin S/A | Caldeira de Leito Fluidizado | -0,42419 | -0,88333 | 0 |
| 9 | Salto de Pirapora - SP | Votorantim Cimentos Brasil S/A | Co-processamento | -0,412757 | -0,830309 | 50 |
| 10 | Arcos - MG | Lafarge Brasil S/A | Co-processamento | -0,354268 | -0,794923 | 0 |
| 11 | Carandaí - MG | Cimento Tupi S/A | Co-processamento | -0,365036 | -0,764983 | 0 |
| 12 | Itaú de Minas - MG (**) | Votorantim Cimentos Brasil S/A | Co-processamento | -0,362208 | -0,816136 | 50 |
| 13 | Matozinhos - MG | Lafarge Brasil S/A | Co-processamento | -0,341491 | -0,769272 | 0 |
| 14 | Rio Branco do Sul - PR (*) | Votorantim Cimentos Brasil S/A | Co-processamento | -0,439877 | -0,860941 | 50 |
| 15 | São Mateus do Sul - PR | SIX - Superintendência do Desenvolvimento do Xisto | Co-processamento | -0,445243 | -0,846953 | 0 |

O *rank* é uma comparação relativa entre as dez soluções de cada rodada, para que a melhor solução seja escolhida, conforme a tabela 34.

Tabela 34 – Classificação dos vetores de solução.

| Solução | Rank | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|---------|-------------------|------------|-------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1 | R\$ 49.033.273,39 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO |
| 2 | R\$ 49.033.221,85 | VERDADEIRO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO |
| 3 | R\$ 49.763.248,50 | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | FALSO |
| 4 | R\$ 49.747.147,87 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | FALSO |
| 5 | R\$ 49.672.902,28 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | VERDADEIRO |
| 6 | R\$ 49.107.604,81 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO |
| 7 | R\$ 49.771.721,62 | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO | FALSO |
| 8 | R\$ 49.674.866,22 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO |
| 9 | R\$ 49.432.917,14 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | VERDADEIRO |
| 10 | R\$ 49.720.963,32 | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | VERDADEIRO | FALSO | FALSO | FALSO |
| | | 1 | 0 | 8 | 7 | 4 | 2 | 9 | 5 | 3 | 6 |

Pode-se observar na figura 106 que a melhor iteração ocorreu na iteração 22 com redução de custo⁴⁹ de R\$ 289.768,55, quando comparada às outras simulações. O custo médio com a utilização da iteração 22 ficou em R\$ 1,34 por pneu inservível coletado e destinado.

⁴⁹ Redução do custo da coleta, transporte, pré-tratamento e destinação dos pneus inservíveis.

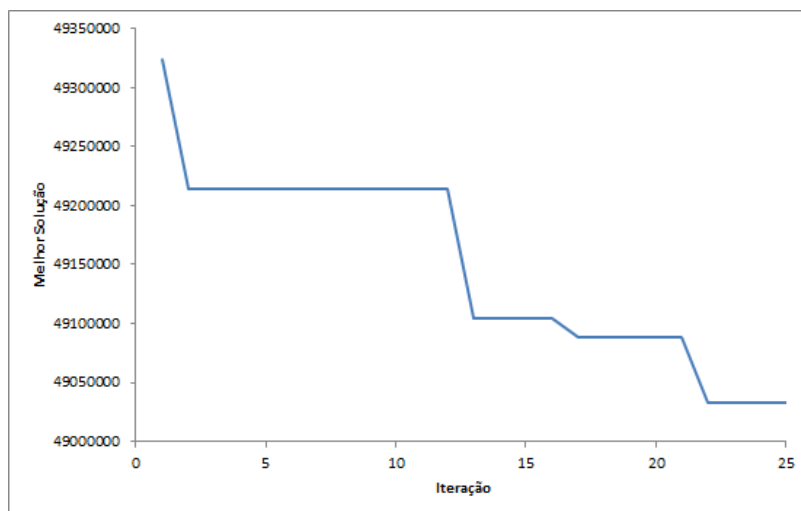


Figura 106 – Melhor solução x iteração 22.

Este modelo de algoritmo genético pode ser utilizado pelos fabricantes e importadores de pneus novos, empresas de pré-tratamento e valorização energética, para implementar novos projetos de logística reversa, o que permite avaliar vários cenários de destinação dos pneus inservíveis, analisando a capacidade dos pontos de destinação, custos e a melhor alternativa para a destinação.

Não foram considerados no modelo: o custo de cada prefeitura, referente à área disponibilizada para a estocagem temporária dos pneus inservíveis, gasolina e caminhões que são utilizados para a coleta dos pneus inservíveis, dentro de cada município, e a mão-de-obra utilizada para o acondicionamento dos pneus coletados dentro dos pontos de coleta e para o carregamento dos pneus nos caminhões para à destinação final.

9.7 CENÁRIOS ATUAL E PROPOSTO

A avaliação dos cenários atual e proposto de toda a cadeia de reciclagem de pneus usados será apresentada na tabela 35.

Com a aprovação da PNRS, as tendências para a reciclagem de pneus no Brasil são:

- o envolvimento das revendas, distribuidores, borracheiros, associações dos fabricantes, importadores, recicladores, consumidores, órgãos ambientais e poder público no processo de coleta e destinação dos pneus inservíveis;

- controle sobre o fluxo de pneus usados, por parte dos estados e municípios;
- redução do custo da coleta e destinação;
- incentivo a novas pesquisas e à criação de novos mercados para a utilização de produtos ou matéria-prima de pneus inservíveis reciclados;
- aumento da conscientização da população com relação à necessidade da destinação dos pneus no final da vida útil;
- desenvolvimento de novas matérias-primas para a utilização na construção de pneus que facilitem a reciclagem; e
- mudança do conceito de resíduo para matéria-prima ou combustível alternativo para a utilização no coprocessamento, queima em caldeiras na indústria de papel e celulose, entre outras, tornando a cadeia da reciclagem de pneus um negócio auto-sustentável.

O diagrama de blocos proposto para a logística reversa dos pneus no Brasil, é apresentado na figura 107.

Tabela 35 – Avaliação da cadeia de reciclagem de pneus no Brasil.

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fabricantes | <ul style="list-style-type: none"> • são responsáveis pela coleta e destinação dos pneus inservíveis no Brasil desde 2002, conforme metas estabelecidas nas Resoluções Conama nº 258/99 e nº 416/09; • não possuem um software para o gerenciamento da logística reversa dos pneus inservíveis. Todo o planejamento é realizado com base em histórico, os custos são conhecidos apenas no final de cada mês; • não existe divulgação, atualização e localização dos pontos de coleta; • não existem incentivos a pesquisas e desenvolvimento de novos mercados para os produtos reciclados e • subsidiam as empresas de pré-tratamento no Brasil. | <ul style="list-style-type: none"> • divulgação na mídia sobre a coleta, destinação e pontos de coleta de pneus no Brasil; • orientação para aumentar a vida útil dos pneus e, quando da troca do pneu usado por um novo, qual deve ser o destino do pneu antigo; • utilização de um modelo que permita simular vários cenários simultâneos para a coleta e destinação dos pneus inservíveis; • destinar para o coprocessamento somente os pneus inservíveis, Incentivar a realização da triagem e seleção dos pneus usados nos pontos de coleta; • incentivo às pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias e mercados para os produtos reciclados; • dar um incentivo para que o proprietário de veículo deixe os pneus usados nas revendas quando trocá-los por novos; • criar um software para armazenamento de informações dos pontos de coleta, empresas de transporte contratadas, empresas de pré-tratamento e destinação para a melhoria do fluxo da logística reversa, entre outros. |
| | Cenário atual | Cenário proposto |
| Importadores | <ul style="list-style-type: none"> • os importadores de pneus, carros, máquinas agrícolas não possuem uma associação que os represente; • os pontos de coleta foram montados pelos importadores após a aprovação da Resolução Conama nº 416/09, em revendas e borracharias; • no período de 2002 a setembro de 2009, cumpriram 100% das metas estabelecidas para a reciclagem; • a partir de outubro de 2009, cumpriram apenas 87,04% desse objetivo; • os custos de coleta, transporte e destinação não são conhecidos; • os importadores compram os certificados de destinação das empresas de pré-tratamento, coprocessamento e laminação. | <ul style="list-style-type: none"> • criação de uma associação que represente os importadores; • divulgação em mídia sobre a coleta, destinação e pontos de coleta de pneus no Brasil; • estabelecer modelo de logística reversa para a coleta e destinação dos pneus inservíveis no país; • incentivar pesquisas de novas tecnologias para a reciclagem e a criação de novos mercados, entre outros. |

Continua

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pontos de Coleta | <ul style="list-style-type: none"> • os pontos de coletas a partir outubro de 2009 estão sendo cadastrados no CTF, pelos fabricantes e importadores de pneus; • não existe uma especificação para a montagem, gerenciamento ou armazenamento dos pneus usados dentro dos pontos de coleta; • não existe um inventário dos pneus inservíveis armazenados dentro de cada ponto de coleta; • as empresas geradoras (revendas, distribuidores e de frota), não fazem programação com o ponto de coleta para o descarregamento. Não existe um sistema integrado para a reportagem, o que dificulta a programação para a coleta, aumentando o custo do transporte; • fabricantes contratam empresas para a retirada dos pneus nos pontos de coleta e fazem a programação para quando se atingir 2.000 pneus de automóveis e 300 pneus de carga. O caminhão vai vazio até o ponto de coleta e os funcionários da prefeitura ajudam no carregamento; • os pontos de coleta estão sendo montados em borracharias, revendas, distribuidores e pelas prefeituras. Não existe uma estatística dos pontos de coleta e os locais não são divulgados para o público; • o CTF tinha, em 2010, 1884 pontos cadastrados, representando 41,87% dos pontos de vendas de pneus, ou seja, insuficientes para a coleta sistemática dos pneus inservíveis; • os pneus usados não são classificados em servíveis ou inservíveis, reduzindo, assim, a disponibilidade dos pneus para a indústria de reforma; • são utilizados caminhões dentro dos municípios para a coleta dos pneus inservíveis e mão-de-obra para a coleta e armazenamento dentro dos pontos de coleta; • em alguns pontos de coleta a entrega dos pneus usados deve ser agendada com antecedência para que sejam deslocados funcionários das prefeituras para o armazenamento dos mesmos, entre outras. | <ul style="list-style-type: none"> • divulgação para a população da localização dos pontos de coleta por município, incluindo borracharias, revendas e distribuidores; • criar uma especificação com os critérios mínimos de montagem dos pontos de coleta, gerenciamento e armazenamento dos pneus usados; • realizar a seleção e triagem dos pneus no momento do recebimento dos mesmos nos pontos de coleta. Os pneus servíveis podem ser disponibilizados sem custo para as empresas de reforma nesses locais; • criar um sistema integrado entre os pontos de coleta, associações que representam os fabricantes, recicladores e os importadores de pneus para realizar a coleta sistemática em conjunto e, com isso, reduzir os custos. Deve ser criado um software para que os responsáveis por cada ponto de coleta façam a reportagem semanal da quantidade de pneus inservíveis armazenados; • os fabricantes e importadores podem utilizar as informações do inventário para realizar a coleta em mais de um ponto, reduzindo com isso as distâncias percorridas com os caminhões vazios, o tempo de coleta, entre outros; • os custos relacionados ao local de armazenamento, transporte para a coleta dos pneus pelas prefeituras e mão-de-obra utilizada devem ser incluídos no custo da logística reversa, entre outras. |

Continua

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Empresa de seleção e triagem | <ul style="list-style-type: none"> • existem dois tipos de empresas de seleção e triagem dos pneus usados: <ol style="list-style-type: none"> a) a que coleta os pneus usados, faz a triagem e seleção dos mesmos classificando-os em servíveis e inservíveis, destinando os pneus servíveis às empresas de reforma e venda como pneus meia-vida e os pneus inservíveis, às empresas de pré-tratamento. b) a que coleta os pneus usados, separa em pneus servíveis e inservíveis e destina os servíveis para empresas de reforma e venda como pneus meia-vida, mas os pneus inservíveis não são destinados para reciclagem ou valorização energética. • As empresas do tipo (a) possuem rastreabilidade de todo o sistema, desde a coleta até a destinação final dos pneus. Coletam outros resíduos nas revendas e distribuidores. O que mantém o negócio é a venda dos pneus usados para reforma ou como meia-vida; • as empresas do tipo (b) compram os pneus em revendas e distribuidores por um valor maior que o praticado no mercado, mas não existe nenhuma rastreabilidade após o processo de seleção e triagem; • no Brasil, 70% dos pneus coletados em revendas e distribuidores são considerados inservíveis; 20% são destinados para o processo de reforma e 10%, para a venda como pneus meia-vida. | <ul style="list-style-type: none"> • autorregulamentação das empresas de seleção e triagem de pneus usados no Brasil; • as empresas de triagem e seleção devem ter um cadastro no CTF; • para minimizar a geração de pneus inservíveis, fabricantes, importadores, revendas, distribuidores, montadoras, indústria automobilística, estados e prefeituras devem montar um plano nacional para a prevenção da geração de pneus inservíveis, com isso deve ocorrer: <ol style="list-style-type: none"> a) redução do número de acidentes provocados pelo uso impróprio dos pneus; b) aumento da vida útil dos pneus em serviço; c) disponibilidade de pneus usados para o processo de reforma ou venda como pneus meia-vida; d) maior receita das empresas de triagem e seleção; e) volume de pneus servíveis suficiente para o processo de recauchutagem, recapagem e remoldagem; f) redução da disponibilidade dos pneus para as empresas de pré-tratamento; g) inclusão da verificação dos pneus durante a inspeção veicular; h) fiscalização mais rigorosa por parte dos órgãos de trânsito, municipais, estaduais e federais; i) redução da disposição em aterros, vales, ruas, rios, entre outros |

Continua

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Borracheiros | <ul style="list-style-type: none"> o borracheiro, presta serviços de montagem, calibração, rodízio e pequenos reparos. Existem borracharias dentro de empresas de transporte de carga e pessoas responsáveis pela manutenção dos pneus; existem borracharias que trabalham na informalidade, e não possuem ferramentas, local de trabalho, formação e qualificação para a realização dos trabalhos; um compressor, um cartaz na porta, ou pneus nos postes identificam que aquele local é uma borracharia. os calibradores utilizados não são aferidos, não existe, na linha de ar comprimido, um sistema para a retirada do óleo que é condensado, falta técnica para a realização de reparos, usa-se qualquer tipo de lubrificante para a lubrificação dos talões; em grande parte das borracharias, os pneus inservíveis são armazenados na parte externa, sem nenhum tipo de cuidado. | <ul style="list-style-type: none"> criar uma especificação mínima para a montagem de borracharias, equipamentos necessários, espaço para armazenamento dos pneus servíveis e inservíveis, entre outros; treinamento e qualificação dos borracheiros pelos fabricantes e importadores de pneus; empresas de transporte de carga e pessoas devem ter as suas próprias borracharias, com equipe qualificada e treinada; cabe aos órgãos competentes (prefeitura e órgãos ambientais) a fiscalização das borracharias; os pneus inservíveis coletados nas borracharias devem ser estocados em uma área coberta até que seja feita a sua retirada. A borracharia deve ter um controle dos pneus inservíveis coletados, a empresa que coletou e o seu destino final. |
| Novas Tecnologias | <ul style="list-style-type: none"> não são utilizados os pneus inservíveis no processo de reciclagem do aço; a pirólise de pneus inservíveis ainda é incipiente no Brasil. Existem apenas duas plantas piloto, estando localizadas em Leme – SP e Recife – PE; a queima de pneus inservíveis em caldeiras de leite fluidizado está em testes e já possui licenciamento ambiental. Atualmente, só existe uma empresa licenciada para essa atividade; existem alguns estudos para implementação no Brasil da utilização de pneus inservíveis em termoelétricas para a geração de eletricidade, entre outros. | <ul style="list-style-type: none"> os órgãos ambientais, estados e municípios devem incentivar a utilização dessas tecnologias e a criação de novos mercados para os produtos reciclados; não existe nenhum incentivo fiscal para a atividade de reciclagem de pneus inservíveis no Brasil, o que dificulta a implementação de novas tecnologias. |

Continua

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reforma de pneus | <ul style="list-style-type: none"> • o Brasil ocupa o segundo lugar mundial na reforma de pneus de automóveis, caminhões, ônibus, motocicletas e pneus fora de estrada; • no Japão e Comunidade Européia, a reforma de pneus entra na estatística de reciclagem. No Brasil, a reforma de pneus não é regulamentada pelo Ibama como uma atividade de reciclagem e sim, como uma atividade que prolonga a vida útil; • no processo de remoldagem eram utilizados os pneus usados importados. Com a proibição do STF, ocorreu uma redução na reforma dos pneus remoldados no Brasil; • em 2010, foram reformados 16.694 milhões de pneus no Brasil; • Após a coleta, seleção e triagem apenas 20% dos pneus usados são selecionados para a reforma e 10%, vendidos como pneus meias-vidas; • o indicador de desgaste dos sulcos dos pneus (<i>Tread Wear Indicator - TWI</i>) é de 1,6 mm no máximo, conforme Resolução do Contran; • no Brasil, não existe uma fiscalização para a avaliação das condições dos pneus. Alguns proprietários não se preocupam com o alinhamento, balanceamento, rodízio e medição da profundidade dos sulcos, contribuindo para que 70% dos pneus usados sejam classificados como inservíveis • no Município de São Paulo, a inspeção veicular não verifica as condições dos pneus dos automóveis, ônibus, caminhões e motos; | <ul style="list-style-type: none"> • aumento da disponibilidade de pneus servíveis para o processo de reforma; • existe uma tendência para o aumento da vida útil dos pneus baseada na mudança do projeto, desenvolvimento de compostos, mudança dos materiais utilizados na construção dos tecidos de engenharia, espessura da banda de rodagem, entre outros; • o aumento da quantidade de borracha na banda de rodagem não garante o aumento da vida útil dos pneus e pode criar um problema ambiental que é a liberação de uma quantidade maior de borracha durante a utilização dos pneus. Atualmente, o desgaste dos pneus até atingir o indicador de desgaste é de 30% do peso do pneu novo; • com a mudança da legislação com relação à profundidade do indicador de desgaste de 1,6 mm para 2 mm, deve ocorrer a redução da quantidade de pneus inservíveis, já que os proprietários dos veículos devem trocar os pneus antes de atingir a carcaça do pneu, aumentando com isso a segurança durante as frenagens, redução e aquaplanagens, entre outras; • a fiscalização dentro dos municípios, estradas e rodovias deve ser intensificada para a mudança da cultura dos condutores e proprietários dos veículos; • implementar a inspeção veicular em todos os municípios no Brasil e incluir a verificação dos pneus; • aumentar o índice de recapabilidade de pneus de carga no Brasil para, no mínimo, 2 com a melhoria dos controles da geometria veicular, rodízio, combinação de duplos, pressão de ar, centralização dos pneus, aperto das rodas, impactos, contaminações, patinação, frenagem, montagem, entre outros; |

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reforma de Pneus | <ul style="list-style-type: none"> • o índice de recapabilidade nos Estados Unidos é de 0,8 (IR = pneus reformados / pneus novos vendidos). No Brasil o IR era 2 para pneus de carga. Atualmente, o índice está entre 1,4 e 1,6. A queda ocorreu devido a vários fatores, entre eles: aumento da quilometragem dos pneus na 1ª vida; crise econômica, levando os caminhoneiros a utilizar o pneu além do limites de recapabilidade, não respeitando o TWI; e os pneus baratos oferecidos no mercado, que não respeitam os critérios técnicos para a sua escolha; • os pneus reprovados na inspeção do processo de reforma são direcionados para os pontos de coleta em alguns casos. As raspas dos pneus são vendidas para empresas que fabricam artefatos de borracha, que concorrem diretamente com os subprodutos das empresas de pré-tratamento; • a logística reversa dos pneus usados para a indústria de reforma de pneus no Brasil é realizada através de três sistemas, sendo: a) os reformadores coletam diretamente os pneus nas frotas de caminhões e ônibus. Existem algumas empresas que fazem a coleta e revendem os pneus para os reformadores; b) no caso dos pneus de automóveis, a coleta é feita por coletores independentes que fazem a triagem e seleção dos pneus, classificando em: pneus meia-vida, pneus servíveis para o processo de reforma e inservíveis. Os pneus inservíveis muitas vezes são destinados de forma incorreta por essas empresas; c) empresas de seleção e triagem que coletam os pneus e outros resíduos das revendas e distribuidores fazem a triagem e seleção, classificando os pneus em servíveis e inservíveis, e possuem sistemas para o controle da rastreabilidade de todo o processo. | <ul style="list-style-type: none"> • a Política Nacional de Resíduos Sólidos estabelece responsabilidades que eram um anseio dos reformadores que trabalham dentro de normas técnicas para a reforma dos pneus e dão o destino correto para os pneus usados que são considerados inservíveis na inspeção inicial do processo. O rastreamento dos mesmos até o seu destino final obriga os reformadores e usuários a identificarem reformadores registrados de forma a terem a comprovação da destinação correta dos pneus inservíveis, aumentando, assim, os controles e certificações ambientais das empresas de reforma no Brasil; • os reformadores têm que declarar a quantidade de pneus inservíveis destinados, conforme a Lei nº 6.938/81. |

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Laminação de pneus | <ul style="list-style-type: none"> • subprodutos do processo de laminação: percintas, solados e salto, tubulações, borracha para rodo, vedante para portas e lascas de borracha; • mercado informal; • a atividade de laminação é regulamentada pelo Ibama; • não existe uma padronização do setor de laminação no Brasil; • quando comparado a outros processos de reciclagem, apresenta o menor custo para o processamento; • utilizam apenas os pneus diagonais / convencionais; • fazem coleta em outros estados e laminam os pneus nas regiões sul e sudeste, sendo que a maior capacidade instalada encontra-se no Estado do Paraná; • a atividade de laminação gera em torno de 17,5% de resíduos de tecidos com borracha que são encaminhados para o coprocessamento; • a laminação é a 1ª opção da associação que representa os fabricantes de pneus para a compra do certificado de destinação; • o certificado de destinação é vendido entre R\$ 180 a R\$ 220 por tonelada; • capacidade média das empresas de laminação 18.000 pneus convencionais / diagonais por ano; • a logística reversa dos pneus diagonais / convencionais é realizada pelas empresas que transportam móveis dos estados da Região Sul para o Sudeste, Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Essas transportadoras levam os móveis até o destino e retornam para a Região Sul, comprando os pneus em borracharias, revendas, entre outras; • os pneus diagonais / convencionais usados coletados pelas empresas de triagem e seleção são vendidos para as empresas de laminação. | <ul style="list-style-type: none"> • autorregulamentação do setor de laminação no Brasil. Elaborar estudos para certificação e padronização junto aos órgãos estaduais de meio ambiente do licenciamento da laminação de pneus; • as empresas de laminação devem possuir licenças dos órgãos ambientais estaduais e do Ibama para a realização da atividade de reciclagem de pneus; • não existe um controle dos locais onde foram coletados os pneus inservíveis diagonais / convencionais até a sua destinação final; • as empresas de laminação devem receber os pneus diagonais / convencionais e pesá-los. Após o processamento, devem pesar os resíduos e os subprodutos laminados dos pneus. O certificado deve ser emitido com o peso dos produtos laminados vendido para as empresas de móveis, calçados, entre outros; • os resíduos gerados pelo processo devem ser enviados para o coprocessamento em fornos de clínquer; |

Continua

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Pavimentação Asfáltica | <ul style="list-style-type: none"> • custo do asfalto borracha 30% maior quando comparado ao asfalto convencional • no Brasil, de 2001 até 2010, foram pavimentados 4.900 km; • não existe incentivo por parte do governo para a utilização do asfalto-borracha; • as concessionárias que administram as rodovias iniciaram o processo de utilização do asfalto-borracha; • existe regulamentação da Agência Nacional do Petróleo (ANP) e Departamento de Infraestrutura de Transportes (DNIT); • a utilização do asfalto-borracha no Brasil é incipiente. | <ul style="list-style-type: none"> • incentivo por parte dos Governos Federal, Estaduais e dos municípios para a utilização do asfalto-borracha na pavimentação de ruas, estradas e rodovias. |
| | Cenário atual | Cenário proposto |
| Desvulcanização | <ul style="list-style-type: none"> • no Brasil é utilizado o processo de regeneração de borracha para a utilização em tapetes automotivos e artefatos de borracha; • na América Latina, alguns fabricantes de pneus utilizam até 5% da borracha regenerada na composição dos pneus novos. No Brasil, alguns fabricantes utilizam borracha regenerada na composição dos pneus de carga; • a atividade é regulamentada pelo Ibama; • a emissão do certificado de destinação é feita no momento da venda dos fardos de borracha para as empresas de artefatos de borracha; • existem algumas empresas do setor calçadista que utilizam borracha regenerada de pneus de carga para a fabricação de solados; • não existe uma associação que represente as empresas de regeneração de borracha no Brasil; • o pó e as lascas de borracha do processo de reforma dos pneus são utilizados no processo de regeneração da borracha. | <ul style="list-style-type: none"> • após a venda dos fardos de borracha para a indústria de artefatos de borracha, deve ser conhecido o seu destino para posterior fiscalização pelo Ibama; • utilização de outras tecnologias para o processo de regeneração de borracha, tais como: ultrassom, biológica, por bactérias, entre outras. |

Continua

Continuação

| | Cenário Atual | Cenário Proposto |
|----------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coprocessamento em fornos de clínquer | <ul style="list-style-type: none"> • os pneus usados coletados nos pontos de coleta são encaminhados diretamente para as cimenteiras que co-processam os pneus inservíveis inteiros, ou recebem das empresas de pré-tratamento, conforme programação os pneus triturados; • em 2010, foram coprocessados 185.000 toneladas de pneus inservíveis, com crescimento de 2,5% no ano; • substituição de 85% dos combustíveis fósseis não renováveis e 15% como matéria-prima; • utilização de pneus inteiros e triturados para a alimentação na caixa de fumaça do forno rotativo de clínquer e no calcinador, respectivamente. | <ul style="list-style-type: none"> • devem ser enviados para o coprocessamento em fornos de clínquer, somente os pneus inservíveis. • as empresas que coletam junto com os pontos de coleta, devem fazer a triagem e seleção dos pneus usados no momento do carregamento. Os pneus servíveis podem ser vendidos ou coletados pelos reformadores nos pontos de coleta; • todo o pneu inservível pode ser coprocessado, os pneus servíveis devem ser reformados ou vendidos como pneus meia-vida; • os pneus inservíveis não devem ser considerados resíduos e sim um combustível alternativo / matéria-prima para a fabricação do cimento. |

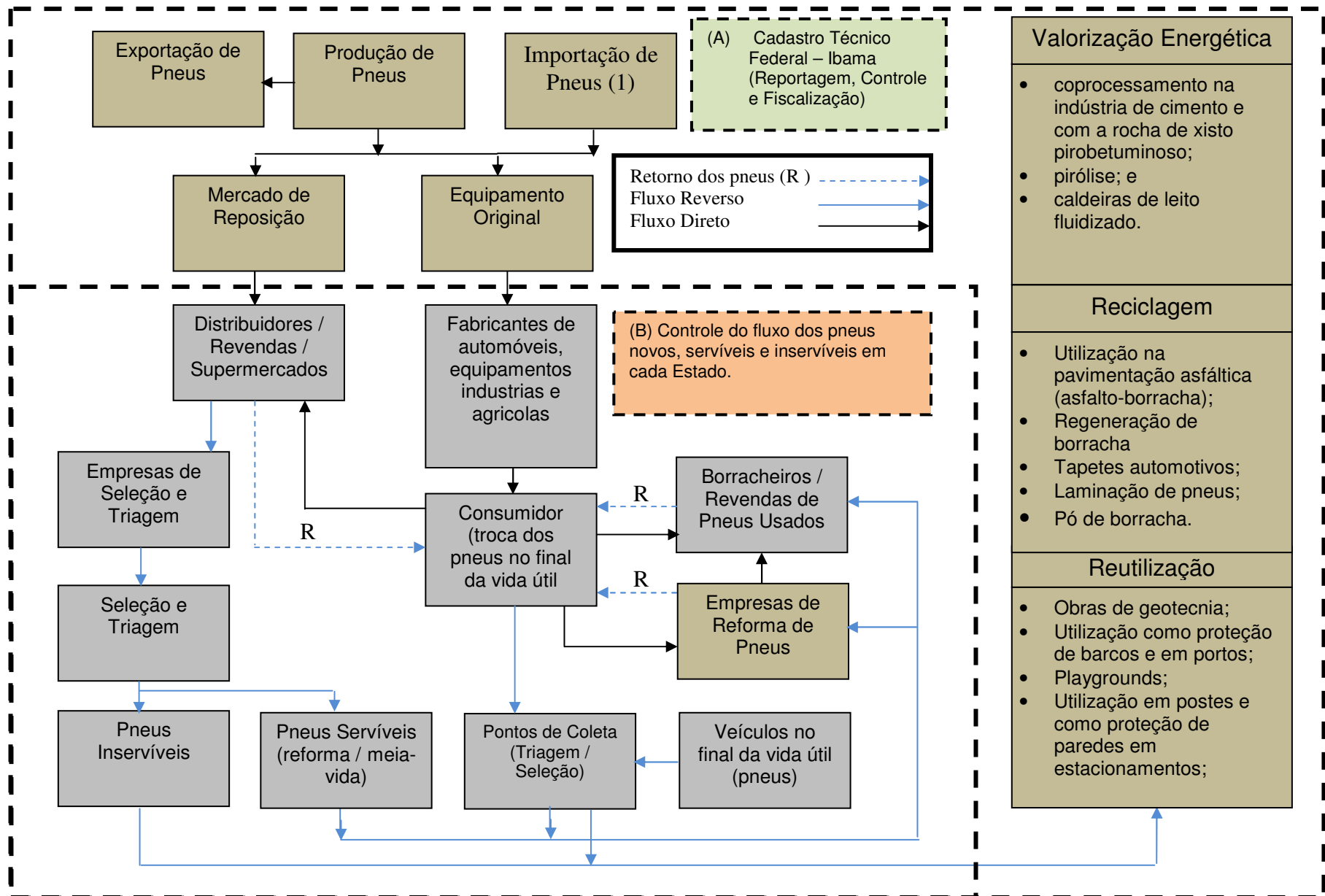
Continua

Continuação

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ibama / MMA | <ul style="list-style-type: none"> • a fiscalização realizada pelo Ibama é feita por meio do controle do preenchimento do relatório de pneumáticos, conforme a Resolução Conama nº 416/09, que é preenchido pelos fabricantes e importadores de pneus. Além disso, são realizadas vistorias periódicas em algumas empresas destinadoras, fabricantes e importadores de pneus; • as empresas de reciclagem são licenciadas pelos órgãos ambientais estaduais. As informações referentes ao licenciamento das empresas de reciclagem não são fornecidas para consulta pública; • até 2006, o Ibama fornecia as informações referentes à reciclagem de pneus por tipo de destinação. No período de 2007 até setembro de 2009, forneceu somente as quantidades de pneus destinadas pelos fabricantes e importadores de pneus; • no período de outubro de 2009 até dezembro de 2010, as informações foram divididas em: laminação, coprocessamento, regeneração, trituração, entre outros; • órgãos ambientais estaduais fazem o licenciamento das atividades para a destinação final dos pneus. | <ul style="list-style-type: none"> • diversificação da destinação dos pneus inservíveis no Brasil, com redução do coprocessamento e aumento da reciclagem de materiais; • conhecer a quantidade destinada por tipo de destinação, capacidade instalada para as empresas de reciclagem e destinação final, por estados e regiões; • os estados devem ter acesso às informações de movimentação dos pneus inservíveis, pré-tratamento e destinação dentro de cada estado, o que permite elaborar um plano de gestão de pneus inservíveis e a coleta sistemática dos pneus; • divulgação dos pontos de coleta instalados no Brasil pelos importadores e fabricantes. Atualmente, somente os fabricantes divulgam os pontos de coleta no país; • a fiscalização deve incluir os pontos de coleta e as transportadoras de pneus inservíveis; • exigência de nota fiscal para o transporte dos pneus inservíveis com isenção de ICMS, o que permite o controle do ponto de geração e do destino dos pneus inservíveis, facilitando a fiscalização e o controle dentro de cada estado; • enquanto a Resolução Conama nº 416/09 vigorar, a tendência é que os fabricantes e importadores cumpram somente as suas metas de coleta e destinação. Quando os pneus entrarem na metodologia da logística reversa por meio de acordos setoriais, provavelmente, a quantidade reciclada será maior; • incluir no processo de logística reversa os pneus inservíveis retirados de veículos no final da vida útil. Atualmente, não existe legislação específica para a reciclagem de veículos no final da vida útil. |

Continua

| | Cenário atual | Cenário proposto |
|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso | <ul style="list-style-type: none"> em 2010, foram coprocessados 1.078 toneladas, o equivalente a 215.600 pneus inservíveis de automóveis, ou seja, 36% da capacidade, que é de 3.000 toneladas por ano, conforme informado pela Petrobras SIX. No relatório de pneumáticos divulgado em julho de 2011, o coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso, no período de setembro de 2009 a dezembro de 2010, foi de 7.549,51 toneladas, o equivalente a 1,51 milhões de pneus inservíveis de automóveis; legislação ambiental do Paraná, restringe a entrada de pneus inservíveis inteiros de outros estados, o que reduz a demanda para o coprocessamento; os fabricantes dentro da hierarquia de resíduos preferem enviar os pneus inservíveis para o coprocessamento em fornos de cimenteiras; os importadores compram os certificados de empresas de trituração que estão localizadas no Estado do Paraná. | <ul style="list-style-type: none"> aumento da oferta de pneus inservíveis triturados para o coprocessamento com a rocha de xisto pirobetuminoso pelos importadores de veículos, pneus, equipamentos agrícolas e industriais; redução do custo de coprocessamento em função do volume de pneus inservíveis triturados entregues na Petrobras SIX; atualmente, somente os importadores compram os certificados de destinação final da empresa de trituração localizada no Estado do Paraná. provavelmente, o aumento da quantidade destinada foi decorrente do não cumprimento por parte dos importadores no período de setembro de 2009 a dezembro de 2010 da reciclagem de pneus e ocorreu a emissão dos Certificados de Destinação de pneus inservíveis coprocessados com a rocha de xisto pirobetuminoso. |
| Consumidor | <ul style="list-style-type: none"> ao trocarem os pneus usados nas lojas e revendas de pneus os consumidores levam 36% dos pneus usados para casa, achando que existe algum valor agregado; não existe um incentivo por parte dos fabricantes, importadores, revendas e distribuidores para que, no momento da troca dos pneus usados por novos, os consumidores deixem os pneus usados para posterior triagem e seleção; alguns consumidores trocam os pneus usados por pneus meias-vidas em borracharias; alguns consumidores trocam os pneus em revendas das empresas de reforma de pneus; falta de conscientização da população com relação à coleta e destinação dos pneus inservíveis no Brasil; falta de conscientização do consumidor sobre a manutenção dos pneus, como rodízio, balanceamento, alinhamento, calibragem, entre outros. | <ul style="list-style-type: none"> os fabricantes, importadores, revendas e distribuidores devem divulgar o programa de coleta e destinação dos pneus inservíveis. Além disso, devem incentivar o descarte após a troca dos pneus usados nas revendas e distribuidores; o consumidor deve deixar os pneus usados nas revendas, distribuidores e pontos de coleta para a destinação final. Caso levem os pneus usados para casa, deve ser anotado na nota fiscal o ponto mais próximo para o descarte dos pneus; devem fazer a manutenção e a verificação do desgaste dos sulcos da banda de rodagem periodicamente para aumentar a vida útil dos pneus. |



(1) Fabricantes e importadores de pneus novos

Figura 107 – Diagrama de blocos proposto para a logística reversa dos pneus usados no Brasil.

10 CONCLUSÕES

Desde 2002, os fabricantes e importadores são responsáveis pela coleta e destinação dos pneus inservíveis no Brasil. No período de 2002 ao primeiro quadrimestre de 2011, não foram destinadas pelos fabricantes, importadores de pneus novos e usados 2.124.576,98 toneladas, o equivalente a 424,91 milhões de pneus inservíveis de automóveis.

A logística reversa já era exigida na Resolução Conama nº 416/09. A diferença mais predominante é a possibilidade de serem realizados acordos setoriais para facilitar sua implementação. O Comitê Orientador da Logística Reversa selecionou primeiramente o descarte de medicamentos; embalagens em geral; lâmpadas de mercúrio e de luz mista e eletroeletrônico. Como já existe uma metodologia implementada pela Reciclanip, a logística reversa dos pneus inservíveis, não será analisada neste momento.

Na Resolução Conama nº 416/09 não está prevista a retirada dos pneus inservíveis de aterros, lixões, ruas, rios, vales, entre outros, para a redução do passivo ambiental negativo.

O dimensionamento da logística reversa é de capital importância para os fabricantes e importadores de pneus, devido ao custo da coleta, transporte, destinação dos pneus inservíveis e para o cumprimento das metas estabelecidas.

O custo da coleta e do transporte de pneus descartados, na Europa, Estados Unidos e Brasil, independentemente das alternativas que venham a ser encontradas, apresentam-se como a primeira grande dificuldade para a solução definitiva do descarte de pneus inservíveis.

Não existe um trabalho conjunto entre os fabricantes e importadores de pneus para o desenvolvimento de um modelo de logística reversa que reduza os custos; aumente a oferta de pneus servíveis para as empresas de reforma, através da seleção e triagem nos pontos de coleta, e aumente a oferta de pneus inservíveis para atender a capacidade das empresas de pré-tratamento, coprocessamento, pirólise e queima em caldeiras.

Mostrou-se neste trabalho que existe uma série de medidas a serem adotadas pelos órgãos ambientais com relação à criação de especificações mínimas para o armazenamento temporário dos pneus inservíveis nos pontos de coleta e

borracharias. Além disso, devem ser incluídos no processo de reciclagem, os pneus inservíveis retirados dos veículos no final da vida útil. Atualmente, não existe legislação específica sobre esse assunto.

Foi constatado que 70% dos pneus usados coletados em revendas e distribuidores são considerados inservíveis, devido à falta de manutenção dos veículos, calibração, rodízio, verificação da profundidade dos sulcos, entre outros.

Deve ser realizado pelos fabricantes, importadores e associação que representa os reformadores um trabalho de divulgação para conscientização da população quanto aos cuidados necessários para aumentar a vida útil dos pneus e a sua disposição final.

O Ibama, a partir da aprovação da Resolução Conama nº 416/09, divulgou o Relatório de Pneumáticos com dados utilizados pelo CTF e fornecidos pelos fabricantes e importadores de pneus. Não foram divulgados os pontos de coleta em borracharias, lojas de comercialização de pneus e municípios, o que dificulta a destinação por parte dos consumidores, quando os pneus se tornam inservíveis.

Como as empresas têm mais de um tipo de destinação, não é possível separar exatamente a quantidade que foi destinada pelos laminadores, trituradores e regeneradores de borracha. Além disso, a capacidade das empresas destinadoras não foram divulgadas pelo Ibama e órgãos ambientais estaduais.

A partir dos dados coletados nas pesquisas realizadas, foram montados os modelos de logística reversa dos fabricantes, importadores, empresas de seleção e trituração. Além disso, foi montado um algoritmo genético para a simulação da coleta de pneus inservíveis nos pontos de coleta existentes no Estado de São Paulo e destinação dentro do estado e com capacidade excedente enviada para os Estados de Minas Gerais e Paraná. Também foi realizada uma avaliação do cenário atual, apresentando-se algumas propostas para a melhoria da logística reversa.

Com a utilização do algoritmo genético para coleta e destino dos pneus inservíveis, foi possível realizar 25 iterações para conhecer a melhor solução para a coleta e destinação final dos pneus inservíveis. Este modelo pode ser utilizado pelos fabricantes e importadores de pneus, auxiliando no dimensionamento dos pontos de coleta, empresas de pré-tratamento e destinação final.

Com relação à destinação final dos pneus inservíveis, a reutilização dos pneus esta sendo estudada pelo Ibama, para avaliar se esta disposição se enquadra no conceito de destinação ambientalmente correta, constante na Resolução

nº 416/09. A queima de pneus inservíveis em caldeiras de leito fluidizado e pirólise não são consideradas na estatística de reciclagem do Ibama, devido a exigência de regulamentação específica, para a utilização de pneus inservíveis como combustíveis em processos industriais conforme o parágrafo único do artigo 15 da Resolução Conama nº 416/09.

REFERÊNCIAS

- ADHIKARI, B.; DE, D.; MAITI, S. Reclamation and recycling of waste rubber. **Progress in Polymer Science**, Elmsford, v.25, n.7, p.909-948, Sept. 2000.
- AFONSO, R. **Co-processamento Case Unidade Rio Branco do Sul**. Rio Branco do Sul: FIEP, 2009a. p.14-21.
- AFONSO, R. **Co-processamento na Votorantim Cimentos Rio Branco do Sul – PR**. Rio Branco do Sul: Votorantim Cimentos, 2009b. 35p.
- ALLEN, H. **The house of Goodyear: fifty years of men and industry. cronology of rubber**. Cleveland: Goodyear Tire & Rubber Company, 1949. 687p. (Book 1)
- ARNALDI, J. C. Reciclagem de pneus: desafios e tendências. In: SEMINÁRIO: RECICLAGEM DE MATERIAIS NA INDÚSTRIA DESAFIOS E TENDÊNCIAS, 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AEA, 2003. p.176 – 205
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PNEUS REMOLDADOS – **Benefícios da utilização dos pneus remoldados**. Disponível em: <http://www.abip.com.br/abip/pneu/pne_beneficios.php>. Acesso em: 14 jan. 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND. **Coprocessamento: contribuição efetiva da indústria do cimento para a sustentabilidade**. São Paulo: ABCP, 2009. 6p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2009**. São Paulo: Abrelpe, 2010. 207p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Método de ensaio de fios contínuos de rayon viscoso, poliamida e poliéster para pneumáticos**. São Paulo: ABNT, 1968. 35p. (P-MB. 462)
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO DE REFORMAS DE PNEUS – ABR. **Dados do segmento**. Disponível em: <<http://www.abr.org.br/indicadores>>. Acesso em: 5 abr. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO SEGMENTO DE REFORMAS DE PNEUS – ABR. **Dados do segmento**. Disponível em: <<http://www.abr.org.br/indicadores>>. Acesso em: 15 set. 2007.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS. **Produção na Indústria Brasileira de Pneus**. São Paulo: ANIP, 2011.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DA NATUREZA – QUERCUS. **Quercus propõem medidas para o aumento da reciclagem de pneus**. Disponível em: <<http://www.quercus.pt>>. Acesso em: 10 jan. 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Divulga desempenho de 2010**. São Paulo: ANFAVEA, 2011.

BAILEY, J. **Textile manual**. Lincoln: Goodyear, dec. 1997. 16 p.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**: transporte, administração de materiais e distribuição física. São Paulo: Atlas, 1993. 388p.

BASTIAN, E. Y. O. **Guia técnico ambiental da indústria têxtil**. São Paulo, CETESB: SINDITÊXTIL, 2009. 85 p. (Série P + L).

BERTOLLO, S. A. M. et al. Pavimentação asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. **Revista de Limpeza Pública**, São Paulo, n.54, p.23-30, jan. 2000.

BLUMENTHAL, M. H. Tires. In: LUND, H. F. (Org.) **The McGraw-Hill recycling handbook**. New York: McGraw-Hill, 1993. Cap. 18, p. 64.

BRASIL. Conselho Nacional de Trânsito. Resolução nº 558, 15 de abril de 1980. Fabricação e reforma de pneumático com indicadores de profundidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 abr. 1980. Disponível em: <<http://www.denatran.gov.br/resolucoes.htm>>. Acesso em: 27 fev. 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 416, 20 de setembro de 2009. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 01 out. 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções do Conama**: resoluções vigentes publicadas entre julho de 1984 e novembro de 2008. 2. ed. Brasília: Conama, 2008. 928 p.

BRASIL. Decreto nº 7.404, de 23 de dezembro de 2010. Regulamenta a Lei no 12.305, de 2 de agosto de 2010, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 dez. 2010c.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa nº 008, de 18 de setembro de 2003**. Disciplina o procedimento para aplicação de sanções administrativas por condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e para a defesa e o sistema recursal e a cobrança de créditos de natureza tributária e não tributária para com a Autarquia. Brasília: IBAMA, 2003. Disponível em: <<http://servicos.ibama.gov.br/ctf/manual/html/041400.htm>>. Acesso em: 10 set. 2010.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Instrução Normativa nº 001, de 18 de março de 2010**. Dispõe sobre a prevenção à degradação ambiental causada por pneus inservíveis e sua destinação ambientalmente adequada, e dá outras providências. Brasília: IBAMA, 2010a.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. **Processo de arguição de descumprimento de preceito fundamental n° 101**. Brasília: IBAMA, 2007.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, projeto de lei**. Brasília: Congresso Nacional, 2010b. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br/sileg/integras/501911.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

CAL RECOVERY. **Evaluation of waste tire devulcanization technologies**. Sacramento: Integrated Waste Management Board, 2004.

CANEVAROLO JUNIOR, S. V. **Ciência dos Polímeros básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber, 2002. 16p.

CAPONERO, J. **Reciclagem de pneus**. 2002, 193 f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

CAPONERO, J.; LEVENDIS, Y. A.; TENÓRIO, J. A. S. Análise crítica das tecnologias aplicadas a destinação final de pneus. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 55., 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** São Paulo: ABM, 2000. 14p.

CERATTI, J. A. P. et al. **Estudo comparativo do desempenho de um recapeamento utilização o asfalto borracha**. Porto Alegre: Greca Asfaltos, 2006. 76 p.

CHOUBANE, B. et al. **Ten-year performance evaluation of asphalt-rubber surface mixes**. Washington: TRR, 1999. p.10-18. (TRB 1681)

CINARALP, F. **Experience of the tyre industry**. Rimini: Fiera di Ecomondo, 2009.

CLAUZADE, C. **End of life tyres: new economical and environmentally friendly opportunities in France**. Warwick: ALIAPUR, 2009. 25p.

COMO NASCE um pneu. **Notícias Goodyear**, São Paulo, v.7, n.24, p.40-43, out. 2005.

CONSORZIO PER IL RECUPERO E IL RIUTILIZZO DEI PNEUMATICI. **Le tecnologie**. Disponível em: <<http://www.ecopneus.it/it/sect2/page23.html>>. Acesso em: 20 fev. 2008.

CONTINENTAL. **Reinfengrundlagen Pkw**. [S.l.]: GmbH, 2009. 30p.

COSTA, F. D. Câmara aprova política de resíduos sólidos após 19 anos. **Revista Sustentabilidade**, São Paulo, p.1, mar. 2010a.

COUNCIL OF LOGISTICS MANAGEMENT. **Reuse and recycling reverse logistics opportunities**. Illinois: Council of Logistics Management, 1993.

COUNCIL OF SUPPLIER CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONAL. **Reverse Logistics Definition**. Lombard: CSCMP, 2010. Disponível em: <<http://www.cscmp.org/digital/glossary/glossary.asp>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

CUENCA, F. G. **Avanços significativos nas pesquisas de materiais**. São José dos Campos, Inpe, 2010.

DADOS do Segmento de Reforma de Pneus no Brasil no período de 2001 a 2007. **PNEWS**, São Paulo, n.60, p.17, jan./mar. 2008.

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Statutory order no 111 of February 5, 2000 on a fee of tyres and a recovery subsidy**. Denmark: Danish EPA, 2000. 11p.

DANISH ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Tyres**. Denmark: Danish EPA, 2010. Disponível em: <<http://www.mst.dk>>. Acesso em: 2 jan. 2010.

DATTA, S. Elastomer blends. In: MARK, J. E.; BURAK, E.; EIRICH, F. R. **The science and technology of rubber**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. p.550.

DAVIDOFF, P. **Dpaschoal Programa SGR – Sistema de Gestão de Resíduos**. Apresentado no 1º Prêmio FGV-EAESP de Responsabilidade Social no Varejo. São Paulo: FGV, 2003. 14p. Disponível em: <http://www.fgvsp.br/cev/premio/file_dpaschoal.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2003.

DE MARCO RODRIGUEZ, I. et al. Pyrolysis of scrap tyres. **Fuel Processing Technology**, Amsterdam, v.72, n.1, p.19-22, Nov. 2001.

DEKKER, R. **Reverse Logistics Impact, Trends and Issues**: an European Network on Reverse Logistics – REVLOG. The Netherlands: Erasmus University Rotterdam, 2001.

DEL BEL, D. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. a visão do setor de tratamento de resíduos. São Paulo: ABETRE, 2010.

DUPONT ADVANCED FIBERS SYSTEMS. **Properties and processing of Dupont Kevlar' brand yarn for mechanical rubber goods**. Richmond: Dupont, 2001. 21p.

EDEL, G. Asfalto: mercado aquecido. **Soluções BR Mercado Consumidor**, n.38, p. 5-9, jan./fev. 2010.

EDEL, G. Pneus inservíveis e asfalto: União que beneficia estradas e o meio ambiente. In: SIMPÓSIO SOBRE OBRAS RODOVIÁRIAS RODO, 2., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABGE, 2002.

ESTAKHRI, C. K.; JOE, B. W.; FERNANDO, E. G. **Use, availability, and cost-effectiveness of asphalt rubber in Texas**. Washington: TRR, 1992.

EUROPEAN CEMENT ASSOCIATION. **Activity Report 2009**. Brussels: Cembureau, 2010. 48p.

EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION. **Annual Activity Report 2009 – 2010**. Brussels: ETRMA, 2010.

EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURERS ASSOCIATION. **EU National treatment data in 2008**. Brussels: ETRMA, 2009a.

EUROPEAN TYRE & RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION. **UT / Part Worn Tyres / ELT's Europe Volume Situation in 2008**. Brussels: ETRMA, 2009b. 1p.

EUROPEAN WORKING GROUP ON REVERSE LOGISTICS. **Reverse Logistics**. [S.l.]: REVLOG, 2010. Disponível em: <<http://www.fbk.eur.nl/OZ/REVLOG/Publications.htm>>. Acesso em: 10 jun. 2010.

FACCIO, C. **Para onde vai o pneu?** São Paulo: Reciclanip, 2010. 39 p.

FERNANDES, A. C. Pneu deixa de ser o vilão da história da dengue. **Pnews**, n. 61, p.18-20, abr./jun. 2008.

FILIÈRE DE VALORISATION DES PNEUS USAGÉS. **Rapport d'activité 2008**. Lyon: Aliapur, 2009.

FOI DADA a largada Stock Car 2008. **Notícias Goodyear**, v.10, n 30, p.49, abr. 2008.

FONSECA, C. **Projeto de lei nº 422/10: Coleta Sistemática de Pneus Inservíveis no Município de São Paulo**. São Paulo: Câmara Municipal, 2010. Disponível em: <<http://www.vereadorclaudiofonseca.com.br>>. Acesso em: 10 mar. 2011.

FRANCO NETO, G. F. **Problemática Pneus x Dengue**. Brasília: SVS, 2008. 25p.

FUKOMORI, K.; MATSUSHITA, M. R & D Review of Toyota. **CRDL**, v.38, p.1, 2003.

GESELLSCHAFT FUR ALTGUMMI. Verwertungs-Systeme m.b.H. **Altgummi-Entsorgung in Deutschland**. Frankfurt: GAVS, may 2010a. 18p.

GESELLSCHAFT FUR ALTGUMMI. Verwertungs-Systeme m.b.H. **Used Tyre Recovery Germany 2009**. Frankfurt: GAVS, may 2010b. 1p.

GOMES, A. C. Medidas dos níveis de infestação urbana para o *Ae. Aegypti* e *Ae. Albopictus* em programa de vigilância entomológica. **Informe Epidemiológico do SUS**, Brasília, v.7, n.3, p.49-57, jul./set. 1998.

GOODYEAR DO BRASIL. **História da Borracha e dos Pneus**. Mensagem pessoal enviada por: <sac@goodyear.com.br> recebida em: 19 jan. 2003.

GOODYEAR DO BRASIL. **90 anos rumo ao futuro**. São Paulo, Abril, 2009a. 143p.

GOODYEAR DO BRASIL. **Conhecimentos fundamentais de pneus**. São Paulo: Goodyear do Brasil, 2009b. CD ROM.

GOODYEAR DO BRASIL. Edição Especial 50 Anos. **Revista Goodyear**, São Paulo, p.10 – 11, 1989.

GOODYEAR DO BRASIL. **Layout de produção de pneus fábrica São Paulo.** São Paulo: Goodyear do Brasil, 2004.

GOODYEAR DO BRASIL. **Tire IQ:** um monitoramento da vida do seu pneu. Americana: Goodyear, 2011. 4 p.

GOODYEAR DO BRASIL. Vida longa sem segredos. **Boletim de Orientação Técnica**, São Paulo, ano 1, n.1, jul. 2010.

GOODYEAR TIRE & RUBBER COMPANY. **Fabric Processing Seminary.** São Paulo: Goodyear do Brasil, 2006. 44p.

GREENHALGH, A. **Para onde vão os pneus inservíveis?.** São Paulo: Reciclanip, 2007. 24p.

GRIMAL, P. **Dicionário da mitologia grega e romana.** Tradução Victor Jabouille. 4. ed. Rio de Janeiro: Beltrand Brasil, 2000. p.10-11, 189, 195, 467.

GROSSI, M. G. **Processos de destinação final de pneus inservíveis:** situação atual de destinação de pneus nos Estados. Brasília: IBAMA, 2004. 42p.

GROSSI, M. G. L. **Avaliação da qualidade dos produtos obtidos de usinas de compostagem brasileiras de lixo doméstico através de determinação de metais pesados e substâncias orgânicas tóxicas.** 1993. 222 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993.

HEITZMAN, M. **Design and construction of asphalt paving materials with crumb rubber modifier.** Washington, D.C.: TRB, 1992. (Transportation Research Record, 1339).

HIRD, A. B.; GRIFFITHS, P. J.; SMITH, R. A. **Tyre waste and resource management:** a mass balance approach. [S.l.]: Viridis Report VR2, 2002.

HUGUES, J.H.; PORTER, J.E. Dispersal of mosquitoes through transportation with particular reference to immature stages. **Mosq. News**, v.16, n.2, p.106-111, 1956.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção de pneumáticos e câmaras de ar 1936-1976.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 12 jan. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Relatório de Pneumáticos.** Dados apresentados no Relatório de Pneumáticos – Resolução Conama no 416/09 do Cadastro Técnico Federal. Brasília: Ibama, julho 2011. 9 p.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Identificação da destinação final de pneus inservíveis.** São Paulo: IPT/DEES, 2004. 81p. (Relatório Técnico 71.196)

INSTITUTO ESTADUAL DO AMBIENTE. **Descarte de pneus terá nova norma no estado.** Rio de Janeiro: INEA, 2010. Disponível em: <<http://www.inea.rj.gov.br>>. Acesso em: 21 jan. 2011.

INSTITUTO NACIONAL DE PROCESSAMENTO DE EMBALAGENS VAZIAS – InPEV. **Embalagens de agrotóxicos**. Disponível em: <<http://www.inpev.org.br>> Acesso em: 10 ago. 2010.

INTERNATIONAL INSTITUTE OF SYNTHETIC RUBBER PRODUCERS. **Borracha sintética: a história de uma indústria**. New York: International Institute of Synthetic Rubber Producers, 1973. 96p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22628: road vehicles – recyclability and recoverability – calculation method**. Geneve: ISO, 2002.

INVENÇÕES. São Paulo: Abril, 1994. p.12-13.

JANG, J. W. et al. Discarded tyre recycling practices in the United States, Japan and Korea. **Resources Conservation and Recycling**, v.22, n.1/2, p.1-14, 1998.

JAPAN AUTOMOTIVE TYRE MANUFACTURES ASSOCIATION. **Tyre Industry of Japan 2010**. Tokyo: JATMA, 2010.

KIHARA, Y. **Co-processamento como alternativa de gestão de resíduos**. Curitiba: ABES, 2009a. 48p.

KIHARA, Y. Co-Processamento como ferramenta para a destinação final dos resíduos industriais. In: FEIRA E SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE MEIO AMBIENTE INDUSTRIAL E SUSTENTABILIDADE, 11., 2009, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Fimai, 2009b.

KIHARA, Y. **Gestão de resíduos sustentabilidade e competitividade**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2009c. 76p.

KIHARA, Y. Impacto da normalização do co-processamento de resíduos em fornos de clínquer. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 5., 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABCP, 1999. 8p.

KNEPPER, G. W. **Akron City at the Summit**. Akron: Continental Heritage Press, 1981. p.197, 200-201.

KOVAC, F. J. **Tire Technology**. 4. ed. Akron: The Goodyear Tire & Rubber Company 1973. 159 p.

LAGARINHOS, C. A. F. **Reciclagem de pneus: coleta e reciclagem de pneus. Co-processamento na indústria de cimento, Petrobras SIX e pavimentação asfáltica**. 2004. 257f. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, São Paulo, 2004.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Reciclagem de pneus: discussão do impacto da política brasileira. **Revista Engevista**, Rio de Janeiro, v.11, n.1, p.32-49, jul. 2009.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias utilizadas para a Reutilização, Reciclagem e Valorização Energética de Pneus no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v.18, n.2, p.106-118, 2008.

LANGEVIN, A.; RIOPEL, D. **Logistics systems: design and optimization**. New York: Springer, 2005. 387p.

LE BRAS, J. **Introduction to rubber**. Barking: MacLaren and Sons, 1969. 104p.

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

LINDHQVIST, T. Extended producer responsibility as a strategy to promote cleaner production. In: INVITATIONAL EXPERT SEMINAR, 1992, Sweden. **Proceedings...** Lund, Sweden: Lund University / Department of Industrial Environmental Economics, 1992. p. 1-5.

LUKE, S. **Essentials of Metaheuristics**. Fairfax: George Mason University, 2009.

MARINGOLO, V. **Clínquer co-processado produto de tecnologia integrada para sustentabilidade e competitividade da indústria de cimento**. 2001. 177f. Tese (Doutoramento) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MARK, J. E.; ERMAN, B.; EIRICH, F. R. **The science and technology of rubber**. 3. ed. San Diego, CA: Elsevier Academic Press, 2005. 743p.

MARQUES, M. Coprocessamento em fornos de cimento. **Revista Gerenciamento Ambiental**, São Paulo, n. 6, p. 10-26, mar./abr. 1999.

MARTIGNONI, B. N. V.; NOVICKI, R. E. M. **Retortagem de pneus**. Disponível em: <<http://www.borrachaatual.com.br/materiatecnica/43/mattec.43.pdf>>. Acesso em: 5 jan. 2007.

MARTINS, E. S. **A construção de um programa que já reciclou mais de 240 milhões de pneus inservíveis**. São Paulo: Reciclanip, 2010. Disponível em: <<http://www.reciclanip.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

MARTINS, J.; BELLINI, S. **Reciclanip destinou 311.554 toneladas de pneus inservíveis em 2010**. Reciclanip: São Paulo, 2011. Disponível em: <http://www.reciclanip.com.br/?cont=press_release&tipo=interno&id=404>. Acesso em: 15 fev. 2011.

MARTINS, L. **Avaliação da Aplicação da Resolução CONAMA nº 258/99**. Brasília: IBAMA, 2008. 29p.

MICHELIN. **2008 Annual Report**. Clermont-Ferrand: Michelin, mar. 2009. 224p.

MICHELIN. **2010 Annual and Sustainable Development Report**. Clermont-Ferrand, Michelin, mar. 2011. 116p.

MICHELIN. **História da Michelin**. 16 p. Disponível em: <<http://www.michelin.com.br>>. Acesso em: 10 ago. 2010.

MILLER, F. P.; VANDOME, A. F.; MCBREWSTER, J. (Ed.). **Tire**. Beau Bassin, Mauritius: Alphas, 2009. 95 p.

- MIN, H.; KO, H J.; KO, C. S. A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics net work for product returns. **Omega**, v.34, p.56-69, 2006.
- MONTENEGRO, P. M. Strategic Management of Climate Changes at Votorantim Cimentos. In INTERNATIONAL WORKSHOP ON CARBON MARKETS IN EMERGING ECONOMIES, 2010, São Paulo, 2010. **Apresentação**. São Paulo: CNI, 2010. 40 p.
- MONTENEGRO, P. M. **Workshop avanços da tecnologia de coprocessamento de resíduos**. Curitiba: Votorantim Cimentos, 2009.
- MORÃES, S.; RIOS, C. Pneus. **Gazeta Mercantil**. São Paulo, 16 fev. 2006. C5.
- MORANDI, A. H. Reciclagem de borracha. In: SEMINÁRIO DE MATERIAIS (RECICLAGEM), 2. São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: AEA, 1992. p. 55-60.
- MORETTO, R.; CLAUZADE, C. **Recycling used tyres in quarry relining: an environmentally safe solution**. Wascon Lyon: ALIAPUR, 2009. 20p.
- MOURA, T. N. **Preparação e caracterização de compósitos cimento portland-pó de borracha-bentonita sódica**. 2007. 143f. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- MURAD, R. **Contextualização histórica da operacionalização da Resolução CONAMA 258/99**. São Paulo: Reciclanip, 2007. p.14.
- MURAD, R. **Pneu Inservível um resíduo pós-consumo a caminho da solução**. São Paulo: Reciclanip, 2008. 21p.
- NATIONAL GEOGRAPHIC & GLOBESCAN GREENDEX. **Consumer Choice and Environmental – A worldwide tracking survey**. [S.l.]: National Geographic, 2010. Disponível em: <<http://environment.nationalgeographic.com/environment/greendex>>. Acesso em: 10 out. 2010.
- NOVAES, A. G. **Logística o gerenciamento da cadeia de distribuição**. 4. ed. Rio de Janeiro: Campus, 2007. 400p.
- NOVICK, R. E. M.; MARTIGNONI, B. N. V; PAES, E. Retortagem de pneus. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE REUSO E RECICLAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2000, Rio de Janeiro, 2000. **Anais...** São Paulo: SMA, 2000. 11p.
- OLMOS, M. Goodyear investe em fidelidade na reposição. **Valor Econômico**, São Paulo, 05 dez. 2002. p.B1.
- PACIFIC NORTHWEST NATIONAL LABORATORY. **Discover Award Winners**. Richland: PNNL, 2006. Disponível em: <<http://www.pnl.gov/main/welcome/awards/discover/index.html>>. Acesso em: 25 jan. 2006.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA nº 057, de 25 de novembro de 2008. Dispõe sobre a proibição do recebimento de pneus inservíveis gerados em outros Estados da Federação e/ou de outros países. **Diário Oficial do Estado**, Curitiba, 25 nov. 2008.

PARANÁ (Estado). **Lei nº 12.493, de 22 de janeiro de 1999**. Estabelece princípios, procedimentos, normas e critérios referentes a geração, acondicionamento, armazenamento, coleta, transporte, tratamento e destinação final dos resíduos sólidos no Estado do Paraná, visando controle da poluição, da contaminação e a minimização de seus impactos ambientais e adota outras providências. Disponível em: <<http://www.iap.pr.gov.br>> Acesso em: 10 jun. 2010.

PETROBRAS SIX. **Folder - Reciclagem de pneus**. São Mateus do Sul – PR: Petrobras, 2005. 2p.

PETROBRAS SIX. **Reciclagem de pneus**. São Mateus do Sul PR: Petrobras, 2003. 37p.

PETROBRAS. Uma pedra também preciosa. **Revista da Petrobras**, Rio de Janeiro, n.7, jul. 1994. (edição especial)

PETROBRAS. **Vídeo Institucional SIX**. São Mateus do Sul, PR: Petrobras, maio 2010. (DVD).

PIRELLI TYRE SPA. **Company Profile**. Milan: Pirelli Tyre, 2006. 37p.

POCHAMPALLY, K. K.; NUKALA, S.; GUPTA, S. M. **Strategic planning models for reverse and closed-loop supply chains**. Boca Raton: CRC Press, 2009.

PORTÃO, L. **Sobre a Resolução Conama nº 258, de 26 de agosto de 1999**. Americana: [s.n.], 2002. 10 p. (palestra apresentada)

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION. **Sustainable manufacturing fact sheet: tire derived fuel**. Skokie: Portland Cement Association, 2005.

PORTUGAL. Decreto Lei nº 111/2001, de 6 de abril de 2001. Estabelece os princípios e as normas aplicáveis à gestão de pneus e pneus usados, tendo como objectivos a prevenção da produção destes resíduos, a recauchutagem, a reciclagem e outras formas de valorização, por forma a reduzir a quantidade de resíduos a eliminar. Cria a comissão de acompanhamento da gestão de pneus e pneus usados, fixando a respectiva composição e competências. Prevê o regime sancionatório do incumprimento do disposto neste diploma, conferindo atribuições de fiscalização ao Instituto dos Resíduos, à Inspeção Geral das Actividades Económicas, à Direcção-Geral das Alfândegas e dos Impostos Especiais sobre o Consumo e à Inspeção-Geral do Ambiente. Transpõe para a ordem jurídica interna o disposto na Directiva nº 1999/31/CE, do Conselho, de 26 de Abril. **Diário da República** – 1 série, p.2046-2050, 2001. Disponível em: <<http://www.acap.pt>>. Acesso em: 12 jul. 2003.

PRADO FILHO, H. R. P. O que fazer com quase 100 milhões de pneus usados no Brasil? **BANAS Qualidade**, São Paulo, v.12, n.125, p.81-83, out. 2002.

PYANOWSKI, D. **European End of Life Tyres (ELT)**. Montreal: RAC/RMA, 2002. 25p.

RAZZOLINI, F., E.; BERTÉ, R. **O reverso da logística e as questões ambientais no Brasil**. Curitiba: IBPEX, 2009. 217p.

RECICLANIP. **Consulta geral a homepage**. Disponível em: <<http://www.reciclanip.com.br>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

RECICLANIP. **Depósitos irregulares extintos**. São Paulo: Reciclanip, 2007. 3p.

REIS, C.; FERRÃO, P. **PROTAP – Produção, utilização e opções de fim de vida para os pneus**. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2000.

REISCHNER, K. **Scrap Tire Recycling**. Disponível em: <<http://www.entire-engineering.de>>. Acesso em: 12 ago. 2009.

RIBEIRO, D. V.; MORELLI, M. R. **Resíduos sólidos problema ou oportunidade?** Rio de Janeiro: Interciência, 2009. p.121-126.

RODGERS, B.; WADDEL, W. Tire engineering. In: MARK, J. E.; BURAK, E.; EIRICH, F. R. **The science and technology of rubber**. 3. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2005. p.619-661

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMKLE, R. S. **Going backwards: reverse logistics trends and practices**. Reno: University Nevada, 1998.

ROSENHOF, J. A. The Cement Kiln – The optimal solution for waste tyre Burning. **International Cement Review**, Dorking, p.30-36, May 1993.

ROY, C. et al. Conversion of used tires to carbon black and oil by pyrolysis. In: SADHAN, K., et al. (Ed.). **Rubber recycling**. Boca Raton: CRC Press, 2005. Cap. 11, p. 429-462.

RUBBER MANUFACTURES ASSOCIATION. **Scrap tire market in the United States - Biennial Report**. Washington: RMA, 2009.

SECRETARIA DE COMÉRCIO EXTERIOR. **Dados Estatísticos sobre a importação de pneus usados e recauchutados no período de 1996 a 2010**. Brasília: Secex, 2010. Disponível em: <<http://www.aliceweb.desenvolvimento.org.br>>. Acesso em: 10 nov. 2010.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. Resolução SMA-24, de 30 de março de 2010. Estabelece a relação de produtos geradores de resíduos de significativo impacto ambiental, para fins do disposto no artigo 19, do Decreto Estadual nº 54.645, de 05 de agosto de 2009, que regulamenta a Lei Estadual nº 12.300, de 16 de março de 2006, e dá providências correlatas. **Diário Oficial do Estado**, São Paulo, 31 mar. 2010. capítulo 1, p.104.

SECRETARIA DE VIGILÂNCIA DE SAÚDE. **Guia de Vigilância Epidemiológica** Mato Grosso do Sul: SVS, 2009. (Caderno 10)

SIGNUS SISTEMA INTEGRADO DE GÉSTION DE NEUMÁTICOS USADOS. **El auténtico valor de los neumáticos usados**. Madrid: Signus, 2010.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE CIMENTO. **Press Kit 2010**. Rio de Janeiro: SNIC, 2011. 25p.

SIQUEIRA, K. Por um ambiente mais saudável. **PNEWS**, São Paulo, n.70, p.29-31, dez. 2010.

SMITH, L. et al. **Asphalt rubber in the State of Florida: the first ten years**. Portugal: [s.n.], 2000. p. 97-116.

SOCIEDADE DE GESTÃO DE PNEUS. **Relatório Anual & Contas 2009**. Lisboa: Valorpneu, fev. 2010. 74 p.

SOUZA, F. A. **Co-processamento de resíduos industriais**. Rio Branco do Sul: Votorantim Cimentos, 2008. p.23-30.

TIRE INDUSTRY ASSOCIATION. Tire Retread & Repair Information Bureau. Understandig Retreadig. **The facts, the industry, the process and the benefits**. Pacific Grove, CA: TIA, TRIB, [2009?]. 16 p.

UNIÓN EUROPEA. Directiva 2008/98/CE Del Parlamento Europeo y Del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos y por La que se derogan determinadas Directivas. **Diário Oficial De La Unión Europea**, 22 nov. 2010. p.L312/3 – 30.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME. **Basel convention technical guidelines on the identification and management of used tyres**. Basel: UNEP, 1999. 47p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Pacific Environmental Services. **Scrap tires technology and markets**. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1993.

USED TYRE WORK GROUP. **The Challenge**. London: UTWG, 2006. Disponível em: <http://www.tyredisposal.co.uk/disposal_UK.asp>. Acesso em: 16 fev. 2006.

VELOSO, Z. M. F. **Ciclo de vida dos pneus**. Brasília: MMA, 2010. 24p.

VILHENA, A. **A evolução da coleta seletiva e reciclagem no Brasil**. São Paulo: Cempre, 2009.

WERNEK, J. H. **Sistema de destinação de embalagens vazias de agrotóxicos**. São Paulo: InPEV, 2010. 24 p.

WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Managing End-of-Life Tires**. Switzerland: WBCSD, August 2008. 8p.

APÊNDICE A – Pesquisas nos Pontos de Coleta

Ponto de Coleta (Município): _____

Responsável: _____

Data da Entrevista: _____ **Tel.:** () _____

Quantidade de funcionários no ponto de coleta: _____

- a) Qual é a área instalada em m² para o armazenamento dos pneus usados?
- b) A área de armazenagem de pneus usados é coberta?
- c) A área de armazenagem de pneus usados possui proteção nas laterais para evitar a entrada de pessoas, animais ou água das chuvas?
- d) Qual é a capacidade de armazenamento dos pneus usados no ponto de coleta?
[Especificar a capacidade de armazenamento de pneus usados de automóveis e de carga (ônibus e caminhões)]
- e) Como é feito o armazenamento dos pneus usados dentro do ponto de coleta? Existe algum procedimento para o armazenamento?
- f) Existe alguém responsável dentro do ponto de coleta para o armazenamento dos pneus usados coletados no município?
- g) Outros municípios enviam os pneus usados para este ponto de coleta? Como é feito o transporte e o descarregamento destes pneus usados?
- h) Existe alguma triagem dos pneus usados armazenados antes do carregamento para a destinação final? (Triagem / Seleção – Classificação dos pneus usados em servíveis e inservíveis).
- i) Existe algum custo para o município para o carregamento, descarregamento, transporte, estocagem dos pneus usados no ponto de coleta?
- j) Existe algum material aplicado sobre os pneus usados para evitar a proliferação do vetor da dengue / febre amarela?
- k) Existe alguma preparação para o transporte dos pneus usados?
- l) Como é feita a coleta dos pneus usados no ponto de coleta?
- m) Para onde são enviados os pneus usados após a coleta (empresa, cidade, estado)?
- n) Quais os pontos positivos e negativos do ponto de coleta no município?
- o) Verificar a possibilidade de enviar uma foto do ponto de coleta da parte interna e externa e do processo de coleta dos pneus usados?
- p) Qual foi o volume de pneus usados coletados em 2009?
- q) Qual foi o volume de pneus usados coletados em 2010?

APÊNDICE B – Pesquisas nas Borracharias

Razão Social da Borracharia: _____

Responsável: _____

Data da Entrevista: _____ **Tel.:** () _____

Quantidade de funcionários: _____

- a) Qual é a área instalada em m² para o armazenamento dos pneus usados?
- b) A área de armazenagem de pneus usados é coberta?
- c) A área de armazenagem de pneus usados possui proteção nas laterais para evitar a entrada de pessoas, animais ou água das chuvas?
- d) A triagem / seleção é feita para os pneus usados? (Triagem / Seleção – Classificação dos pneus usados em servíveis e inservíveis)
- e) Qual é o destino dos pneus servíveis?
- f) Qual é o destino dos pneus inservíveis?
- g) Como é feita a coleta dos pneus inservíveis? Para onde eles são levados após a coleta?
- h) Quem é o responsável pela coleta?
- i) Seria possível enviar fotos da borracharia (parte externa, interna e local de armazenagem dos pneus servíveis e inservíveis)?
- j) Para a abertura de uma borracharia o que é necessário? (Documentação, Licença)
- k) Existe algum tipo de fiscalização?
- l) Existe alguma associação que representa os borracheiros?

APÊNDICE C – Pesquisa na Associação que Representa os Recicladores de Pneus no Brasil

Associação: _____

Pesquisado: _____

Data da Entrevista: _____ **Tel.:(____)** _____

Local: _____

Pontos de Coleta

- a) Existe alguma estatística de geração de pneus inservíveis por Estado ou Região Geográfica? (IBAMA / Reciclanip)
- b) Quantidade de pontos de coleta no Brasil? Qual é a capacidade de armazenamento dos pontos de coleta? (Reciclanip)
- c) Quantidade de pontos de coleta no Estado de São Paulo? (Reciclanip)
- d) Qual é a tendência para os pontos de coleta após a aprovação da Resolução CONAMA nº 416/09?
- e) Todos os pneus coletados nos pontos de coleta passam pelo processo de seleção e triagem?
- f) Existe alguma lei para o transporte dos pneus inservíveis no Brasil?
- g) Qual é o custo para a coleta e armazenagem dos pneus usados nos pontos de coleta?

Triagem / Seleção (Operadores Logísticos)

- a) Como funcionam as empresas de triagem e seleção no Brasil?
- b) Existem atualmente quantas empresas de triagem e seleção?
- c) Após o processo de seleção/triagem quantos pneus são considerados servíveis e inservíveis?
- d) Qual é a tendência para as empresas que trabalham com a triagem e seleção de pneus usados no Brasil?
- e) Existe algum custo objetivo para esta atividade? (Exemplo: R\$/tonelada, R\$/pneu usado)

- f) Qual é a participação das revendas, distribuidores e revendas no processo de coleta dos pneus inservíveis?

Coleta e Transporte

- a) Como funciona o processo de coleta dos pneus inservíveis nos pontos de coleta?
- b) Qual é a capacidade dos caminhões utilizados para a realização da coleta dos pneus?
- c) Quantos funcionários são utilizados para o carregamento do caminhão?
- d) Em média, quantas horas são utilizadas para carregar e descarregar os caminhões?
- e) Qual é o custo para a coleta e transporte para a destinação final dos pneus inservíveis?
- f) Como funciona o processo de logística para a coleta dos pneus inservíveis?
- g) Existe algum valor de frete padrão para a coleta dos pneus inservíveis? (R\$ por m³.km ou kg. Km)
- h) O que seria ideal para o processo de coleta e transporte de pneus inservíveis na visão da AREBOP?

Destinação dos Pneus Inservíveis

- a) Seria possível informar a capacidade total e por Estado para os processos de granulação, laminação e co-processamento? ou indicar alguma referência bibliográfica?
- b) Existe algum custo estimado que o Sr. possa informar sobre os produtos reciclados dos pneus diagonais e radiais? E o custo do aço enviado para a indústria siderúrgica?
- c) No caso dos pneus enviados para o co-processamento, existem dois processos: para pneus inteiros e para pneus triturados. Seria possível informar como funciona este processo? Quantas cimenteiras no país co-processam pneus inteiros e quantas pneus triturados?
- d) No Brasil já existem empresas fazendo o processo de pirólise, queima de pneus em caldeiras, utilização de pneus triturados no processo de redução de sucata de aço na indústria siderúrgica?
- e) Qual é a capacidade total de reciclagem das empresas associadas à AREBOP em 2011?
- f) Seria possível me enviar algumas fotos dos produtos reciclados dos pneus radiais e diagonais inservíveis?

- g) Qual é a previsão de crescimento para 2011 e 2012 das empresas de reciclagem de pneus inservíveis no Brasil?
- h) Como funciona o processo de logística da coleta e para a destinação dos pneus. A AREBOP possui algum modelo implementado?
- i) O que muda na reciclagem de pneus inservíveis com a aprovação a Política Nacional de Resíduos Sólidos?
- j) Existe algum incentivo para a reciclagem de pneus no Brasil?

Mercado para a Reciclagem de Pneus

- a) Como é feito o cálculo para a previsão da reciclagem de pneus?
- b) Qual é a participação dos pneus diagonais para a reciclagem de pneus?
- c) Como funciona o processo de aquisição de certificado de destinação dos pneus inservíveis?

APÊNDICE D – Pesquisa na Associação que Representa os Fabricantes – RECICLANIP

Questionário 2009-2011

- a) No site da Reciclanip foi divulgado o balanço do 1º semestre de 2010, para a reciclagem de pneus. Seria possível informar a meta de reciclagem para o 1º e 2º trimestres?
- b) O Sr. havia comentado que para a valorização energética dos pneus no Brasil uma empresa do ramo de papel e celulose já está utilizando os resíduos de pneus para a queima em caldeiras. Seria possível informar como funciona este processo?
- c) No Japão, França e Estados Unidos é utilizado os pneus no processo de redução dos resíduos de aço utilizados pelas indústrias ou gerados pelo processo de desmanche dos carros no final da vida útil. Existe algum estudo para a utilização deste processo?
- d) Nos Estados Unidos, os pneus inservíveis são utilizados para aplicações em paredes nas estradas, para evitar a refração do ruído, principalmente em áreas residenciais. No Brasil, existem estas paredes, mas não é utilizado a borracha para atenuar o ruído. Existe algum projeto para a utilização desta tecnologia?
- e) Com relação aos pontos de coleta. Existe algum licenciamento ambiental ou alvará de funcionamento? Existe algum padrão para a construção dos pontos de coleta?
- f) O Sr. havia comentado que não existe um software específico para a realização da logística reversa, na época que conversamos. Como funciona este processo hoje? Estou trabalhando em modelos para o dimensionamento da coleta de pneus. O Sr. poderia me informar os pontos positivos e negativos do sistema implementado e quais as variáveis que devem ser utilizadas para o dimensionamento de uma rede de logística reversa?
- g) Quais são as variáveis para garantir a eficiência do processo de logística reversa de pneus inservíveis que a Reciclanip utiliza?
- h) Existem custos objetivos para a coleta, transporte, pré-tratamento e destinação final dos pneus? Seria possível informar o investimento realizado em 2008 e 2009 para a reciclagem de pneus no Brasil?
- i) Sei que as indústrias de cimento, cobram para o co-processamento de pneus inservíveis. Quando estava fazendo o meu mestrado já havia uma tendência de não considerar o pneu com resíduo e sim como combustível alternativo. Existe algum trabalho que está sendo realizado pela Reciclanip para a mudança deste conceito?
- j) Na Europa, alguns países que utilizam pneus como combustível alternativo, vendem créditos de carbono. Existem algum estudo para implementação do crédito de carbono na indústria cimenteira
- k) Com a aprovação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, deve ser implementadas ferramentas como análise de ciclo de vida, logística reversa, responsabilidade compartilhada. Como a indústria de pneus está trabalhando com relação a implementação da análise do ciclo de vida dos pneus? No caso da Reciclanip, muda alguma coisa com relação a logística reversa? Hoje, a logística reversa dos pneus, agrotóxicos e latas de alumínio, são referências no Brasil com relação a logística reversa, sendo que as duas primeiras são financiadas pela a indústria e no caso da lata de alumínio devido alto valor comercial não é necessário nenhum investimento por parte da indústria. Qual é a tendência para a reciclagem de pneus no Brasil?
- l) O aço retirado dos pneus é enviado para a indústria siderúrgica. Seria possível informar com é o custo para a remoção do aço dos pneus e o valor pago por tonelada pela indústria siderúrgica?

m) O Sr. poderia me enviar os valores reciclados de pneus no ano de 2009 e a sua destinação em % (co-processamento, laminação, entre outros)

n) No caso dos pontos de coleta, existem os contatos e telefones, o Sr. poderia me enviar os emails, para que eu possa fazer um pesquisa a nível acadêmico?

o) Como foi feito o cálculo da meta de reciclagem para o ano de 2009 e para o 1º semestre de 2010?

APÊNDICE E – Código da Macro (Visual Basic – VBA) / Fluxograma

Código da Macro

```

'Declaração de variáveis
Public i As Integer

Sub Gerar()
'Declaração de variáveis
Dim n As Integer
Dim l, pos, val
Dim r, s, p1, p2, p3
'Rotina para limpar os valores da planilha
Worksheets("Plan1").Activate
Range("T14:T23").ClearContents
Range("T28:T52").ClearContents
'Função que atribui um valor para cada ponto de geração de resíduos (total 234
pontos)
For r = 1 To 10
    For l = 2 To 234
        i = 0
        val = Ale(1, 9, 10)
        Cells(l, 6) = i
        'A condição abaixo restringe o destino do resíduo para que a capacidade de
processamento não seja negativa
        If Cells(l, 10) < 0 Then
            l = l - 1
        Else
            'Se o valor gerado for um ponto de destino que necessita de processamento
extra ele define um destino para este processamento.
            If i < 6 Then
                While i < 9
                    val = Ale(10, 15, 100)
                Wend
                Cells(l, 12) = i
            EndIf
        EndIf
    Next
    'Copia o valor do custo total deste vetor de soluções para o ranking
    Cells(r + 13, 20) = Cells(235, 9)
    'Guarda os valores do vetor para serem usados na mutação posteriormente
    For l = 2 To 234
        Cells(l + 236, r) = Cells(l, 6)
        Cells(l + 469, r) = Cells(l, 12)
    Next
    'Limpa os valores gerados
    Range("F2:F234").ClearContents
    Range("L2:L234").ClearContents

```



```

Next
'A partir desta primeira geração começa o processo de iteração
'Cada iteração gera mutações e novos vetores de solução
'Este processo é repetido por mais 25 vezes
For s = 1 To 25
  For l = 1 To 10
    'Geração das mutações
    val = Cells(24, l + 20)
    Select Case val
      Case 0
        Cells(27 + s, 20) = Cells(13, l + 20)
        p1 = l
      Case 1
        p2 = l
      Case 2
        p3 = l
    End Select
  Next
Next

Range("F2:F234").ClearContents
Range("L2:L234").ClearContents

```

```

'Copiar os valores para cada nova iteração
For r = 1 To 464
  Cells(237 + r, 11) = Cells(237 + r, p1)
  Next
  i = 0
  val = Ale(3, 232, 1000)
  For r = 1 To i
    Cells(237 + r, 12) = Cells(237 + r, p1)
  Next
  For r = 1 To i
    Cells(470 + r, 12) = Cells(470 + r, p1)
  Next
  i = 0
  val = Ale(3, 232, 1000)
  For r = 1 To i
    Cells(237 + r, 13) = Cells(237 + r, p1)
  Next
  For r = 1 To i
    Cells(470 + r, 13) = Cells(470 + r, p1)
  Next
  i = 0
  val = Ale(3, 232, 1000)
  For r = 1 To i
    Cells(237 + r, 14) = Cells(237 + r, p2)
  Next
  For r = 1 To i
    Cells(470 + r, 14) = Cells(470 + r, p2)
  Next
Next

```

```

    i = 0
    val = Ale(3, 232, 1000)
    For r = 1 To i
    Cells(237 + r, 15) = Cells(237 + r, p2)
    Next
    For r = 1 To i
    Cells(470 + r, 15) = Cells(470 + r, p2)
    Next
    i = 0
    val = Ale(3, 232, 1000)
    For r = 1 To i
    Cells(237 + r, 16) = Cells(237 + r, p3)
    Next
    For r = 1 To i
    Cells(470 + r, 16) = Cells(470 + r, p3)

    'Após gerar a nova geração a planilha é atualizada
    DoEvents
    Next
    'Limpa o ranking
    Range("T14:T23").ClearContents

    'Chama a função para gerar valores aleatórios após o ponto de quebra da mutação
    Completar

    DoEvents
    Next

    'Finaliza o processo e copia a melhor solução

    Range("A238:A470").Select
    Selection.Copy
    Range("F2").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False
    Range("A471:A703").Select
    Application.CutCopyMode = False
    Selection.Copy
    Range("L2").Select
    Selection.PasteSpecial Paste:=xlPasteValues, Operation:=xlNone, SkipBlanks _
:=False, Transpose:=False

    End Sub

    'Função que gera números aleatórios
    PublicFunctionAle(inf As Integer, sup As Integer, ord As Integer)
    While i > sup Or i < inf
    Randomize
    i = Int((sup - inf + 1) * Rnd() + inf)
    Wend

```

End Function

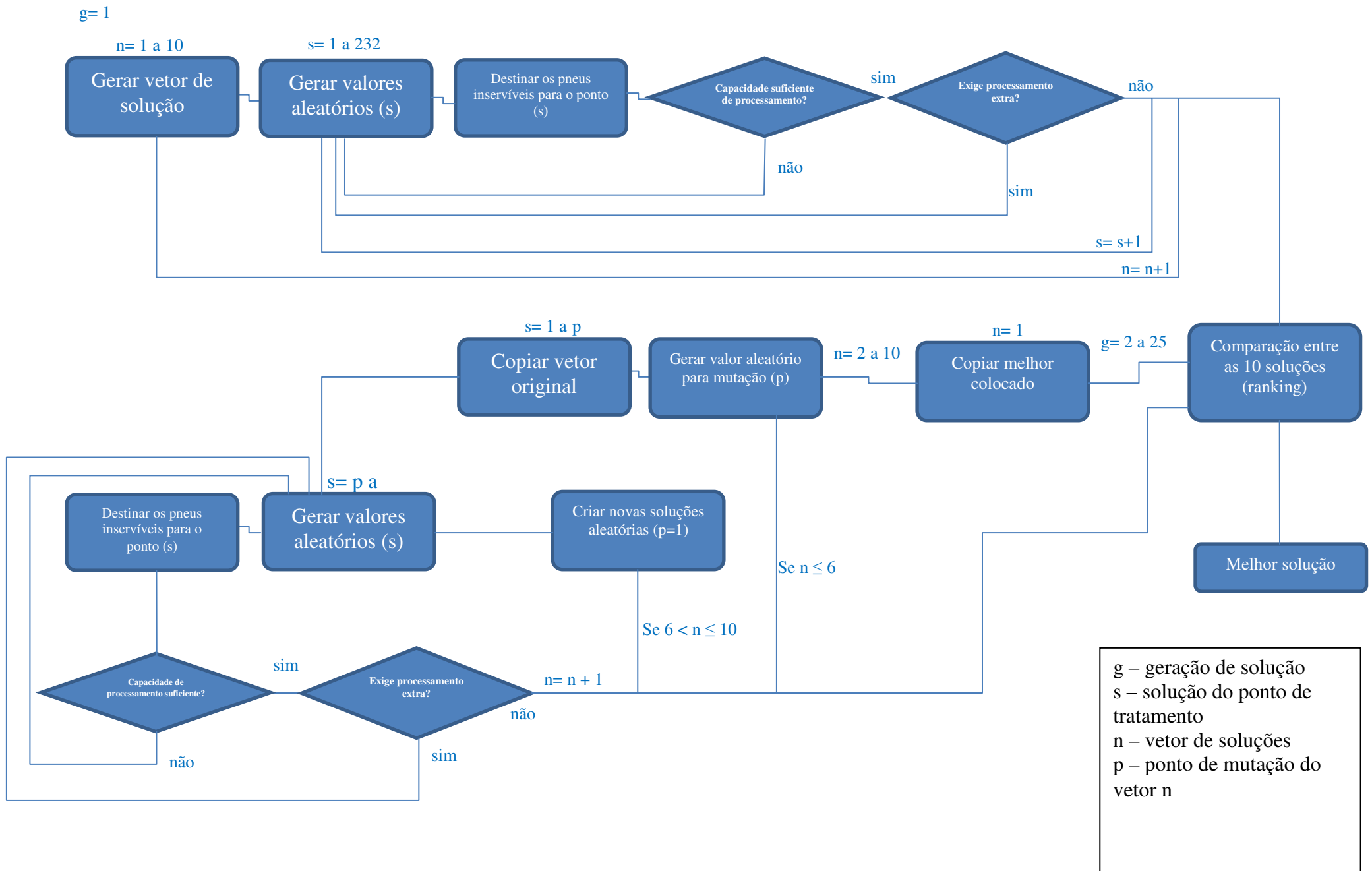
'Esta função completa os vetores de solução gerados após a mutação com números aleatórios

```

FunctionCompletar()
Dim n As Integer
Dim l, pos, val
Dim r, s, p1, p2, p3
For r = 1 To 10
  For l = 2 To 234
    Cells(l, 6) = Cells(236 + l, r + 10)
    Cells(l, 12) = Cells(469 + l, r + 10)
    If Cells(236 + l, r + 10) < 1 Then
      i = 0
      val = Ale(1, 9, 10)
      Cells(l, 6) = i
      If Cells(l, 10) < 0 Then
        l = l - 1
      Else
        If i < 6 Then
          While i < 9
            val = Ale(10, 15, 100)
          Wend
          Cells(l, 12) = i
        End If
      End If
    End If
  Next
  Cells(r + 13, 20) = Cells(235, 9)
  For l = 2 To 234
    Cells(l + 236, r) = Cells(l, 6)
    Cells(l + 469, r) = Cells(l, 12)
  Next
  Range("F2:F234").ClearContents
  Range("L2:L234").ClearContents
Next

Range("F2:F234").ClearContents
Range("L2:L234").ClearContents
Range("K238:T703").ClearContents
EndFunction

```



APÊNDICE F - Geração de pneus inservíveis pela frota de veículos licenciadas no Brasil

| Quantidade | Estado | Frota por Estado (2009) x 10 ⁶ (Denatran, 2009) | População x 10 ⁶ (IBGE, 2010) | Frota / População | Pneus Inseíveis gerados por ano (*) | Região | % geração de pneus inservíveis | % estado |
|------------|---------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------|--------------|--------------------------------------|----------|
| 1 | Acre | 0,13 | 0,73 | 0,18 | 134474 | Norte | 4,26 | 0,22 |
| 2 | Amapá | 0,10 | 0,67 | 0,15 | 102960 | | | 0,17 |
| 3 | Amazonas | 0,49 | 3,48 | 0,14 | 487206 | | | 0,80 |
| 4 | Pará | 0,87 | 7,59 | 0,11 | 872571 | | | 1,44 |
| 5 | Rondônia | 0,51 | 1,56 | 0,32 | 506386 | | | 0,84 |
| 6 | Roraima | 0,11 | 0,45 | 0,25 | 113250 | | | 0,19 |
| 7 | Tocantins | 0,36 | 1,38 | 0,26 | 361463 | | | 0,60 |
| 8 | Alagoas | 0,40 | 3,12 | 0,13 | 399708 | Nordeste | 14,13 | 0,66 |
| 9 | Bahia | 2,10 | 14,02 | 0,15 | 2100701 | | | 3,47 |
| 10 | Ceará | 1,54 | 8,45 | 0,18 | 1540338 | | | 2,54 |
| 11 | Maranhão | 0,69 | 6,57 | 0,11 | 693599 | | | 1,14 |
| 12 | Paraíba | 0,63 | 3,77 | 0,17 | 632377 | | | 1,04 |
| 13 | Pernambuco | 1,61 | 8,80 | 0,18 | 1613975 | | | 2,66 |
| 14 | Piauí | 0,52 | 3,12 | 0,17 | 519611 | | | 0,86 |
| 15 | Rio Grande do Norte | 0,67 | 3,17 | 0,21 | 669687 | | | 1,11 |
| 16 | Sergipe | 0,39 | 2,07 | 0,19 | 388013 | | | 0,64 |
| 17 | Espírito Santo | 1,19 | 3,51 | 0,34 | 1187526 | Sudeste | 51,84 | 1,96 |
| 18 | Minas Gerais | 6,51 | 19,60 | 0,33 | 6514015 | | | 10,75 |
| 19 | Rio de Janeiro | 4,24 | 15,99 | 0,26 | 4236183 | | | 6,99 |
| 20 | São Paulo | 19,47 | 41,25 | 0,47 | 19467013 | | | 32,13 |
| 21 | Paraná | 4,87 | 10,44 | 0,47 | 4869282 | Sul | 20,87 | 8,04 |
| 22 | Rio Grande do Sul | 4,57 | 10,70 | 0,43 | 4567546 | | | 7,54 |
| 23 | Santa Catarina | 3,21 | 6,25 | 0,51 | 3207253 | | | 5,29 |
| 24 | Distrito Federal | 1,17 | 2,56 | 0,46 | 1173518 | Centro Oeste | 8,91 | 1,94 |
| 25 | Goiás | 2,25 | 6,00 | 0,37 | 2245300 | | | 3,71 |
| 26 | Mato Grosso | 1,08 | 3,03 | 0,36 | 1078129 | | | 1,78 |
| 27 | Mato Grosso do Sul | 0,90 | 2,45 | 0,37 | 901389 | | | 1,49 |

APÊNDICE G – Resultados da simulação com a utilização do algoritmo genético

| Ponto | Cidade | Latitude | Longitude | Inservíveis | Colunas1 | LatPro | LonPro | Custo | Capacidade | Distância | Co-process | LatCo | LonCo | Distância Co |
|-------|---------------------|-------------|--------------|-------------|----------|-------------|--------------|----------------|------------|-------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| 1 | Adamantina | -0,3784795 | -0,891383282 | 98,32 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 39.978,74 | #N/D | 348,3002859 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 765,397178 |
| 2 | Altinópolis | -0,36696517 | -0,826830341 | 33,12 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 9.778,22 | #N/D | 299,8947024 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 3 | Álvares Machado | -0,385359 | -0,898354903 | 46,77 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 23.036,98 | #N/D | 515,8555293 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 817,9900807 |
| 4 | Americana | -0,39687333 | -0,826088576 | 653,19 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 165.199,36 | #N/D | 380,6210803 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 5 | Américo Brasiliense | -0,37916308 | -0,839532459 | 77,28 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 30.190,56 | #N/D | 205,1757397 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 423,3356636 |
| 6 | Andradina | -0,36470594 | -0,896740473 | 157,58 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 60.984,05 | #N/D | 381,8880868 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 784,3210987 |
| 7 | Angatuba | -0,40997299 | -0,844962372 | 40,72 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 11.761,11 | #N/D | 316,2215423 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 8 | Araçatuba | -0,37016494 | -0,880218023 | 626,04 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 224.964,98 | #N/D | 483,1380972 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 687,4070841 |
| 9 | Araraquara | -0,38038481 | -0,840822063 | 645,61 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 229.291,65 | #N/D | 250,7561845 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 414,8735715 |
| 10 | Araras | -0,39020229 | -0,827009722 | 361,56 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 109.193,17 | #N/D | 145,0347224 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 11 | Arealva | -0,38447179 | -0,85365993 | 13,16 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 8.192,57 | #N/D | 144,8576243 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 572,4555947 |
| 12 | Arujá | -0,40833917 | -0,808451054 | 187,93 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 49.488,39 | #N/D | 501,4286885 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 13 | Assis | -0,3955207 | -0,879859261 | 280,07 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 70.935,38 | #N/D | 183,8256595 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 14 | Atibaia | -0,40346679 | -0,812455615 | 380,53 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 134.943,71 | #N/D | 18,46418536 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 333,1784884 |
| 15 | Avanhandava | -0,3745622 | -0,871787113 | 17,67 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 9.713,13 | #N/D | 230,506366 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 475,5705519 |
| 16 | Avaré | -0,40314682 | -0,853916881 | 221,77 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 81.002,73 | #N/D | 209,0111718 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 467,9848321 |
| 17 | Bálsamo | -0,36189887 | -0,865397269 | 19,85 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 7.015,04 | #N/D | 410,7586729 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 18 | Bariri | -0,38527174 | -0,850678326 | 88,56 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 34.846,11 | #N/D | 246,1557834 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 524,2156795 |
| 19 | Barra Bonita | -0,39260697 | -0,847497948 | 111,95 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 29.439,04 | #N/D | 290,557354 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 20 | Barretos | -0,35879121 | -0,847667633 | 328,14 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 84.367,24 | #N/D | 466,6970491 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 21 | Barueri | -0,4103366 | -0,818142479 | 605,53 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 214.204,57 | #N/D | 71,04367217 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 382,7703641 |
| 22 | Bastos | -0,38261011 | -0,885473403 | 50,20 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 15.471,14 | #N/D | 584,4778527 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 23 | Bauru | -0,38946537 | -0,856268227 | 1033,62 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 259.765,62 | #N/D | 272,1238108 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 24 | Bebedouro | -0,36563678 | -0,846121077 | 222,93 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 82.053,19 | #N/D | 298,2008502 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 507,3373672 |
| 25 | Bertioga | -0,4163386 | -0,805270676 | 66,20 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 25.490,34 | #N/D | 108,521608 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 355,8959612 |
| 26 | Birigui | -0,37155636 | -0,878598745 | 345,24 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 86.707,00 | #N/D | 79,64928041 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 27 | Bocaina | -0,38634802 | -0,846799816 | 25,28 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 8.097,41 | #N/D | 355,4824123 | | #N/D | #N/D | 0 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|-----------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|------------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 28 | Botucatu | -0,39943314 | -0,845524756 | 350,17 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 125.578,30 | #N/D | 188,1556382 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 415,6042225 |
| 29 | Boituva | -0,40637083 | -0,83203724 | 123,17 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 46.486,02 | #N/D | 119,3067154 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 556,3469942 |
| 30 | Borborema | -0,37733534 | -0,85649609 | 32,64 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 10.287,15 | #N/D | 425,4304564 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 31 | Bragança Paulista | -0,400587 | -0,812310171 | 431,48 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 153.848,72 | #N/D | 217,914537 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 348,5785175 |
| 32 | Brotas | -0,38893208 | -0,839968791 | 52,25 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 20.589,59 | #N/D | 113,8288316 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 346,9395565 |
| 33 | BURITAMA | -0,367673 | -0,875234139 | 34,25 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 15.016,13 | #N/D | 252,5455612 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 353,5297972 |
| 34 | Cajuru | -0,37132365 | -0,825613458 | 50,18 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 21.279,41 | #N/D | 255,9649772 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 487,316595 |
| 35 | Campinas | -0,39977736 | -0,82136649 | 3533,01 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 1.238.169,86 | #N/D | 82,20726627 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 241,4149324 |
| 36 | Cândido Mota | -0,39699938 | -0,879418081 | 65,46 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 17.238,90 | #N/D | 174,7806015 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 37 | Capivari | -0,40133846 | -0,829167143 | 125,17 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 33.032,95 | #N/D | 348,0897242 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 38 | Caraguatatuba | -0,41225162 | -0,792607343 | 191,49 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 69.338,46 | #N/D | 115,5689272 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 347,8234981 |
| 39 | Cardoso | -0,35049605 | -0,871166552 | 22,24 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 11.833,79 | #N/D | 472,9320914 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 337,0254721 |
| 40 | Catanduva | -0,36892382 | -0,854736216 | 406,41 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 145.651,25 | #N/D | 313,3529111 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 368,5478006 |
| 41 | Cerqueira César | -0,40204629 | -0,858110519 | 35,26 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 10.893,90 | #N/D | 416,0297722 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 42 | Conchal | -0,38973687 | -0,823315441 | 54,54 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 17.123,67 | #N/D | 152,3330182 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 43 | Conchas | -0,40169238 | -0,83794227 | 33,69 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 10.047,91 | #N/D | 325,3321857 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 44 | Cosmópolis | -0,39524435 | -0,823272533 | 144,95 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 53.143,14 | #N/D | 136,0352654 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 346,0935348 |
| 45 | Cosmorama | -0,35740465 | -0,868786117 | 17,43 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 7.325,44 | #N/D | 419,5870515 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 46 | Cotia | -0,41196558 | -0,818893941 | 450,16 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 159.237,12 | #N/D | 34,620945 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 301,9535392 |
| 47 | Cubatão | -0,41704642 | -0,810273953 | 216,85 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 77.992,85 | #N/D | 91,66867782 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 327,7514151 |
| 48 | Diadema | -0,41340063 | -0,813720979 | 715,37 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 180.896,46 | #N/D | 411,0426882 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 49 | Dobrada | -0,37553668 | -0,844632699 | 11,28 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 4.641,12 | #N/D | 251,723875 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 50 | Dracena | -0,37494036 | -0,899416645 | 126,96 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 32.115,55 | #N/D | 75,35998448 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 51 | Duartina | -0,39120586 | -0,862260524 | 24,91 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 8.432,99 | #N/D | 441,3474938 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 52 | Fernandópolis | -0,35402065 | -0,876964923 | 207,63 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 78.131,30 | #N/D | 536,9755941 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 555,1843666 |
| 53 | Ferraz de Vasconcelos | -0,41086505 | -0,809284933 | 198,50 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 60.166,87 | #N/D | 123,3740674 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 54 | Franca | -0,35846639 | -0,82730061 | 923,03 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 327.665,50 | #N/D | 365,8858388 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 555,1144007 |
| 55 | Francisco Morato | -0,40634174 | -0,815859007 | 128,68 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 47.790,64 | #N/D | 53,39344223 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 497,1352557 |
| 56 | Franco da Rocha | -0,40703987 | -0,81553903 | 161,41 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 42.401,52 | #N/D | 410,0532956 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 57 | Franco da Rocha | -0,40442188 | -0,81553903 | 161,41 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 59.002,68 | #N/D | 16,18836259 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 485,998141 |
| 58 | Garça | -0,38764732 | -0,866662633 | 102,55 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 40.765,33 | #N/D | 354,9923027 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 619,5732123 |
| 59 | Guairá | -0,35462182 | -0,86063155 | 97,94 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 26.799,19 | #N/D | 463,0885444 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 60 | Guaraçá | -0,36701365 | -0,893724932 | 19,25 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 13.368,77 | #N/D | 560,4677426 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 766,1356354 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|----|----------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|----------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 61 | Guararapes | -0,37107154 | -0,883883215 | 74,29 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 21.533,33 | #N/D | 592,4163346 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 62 | Guariba | -0,37280233 | -0,841743209 | 68,37 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 27.469,84 | #N/D | 245,7645032 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 462,6527578 |
| 63 | Guarujá | -0,41875782 | -0,807326286 | 484,01 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 171.821,29 | #N/D | 119,4554266 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 364,1018612 |
| 64 | Guarulhos | -0,40950272 | -0,812159879 | 2270,33 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 569.706,88 | #N/D | 425,1265589 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 65 | Guaratinguetá | -0,39822111 | -0,788757922 | 252,88 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 91.952,40 | #N/D | 309,2697697 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 379,6099466 |
| 66 | Hortolândia | -0,39895318 | -0,824144473 | 315,37 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 79.921,66 | #N/D | 215,8329576 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 67 | Ibaté | -0,38318219 | -0,837699863 | 59,58 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 23.354,30 | #N/D | 186,2441399 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 314,0161713 |
| 68 | Ibirá | -0,36792025 | -0,859414668 | 21,10 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 7.200,83 | #N/D | 385,1667442 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 69 | Ibitinga | -0,37974486 | -0,852224881 | 141,04 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 36.322,29 | #N/D | 212,4586983 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 70 | Igarçu do Tietê | -0,39285907 | -0,8474931 | 43,16 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 12.051,93 | #N/D | 252,6362032 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 71 | Ilha Solteira | -0,35661925 | -0,896095671 | 64,98 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 28.528,63 | #N/D | 552,8700129 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 604,6055695 |
| 72 | Indaiatuba | -0,40300137 | -0,824110536 | 633,40 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 160.203,75 | #N/D | 370,9997179 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 73 | Irapuru | -0,37648206 | -0,896139304 | 11,27 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 10.443,59 | #N/D | 517,7980201 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 782,3705378 |
| 74 | Itajobi | -0,37207026 | -0,856161568 | 38,23 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 12.972,32 | #N/D | 300,664164 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 75 | Itapecerica da Serra | -0,41393877 | -0,81767221 | 239,13 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 61.719,98 | #N/D | 387,7465712 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 76 | Itapecerica da Serra | -0,41393877 | -0,81767221 | 239,13 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 61.719,98 | #N/D | 387,7465712 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 77 | Itapetininga | -0,41175226 | -0,838684035 | 320,40 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 81.674,88 | #N/D | 314,9754519 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 78 | Itapevi | -0,41100565 | -0,81915574 | 280,29 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 72.321,39 | #N/D | 450,0275147 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 79 | Itapira | -0,39158401 | -0,817192245 | 201,45 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 73.160,82 | #N/D | 147,3146019 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 383,3484079 |
| 80 | Itápolis | -0,37691355 | -0,851943689 | 112,07 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 29.781,79 | #N/D | 353,108588 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 81 | Itaquaquecetuba | -0,40990997 | -0,808931019 | 323,24 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 115.231,93 | #N/D | 62,65893037 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 357,2769769 |
| 82 | Itararé | -0,42084252 | -0,861000009 | 76,57 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 30.838,37 | #N/D | 350,4811469 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 457,6419411 |
| 83 | Itatinga | -0,40320015 | -0,84850636 | 27,59 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 13.489,68 | #N/D | 216,5242991 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 550,112669 |
| 84 | Itu | -0,40603631 | -0,825526192 | 440,22 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 111.209,89 | #N/D | 230,9783162 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 85 | Jaboticabal | -0,37096488 | -0,84338188 | 209,01 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 77.046,55 | #N/D | 327,9259372 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 451,0343321 |
| 86 | Jacareí | -0,40675383 | -0,802255135 | 482,23 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 171.198,79 | #N/D | 82,65425661 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 401,0030166 |
| 87 | Jaú | -0,3891454 | -0,8474931 | 396,05 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 119.719,13 | #N/D | 181,125542 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 88 | Jales | -0,35375885 | -0,882191215 | 161,01 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 50.728,65 | #N/D | 485,1304787 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 89 | Jandira | -0,41063234 | -0,818603052 | 188,61 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 68.847,14 | #N/D | 37,95581876 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 528,7714323 |
| 90 | Jundiá | -0,40467883 | -0,818283075 | 1213,67 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 364.536,79 | #N/D | 87,15758938 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 91 | Junqueirópolis | -0,37550274 | -0,89768586 | 40,50 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 20.796,97 | #N/D | 528,4630411 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 796,2800712 |
| 92 | Juquiá | -0,42447862 | -0,831382741 | 23,06 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 7.292,80 | #N/D | 74,95979005 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 93 | Leme | -0,38721099 | -0,827116381 | 242,69 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 62.696,46 | #N/D | 404,7924112 | | #N/D | #N/D | 0 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|----------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 94 | Leñóis Paulista | -0,39442017 | -0,851725523 | 162,49 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 42.511,27 | #N/D | 378,0033764 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 95 | Limeira | -0,3938287 | -0,827315154 | 781,06 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 197.166,93 | #N/D | 380,3854731 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 96 | Lins | -0,37836314 | -0,868170403 | 211,23 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 78.164,95 | #N/D | 212,0078267 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 634,8826787 |
| 97 | Lucélia | -0,37909036 | -0,890447592 | 42,20 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 18.755,92 | #N/D | 343,2190742 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 454,3150397 |
| 98 | Macatuba | -0,39273787 | -0,850174119 | 35,26 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 15.016,62 | #N/D | 228,2334263 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 306,8913984 |
| 99 | Marília | -0,3877055 | -0,871719239 | 578,97 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 175.143,38 | #N/D | 290,7755575 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 100 | Martinópolis | -0,38651771 | -0,893099523 | 44,03 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 21.541,38 | #N/D | 454,884044 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 771,6422402 |
| 101 | Matão | -0,3770493 | -0,844143037 | 231,55 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 59.193,75 | #N/D | 261,2496406 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 102 | Mauá | -0,41308065 | -0,810904211 | 768,13 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 192.894,95 | #N/D | 172,4895922 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 103 | Miguelópolis | -0,35219775 | -0,838315577 | 38,69 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 17.621,76 | #N/D | 396,6761501 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 419,3752966 |
| 104 | Mirandópolis | -0,36856021 | -0,891892337 | 62,73 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 21.114,13 | #N/D | 459,3253222 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 105 | Mogi das Cruzes | -0,41054992 | -0,806138493 | 827,48 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 291.843,36 | #N/D | 80,32520857 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 364,7473663 |
| 106 | Mogi Guaçu | -0,39046894 | -0,819296336 | 389,11 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 138.330,80 | #N/D | 156,5013073 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 272,3077828 |
| 107 | Mogi Mirim | -0,39151129 | -0,819567832 | 273,21 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 70.355,69 | #N/D | 410,8870439 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 108 | Mogi Mirim | -0,39151129 | -0,819567832 | 273,21 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 98.538,24 | #N/D | 146,1153868 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 437,1819545 |
| 109 | Monte Alto | -0,37107639 | -0,846421661 | 153,96 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 57.602,18 | #N/D | 270,9277577 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 472,6586561 |
| 110 | Monte Aprazível | -0,36254852 | -0,867675893 | 59,44 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 24.973,55 | #N/D | 396,5506231 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 437,3599505 |
| 111 | Monte Castelo | -0,37174543 | -0,900042055 | 7,12 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 7.890,37 | #N/D | 576,8951707 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 502,7779612 |
| 112 | Monte Mor | -0,40049489 | -0,82581708 | 84,37 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 32.069,86 | #N/D | 184,7783646 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 323,6426355 |
| 113 | Nova Europa | -0,38010362 | -0,847546429 | 17,13 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 9.551,69 | #N/D | 296,1039371 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 415,1341295 |
| 114 | Nova Granada | -0,35838397 | -0,860694576 | 44,82 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 13.691,34 | #N/D | 497,5170174 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 115 | Nova Luzitânia | -0,36400781 | -0,877231571 | 5,54 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 7.713,70 | #N/D | 493,9495651 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 661,3410752 |
| 116 | Novo Horizonte | -0,37468825 | -0,859065602 | 97,98 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 37.147,50 | #N/D | 155,3207093 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 415,5801525 |
| 117 | Olímpia | -0,36193281 | -0,853722955 | 132,63 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 34.335,85 | #N/D | 235,6697987 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 118 | Osasco | -0,41071961 | -0,816668646 | 1547,46 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 543.504,69 | #N/D | 69,56476037 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 309,1729262 |
| 119 | Osvaldo Cruz | -0,3804236 | -0,887999283 | 84,59 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 27.359,40 | #N/D | 396,779828 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 120 | Ourinhos | -0,40105727 | -0,870405394 | 269,92 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 82.207,08 | #N/D | 246,21582 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 121 | Ouroeste | -0,34907555 | -0,879161129 | 16,79 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 12.167,74 | #N/D | 569,0135586 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 689,2347398 |
| 122 | Palmital | -0,39774114 | -0,876460717 | 51,91 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 17.005,12 | #N/D | 286,7231273 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 123 | Panorama | -0,3727393 | -0,905122902 | 29,84 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 11.016,50 | #N/D | 711,3004434 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 124 | Paraguaçu Paulista | -0,39117677 | -0,882714814 | 96,26 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 38.023,85 | #N/D | 431,3484357 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 435,5723645 |
| 125 | Paraíso | -0,36680518 | -0,851260102 | 13,67 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 4.592,09 | #N/D | 235,1680872 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 126 | Parapuã | -0,37992424 | -0,88613275 | 19,39 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 7.761,38 | #N/D | 389,1767564 | | #N/D | #N/D | 0 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|----------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 127 | Paulínia | -0,39725633 | -0,822995464 | 258,37 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 65.635,99 | #N/D | 208,6972967 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 128 | Penápolis | -0,37384468 | -0,874017256 | 174,77 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 54.217,55 | #N/D | 357,309805 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 129 | Pereira Barreto | -0,36020687 | -0,892023236 | 55,01 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 24.836,45 | #N/D | 577,4593975 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 539,480791 |
| 130 | Piacatu | -0,37685537 | -0,883122057 | 9,37 | 2 | -0,41446648 | -0,813627991 | R\$ 9.224,18 | #N/D | 473,7198008 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 715,567158 |
| 131 | Pindamonhangaba | -0,40009734 | -0,793455767 | 306,86 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 79.573,01 | #N/D | 571,8515228 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 132 | Piracicaba | -0,39663092 | -0,831634844 | 1128,49 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 397.993,12 | #N/D | 93,6225471 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 510,701477 |
| 133 | Piraju | -0,40480488 | -0,861911459 | 67,53 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 26.456,19 | #N/D | 292,1980438 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 271,9399238 |
| 134 | Pirangi | -0,36811418 | -0,849238429 | 26,38 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 7.812,51 | #N/D | 243,5026785 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 135 | Pirassununga | -0,38390456 | -0,827736942 | 210,45 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 53.864,92 | #N/D | 250,7339011 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 136 | Pitangueiras | -0,36668398 | -0,841626854 | 68,10 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 26.675,62 | #N/D | 278,602727 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 289,521032 |
| 137 | Poá | -0,41064204 | -0,808867994 | 174,09 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 52.855,24 | #N/D | 125,9477745 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 138 | Pontalinda | -0,35675984 | -0,881798516 | 4,95 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 6.937,44 | #N/D | 497,3259936 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 543,6614051 |
| 139 | Praia Grande | -0,41898083 | -0,809881254 | 420,57 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 107.283,06 | #N/D | 428,361496 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 140 | Pratânia | -0,39808051 | -0,849383873 | 8,06 | 4 | -0,40951446 | -0,812161915 | R\$ 5.477,18 | #N/D | 229,975797 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 301,6100348 |
| 141 | Presidente Epitácio | -0,37984182 | -0,909588036 | 98,52 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 26.239,22 | #N/D | 321,8438034 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 142 | Presidente prudente | -0,38616379 | -0,89690531 | 605,84 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 154.698,50 | #N/D | 647,9499673 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 143 | Presidente venceslau | -0,38181017 | -0,904846558 | 101,41 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 41.882,11 | #N/D | 429,9015318 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 847,8198997 |
| 144 | Promissão | -0,37588574 | -0,870187228 | 83,38 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 23.372,65 | #N/D | 505,7796969 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 145 | Porto Feliz | -0,40517334 | -0,829448334 | 109,54 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 41.563,73 | #N/D | 104,7982142 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 540,4969489 |
| 146 | Regente Feijó | -0,3878364 | -0,895402388 | 37,98 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 18.257,74 | #N/D | 495,7235412 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 497,5737137 |
| 147 | Ribeirão dos Índios | -0,38355065 | -0,901486799 | 3,83 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 4.342,52 | #N/D | 677,0046742 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 148 | Ribeirão Pires | -0,41382726 | -0,810065483 | 277,97 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 100.428,58 | #N/D | 297,2613342 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 330,9042972 |
| 149 | Ribeirão Preto | -0,3696171 | -0,834446764 | 2023,77 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 508.197,84 | #N/D | 451,068589 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 150 | Rinópolis | -0,37918732 | -0,885269782 | 20,58 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 11.580,76 | #N/D | 451,2541666 | 12 | -0,362207656 | -0,816136204 | 424,6485345 |
| 151 | Rio Claro | -0,39115253 | -0,830102833 | 617,26 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 185.866,43 | #N/D | 137,6869865 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 152 | Rosana | -0,3940905 | -0,926057157 | 27,52 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 8.081,61 | #N/D | 240,3220908 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 153 | Sales Oliveira | -0,36253882 | -0,834931577 | 23,91 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 7.751,99 | #N/D | 355,1484842 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 154 | Salto | -0,40493093 | -0,825312874 | 253,45 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 91.202,33 | #N/D | 212,9966026 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 285,9697757 |
| 155 | Salto | -0,40493093 | -0,825312874 | 253,45 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 90.761,29 | #N/D | 41,18086721 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 369,5772257 |
| 156 | Santa Adélia | -0,37075641 | -0,851793397 | 38,79 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 13.117,30 | #N/D | 296,0602586 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 157 | Santa Bárbara d'Oeste | -0,39712543 | -0,827523624 | 525,27 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 186.284,94 | #N/D | 161,6421102 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 326,7950796 |
| 158 | Santa Cruz das Palmeiras | -0,38095205 | -0,824643831 | 63,39 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 17.050,66 | #N/D | 240,8820695 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 159 | Santa cruz do Rio Pardo | -0,39966101 | -0,866250541 | 112,54 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 42.359,54 | #N/D | 283,0765475 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 311,3821413 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|------------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 160 | Santa Fé do Sul | -0,35275043 | -0,888823466 | 83,60 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 24.212,90 | #N/D | 662,8295905 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 161 | Santa Gertrudes | -0,39194277 | -0,829559842 | 52,21 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 16.325,09 | #N/D | 132,7183869 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 162 | Santa Mercedes | -0,37264234 | -0,903300003 | 4,45 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 6.118,52 | #N/D | 417,1852648 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 495,0183422 |
| 163 | São Caetano do Sul | -0,4123001 | -0,812470159 | 598,56 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 150.525,21 | #N/D | 177,0414715 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 164 | São Carlos | -0,38427787 | -0,835852723 | 654,22 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 165.033,60 | #N/D | 295,7192268 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 165 | São Joaquim da Barra | -0,359213 | -0,835222465 | 132,40 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 48.862,54 | #N/D | 84,28474791 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 420,2237774 |
| 166 | São José do Rio Preto | -0,3633727 | -0,861833888 | 1440,03 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 360.957,44 | #N/D | 189,9886991 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 167 | São José dos Campos | -0,40455762 | -0,800878264 | 1622,27 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 408.051,01 | #N/D | 496,9515471 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 168 | São Manuel | -0,39673273 | -0,847716114 | 100,02 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 37.600,47 | #N/D | 209,5165603 | 15 | -0,445242917 | -0,846953308 | 309,1775355 |
| 169 | São Miguel Arcanjo | -0,41675554 | -0,83770956 | 51,03 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 20.902,16 | #N/D | 137,1084098 | 10 | -0,354268328 | -0,794922949 | 471,5736245 |
| 170 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 171 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 172 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 173 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 174 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 175 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 176 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 177 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 178 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 179 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 1.209.183,17 | #N/D | 96,18360082 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 180 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 181 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 182 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 183 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 184 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 185 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 186 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 187 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 188 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 1.009.315,80 | #N/D | 412,7856779 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 189 | São Paulo Subprefeitura de Butantã | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--------------------------------------------------------|-------------|--------------|---------|---|-------------|--------------|------------------|------|-------------|----|--------------|--------------|-------------|
| 190 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 191 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 192 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 193 | São Paulo Subprefeitura de Itaquera | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 194 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 195 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 196 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 197 | São Paulo Subprefeitura de São Miguel Paulista | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 198 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 1.209.183,17 | #N/D | 96,18360082 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 199 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 200 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 1.009.640,42 | #N/D | 477,7092447 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 201 | São Paulo Subprefeitura de Vila Guilherme / Vila Maria | -0,41098141 | -0,813953689 | 4029,01 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 1.008.151,49 | #N/D | 179,9230445 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 202 | São Pedro | -0,39354751 | -0,836255119 | 83,62 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 22.490,60 | #N/D | 317,370872 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 203 | São Roque | -0,41066143 | -0,822665791 | 161,30 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 59.163,12 | #N/D | 252,0978738 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 289,8760462 |
| 204 | São Vicente | -0,41823422 | -0,809692177 | 492,78 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 124.140,63 | #N/D | 189,1264415 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 205 | Sertãozinho | -0,36892382 | -0,837588356 | 331,37 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 119.397,61 | #N/D | 251,0319004 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 432,5901314 |
| 206 | Severínia | -0,36319332 | -0,851769156 | 26,51 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 12.467,12 | #N/D | 125,6453641 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 512,4277633 |
| 207 | Sorocaba | -0,41018146 | -0,828299326 | 1659,13 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 416.053,59 | #N/D | 254,2179497 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 208 | Sumaré | -0,39831807 | -0,824963808 | 545,58 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 138.342,48 | #N/D | 389,4955966 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 209 | Suzano | -0,41089414 | -0,808276521 | 419,33 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 107.372,03 | #N/D | 508,1565867 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 210 | Tabatinga | -0,37902734 | -0,814850595 | 31,35 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 13.209,13 | #N/D | 138,1400546 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 309,1866809 |
| 211 | Taboão da Serra | -0,41235343 | -0,816668646 | 407,42 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 122.624,39 | #N/D | 79,67834505 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 212 | Tanabi | -0,3599984 | -0,866541429 | 60,81 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 25.382,98 | #N/D | 214,2803254 | 11 | -0,365035613 | -0,764982698 | 605,9664823 |
| 213 | Taquaritinga | -0,37360712 | -0,846567106 | 138,69 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 42.943,08 | #N/D | 267,2163804 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 214 | Taquarituba | -0,4107293 | -0,859477694 | 45,09 | 5 | -0,40057366 | -0,812286008 | R\$ 20.666,03 | #N/D | 283,8085766 | 13 | -0,341491121 | -0,769271845 | 693,0971673 |
| 215 | Tatuí | -0,40763134 | -0,83526125 | 280,60 | 7 | -0,38037653 | -0,888118818 | R\$ 71.931,17 | #N/D | 356,2332333 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 216 | Taubaté | -0,4018863 | -0,795089589 | 790,20 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 200.220,05 | #N/D | 534,2592727 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 217 | Teodoro Sampaio | -0,39326631 | -0,910494638 | 35,31 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 10.093,08 | #N/D | 253,1165219 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 218 | Tietê | -0,40320499 | -0,83279004 | 99,04 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 26.378,06 | #N/D | 323,8618515 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 219 | Torrinha | -0,39140948 | -0,840710556 | 25,30 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 7.899,71 | #N/D | 314,9418313 | | #N/D | #N/D | 0 |

Continua

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------------------------|-------------|--------------|--------|---|-------------|--------------|---------------|------|-------------|----|--------------|------------|-------------|
| 220 | Três Fronteiras | -0,35316737 | -0,888202904 | 11,07 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 6.057,90 | #N/D | 658,3297982 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 221 | Tupã | -0,38283312 | -0,881628831 | 191,20 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 70.823,15 | #N/D | 397,9000613 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 383,0800353 |
| 222 | Tupi Paulista | -0,37317079 | -0,900075992 | 34,02 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 11.911,52 | #N/D | 681,5537523 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 223 | União Paulista | -0,3645508 | -0,870870815 | 3,64 | 1 | -0,37227733 | -0,833016854 | R\$ 4.843,63 | #N/D | 230,3699733 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 483,5557204 |
| 224 | Urânia | -0,3533613 | -0,883888063 | 22,53 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 8.804,56 | #N/D | 634,6612748 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 225 | Urupês | -0,37003889 | -0,860272788 | 33,51 | 6 | -0,3966636 | -0,787491686 | R\$ 10.689,39 | #N/D | 462,3783794 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 226 | Valinhos | -0,40091183 | -0,820232026 | 356,78 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 91.180,50 | #N/D | 397,1009565 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 227 | Valparaíso | -0,37049462 | -0,887819902 | 37,58 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 17.820,23 | #N/D | 464,4645451 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 469,3322984 |
| 228 | Vargem Grande Paulista | -0,41195588 | -0,820765321 | 89,43 | 3 | -0,40467989 | -0,81828802 | R\$ 33.008,08 | #N/D | 48,57954793 | 14 | -0,439877077 | -0,8609409 | 293,2859178 |
| 229 | Várzea Paulista | -0,40511516 | -0,8173086 | 220,60 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 57.168,99 | #N/D | 403,7970007 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 230 | Vinhedo | -0,40194448 | -0,819873264 | 234,41 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 60.584,09 | #N/D | 396,567739 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 231 | Viradouro | -0,36430354 | -0,842940699 | 38,78 | 8 | -0,42418988 | -0,883329984 | R\$ 11.941,53 | #N/D | 449,5567976 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 232 | Votorantim | -0,41096686 | -0,827945412 | 232,98 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 69.983,55 | #N/D | 17,90998759 | | #N/D | #N/D | 0 |
| 233 | Votuporanga | -0,35644471 | -0,872189509 | 295,19 | 9 | -0,4127571 | -0,830309499 | R\$ 90.736,25 | #N/D | 435,8500965 | | #N/D | #N/D | 0 |

49033273,4