



LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS: DISCUSSÕES SOBRE TRÊS
ALTERNATIVAS DE RECICLAGEM PARA ESTE PASSIVO AMBIENTAL

REVERSE LOGISTICS OF SCRAP TIRES: DISCUSSIONS ON THREE RECYCLING
ALTERNATIVES FOR THIS ENVIRONMENTAL LIABILITY

Josy Alvarenga Carvalho Gardin, Ma.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

josycarvalhogardin@gmail.com

Paola Schmitt Figueiró, Ma.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

paolaadm@gmail.com

Luis Felipe Nascimento, Dr.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS

nascimento@ea.ufrgs.br

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de analisar a Logística Reversa pós-consumo de pneus inservíveis com foco em três alternativas de reciclagem: asfalto borracha, indústria cimenteira e pirólise com Xisto. Fundamentada em dados primários e secundários, esta pesquisa buscou responder a seguinte questão de pesquisa: Quais as principais vantagens e limitações proporcionadas por três alternativas de reciclagem de pneus inservíveis? Inicialmente foram coletados os dados secundários por meio de consultas bibliográficas em artigos acadêmicos, dissertações e teses defendidas após o ano de 2000, além de sites e revistas da área. Os dados primários foram coletados em duas fases, a primeira através de questionário estruturado enviado a profissionais cadastrados na Plataforma Lattes do CNPq, que possuíam alguma relação com o assunto reciclagem de pneus e, a segunda através de entrevista semi-estruturada com profissionais diretamente ligados às três alternativas de reciclagem. Os resultados apontaram que a alternativa de utilização de pneus na fabricação de asfalto ecológico ainda é incipiente, no entanto, há um grande mercado. A principal contribuição teórica do estudo está na discussão da Logística Reversa com base em concepções conceituais de diferentes autores. E, em termos de aplicação prática e perspectivas, os resultados demonstram que as alternativas de reciclagem analisadas correspondem a promissoras soluções para o combate deste passivo ambiental.

Palavras-chave: Logística reversa; Reciclagem de pneus; Gestão ambiental.

ABSTRACT

This paper examines the post-consumer reverse logistics of scrap tires with a focus on three recycling alternatives: asphalt rubber, cement industry and pyrolysis with Shale. Based on primary and secondary data, this research attempts to answer the following question: What are the main advantages and limitations offered by the three scrap tires recycling alternatives? At first, secondary data were collected through bibliographic research which was based on academic articles, dissertations and theses approved after 2000, along with websites and periodicals of the area. Primary data were collected in two stages. The first one used a structured questionnaire sent to practitioners registered in CNPq's Lattes Platform, which had some

relationship with the subject of tire recycling, and the second stage utilized semi-structured interviews with professionals directly linked to the three recycling alternatives. The results showed that the alternative of using tires to manufacture eco asphalt is still incipient, however, there is a large market for it. The main theoretical contribution of this study regards the discussion of reverse logistics based on conceptual designs of different authors. And in terms of practical application and perspectives, the results verified that the recycling alternatives analyzed represent promising solutions for combating this environmental liability.

Keywords: Reverse logistic; Recycling tires; Environmental management.

1 INTRODUÇÃO

Há algum tempo, áreas de impacto aparentemente não financeiro, como meio ambiente, responsabilidade social e governança corporativa, vêm assumindo papel de grande relevância no mundo dos negócios. Existe, mais do que nunca, a necessidade das empresas, seus financiadores, acionistas, dirigentes, consultores e auditores; entender, medir e avaliar riscos e oportunidades associados a esta nova realidade.

Apesar de muitas empresas estarem buscando estas práticas socialmente responsáveis em suas gestões, o maior desafio reside em encontrar uma fórmula equilibrada de gerenciar seus negócios, não apenas buscando a competitividade, com baixo custo e elevado padrão de qualidade, mas também contribuindo para um desenvolvimento mais sustentável e atendendo às reivindicações da sociedade (GRAJEW, 2002).

Considerar estes aspectos torna-se ainda mais difícil, no momento em que progresso e proteção ambiental não seguem os mesmos caminhos. Afinal, muitos dos avanços tecnológicos podem aumentar os impactos sobre a natureza. Nesse sentido, o foco do presente estudo, os pneus, embora desempenhem papel fundamental no dia-a-dia das pessoas, proporcionando mobilidade e rapidez nos veículos modernos, representam também um resíduo, que pela sua quantidade e danos potenciais, comprometem o ambiente e o bem-estar social.

De acordo com a ANIP (Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos), entidade que representa os fabricantes de pneus novos no Brasil, pneus inservíveis são aqueles que não podem mais rodar em veículos automotivos, mesma terminologia utilizada para este estudo. A ausência de dados sobre o destino de pneus inservíveis no Brasil não permite determinar com exatidão o passivo ambiental gerado. No entanto, uma estimativa baseada na frota de veículos indica que são geradas mais de 44 milhões de carcaças de pneus anualmente e que existem mais de 100 milhões de pneus abandonados em todo o país. Já nos EUA, considerado o país que mais produz pneus inservíveis, estima-se que sejam dispostos 273 milhões de pneus por ano, o que representa mais de um pneu por habitante ao ano (BERTOLLO, 2002). Desta forma, os números evidenciam que o descarte de resíduos de pneus é um grave problema, em nível mundial.

De acordo com pesquisa realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), da Secretaria de Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento Econômico e Turismo do Estado de São Paulo (USP), anualmente, no Brasil, são substituídos cerca de 22 milhões de pneus. Desse total, 46,8% apresentam condições para serem reutilizados em automóveis e 53,2%, por não apresentarem mais condições de uso, são considerados pneus inservíveis. Destes, apenas 26,5% são destinados de forma ambientalmente correta e regulamentada, se transformando em combustível de fábricas de cimento, solados de sapatos, tapetes para carros, além de uso na

construção civil (ANIP, 2007). Segundo os dados do IPT citados acima, se pode deduzir que anualmente no Brasil cerca de 9.000.000 de pneus são dispostos de forma incorreta (terrenos baldios, beira dos rios, valões, etc.)

No ranking da produção mundial, o Brasil ocupa o sétimo lugar na produção de pneus para automóveis e o quinto em pneus para caminhões, ônibus e caminhonetes. Somente em 2007, a ANIP produziu 57,3 milhões de unidades (GEORGINO, 2008). Diante destas estatísticas e considerando que os pneumáticos inservíveis abandonados ou dispostos inadequadamente constituem passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e à saúde pública, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) determinou que as empresas fabricantes e as importadoras de pneumáticos ficam obrigadas a coletar e dar destinação final ambientalmente adequada aos pneus inservíveis.

A Lei Nº 12.305, aprovada em 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. O artigo 33 desta Lei institui que os fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus devem implementar sistemas de logística reversa para providenciar o retorno destes produtos após o uso pelo consumidor (Lei Nº 12.305).

Outro fator a ser levado em consideração é o crescimento da conscientização ambiental em todo o mundo, tornando imprescindível que os países criem condições de reciclagem para os resíduos de pneus através de incentivos e instrumentos legais. Assim, as formas de reutilização de pneus é uma alternativa para solucionar ou amenizar esse problema, sendo que existem várias opções e benefícios advindos do reaproveitamento deste resíduo.

Segundo Muller (2005), atualmente o consumidor é preocupado com o meio-ambiente e tem consciência dos danos que dejetos podem causar em um futuro próximo, sendo que, tal preocupação se reflete nas empresas e indústrias, que são responsabilizadas pelo aumento destes resíduos. Nesse sentido, surgem alternativas de novos processos que contribuem para um desenvolvimento sustentável, como a Logística Reversa, que além de administrar a entrega do produto ao cliente, promove também o seu retorno, visando a sua reutilização ou um descarte adequado. Outro aspecto relevante é que no âmbito social, as alternativas de reciclagem destes resíduos, além de proporcionar melhor qualidade de vida para a população brasileira, proporcionam a geração de postos de trabalho, principalmente para as camadas sociais marginalizadas.

Diante do exposto, este trabalho tem o objetivo de apresentar uma análise sobre a Logística Reversa de pós-consumo de pneus inservíveis e responder a seguinte questão de pesquisa: Quais as principais vantagens e limitações proporcionadas por três alternativas de reciclagem de pneus inservíveis? Para análise foram adotadas três alternativas de reciclagem: asfalto ecológico, indústria cimenteira e pirólise com Xisto. Para isso, analisou-se a legislação brasileira sobre pneus inservíveis; foram identificadas as principais alternativas de reciclagem destes pneus no Brasil, e analisadas as limitações e aspectos positivos das alternativas. Portanto, embora existam várias alternativas de reciclagem de pneus inservíveis, o foco desse trabalho é analisar as alternativas que não resultem apenas em soluções finitas e saturáveis em curto prazo, mas que tenham potencial de contribuir para destinação ambientalmente correta deste passivo ambiental e gerar benefícios econômicos e sociais para o país.

Em relação à estrutura, o artigo apresenta uma contextualização sobre o tema e segue com o desenvolvimento que está organizado em mais quatro seções: a primeira envolve uma revisão de literatura sobre as alternativas de destinação de pneus inservíveis; a segunda apresenta os métodos de pesquisa e a terceira parte discorre sobre a descrição e análise dos resultados, seguida das considerações finais.

2 AS ALTERNATIVAS DE DESTINAÇÃO DE PNEUS INSERVÍVEIS

Existem várias alternativas para a destinação de pneus inservíveis que são recomendadas pela legislação ambiental, entre elas destacam-se a reciclagem, utilização na pavimentação asfáltica e sua utilização como combustível nas indústrias cimenteiras. Mas, para que estas alternativas sejam viáveis, é necessário que exista uma logística reversa para o recolhimento dos pneus inservíveis, conforme previsto na Lei N° 12.305.

2.1 Logística reversa

A logística tradicional envolve o fluxo de materiais (gestão de estoques e movimentação física) ao longo de uma cadeia de suprimentos. E, são as decisões desta cadeia que estabelecem a estrutura operacional na qual a logística será desempenhada (BOWERSOX, CLOSS e COOPER, 2006, p.22). Mas, segundo Pires (2007), existem outros dois fluxos que também devem ser gerenciados: as embalagens e os recipientes utilizados nos transportes e os produtos após o fim de sua vida útil. Neste momento, percebe-se uma ampliação de atuação, especificamente sobre os fluxos logísticos existentes. Este novo cenário fica explícito na definição de Dornier et al. *apud* Leite (2005) para logística:

Logística é a gestão de fluxos entre funções de negócio. A definição atual de logística engloba maior amplitude de fluxos que no passado. Tradicionalmente as companhias incluíam a simples entrada de matérias-primas ou o fluxo de saída de produtos acabados em sua definição de logística. Hoje, no entanto, essa definição expandiu-se e inclui todas as formas de movimentos de produtos e informações.

Observa-se então, que além dos fluxos diretos tradicionalmente considerados, a logística moderna engloba também o retorno (fluxo reverso) de produtos e seus componentes, como: peças a serem reparadas, embalagens vazias, produtos vendidos e não consumidos, produtos para serem remanufaturados, produtos usados que podem ser reciclados, etc.

Tem-se que, nos anos 80, o conceito de Logística Reversa limitava-se apenas a um movimento contrário ao fluxo direto de produtos na Cadeia de Suprimentos. No entanto, na década de 90 novas abordagens foram introduzidas e o conceito evoluiu impulsionado pelo aumento da preocupação com a preservação ambiental. A partir deste período, as empresas de processamento e distribuição passaram a ver na Logística Reversa uma importante fonte de redução de perdas (CHAVES e BATALHA, 2006).

Na concepção teórica de Rogers e Tibben-Lembke (1998) a Logística Reversa é o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência e custo efetivo do fluxo de matérias-primas, estoques em processo, produtos acabados e as informações correspondentes do ponto de consumo para o ponto de origem com o propósito de recapturar o valor ou destinar à apropriada disposição. Pode-se dizer, então, que o foco de atuação da Logística Reversa envolve a reintrodução dos produtos ou materiais na cadeia de valor, através de todas as operações relacionadas à sua reutilização, com atividades logísticas destinadas a coletar, desmontar e processar produtos e/ou materiais e peças usados a fim de assegurar uma recuperação sustentável.

No Quadro 1, são trazidas outras importantes definições para Logística Reversa, seguindo a mesma linha teórica proposta por Roggers e Tibben-Lembke (1998).

Autor	Definições para Logística Reversa
Pohlen and Farris (1992)	É o movimento de mercadorias do consumidor em direção ao produtor, no canal de distribuição.
Fleischmann et al. (1997)	É um processo que engloba as atividades logísticas de produtos não mais utilizados pelo usuário, para produtos novamente utilizáveis em um mercado.
Carter and Ellram (1998)	Processo pelo qual as empresas podem se tornar ambientalmente mais eficientes através da reciclagem, reutilização e redução da quantidade de materiais utilizados.
Dowlatsahi (2005)	Processo pelo qual uma indústria recupera produtos ou peças a partir do ponto de consumo, para uma possível reciclagem, remanufatura ou descarte.

Quadro 1 – Definições para Logística Reversa

Fonte: adaptado de Routroy (2009).

Segundo Leite (2003) existem duas grandes áreas de atuação da Logística Reversa, diferenciadas pelo seu estágio ou fase do ciclo de vida útil do produto retornado: Logística Reversa de pós-venda e Logística Reversa de pós-consumo. A primeira área se ocupa do equacionamento e operacionalização do fluxo físico e das informações logísticas correspondentes aos bens no seu pós-venda, sem uso ou com pouco uso. Neste caso, parte dos produtos necessita retornar aos fornecedores por razões comerciais, garantias dadas pelos fabricantes, erros no processamento de pedidos ou falhas de funcionamento. Além disso, no Brasil o Código de Defesa do Consumidor permite a desistência da compra num prazo de sete dias. Assim, muitas empresas, por razões competitivas, estão adotando políticas mais liberais de devolução dos produtos. Convém destacar que a logística reversa de pós-venda, na maioria das vezes, é vista como um custo por parte das empresas (LEITE, 2003).

A Logística Reversa de pós-consumo, por sua vez, tratada por Barbieri e Dias (2002) como Logística Reversa Sustentável, é uma ferramenta importante para implementar programas de produção e consumo sustentáveis, ou seja, sua preocupação é a recuperação de materiais pós-consumo, sendo, portanto, um instrumento de gestão ambiental. Leite (2003) denomina a Logística Reversa de pós-consumo como sendo a área que equaciona e operacionaliza o fluxo físico e as informações relativas aos bens descartados pela sociedade que retornam ao ciclo de negócios ou ao ciclo produtivo por meio de canais de distribuição reversos. A Figura 1 demonstra como funciona este processo.

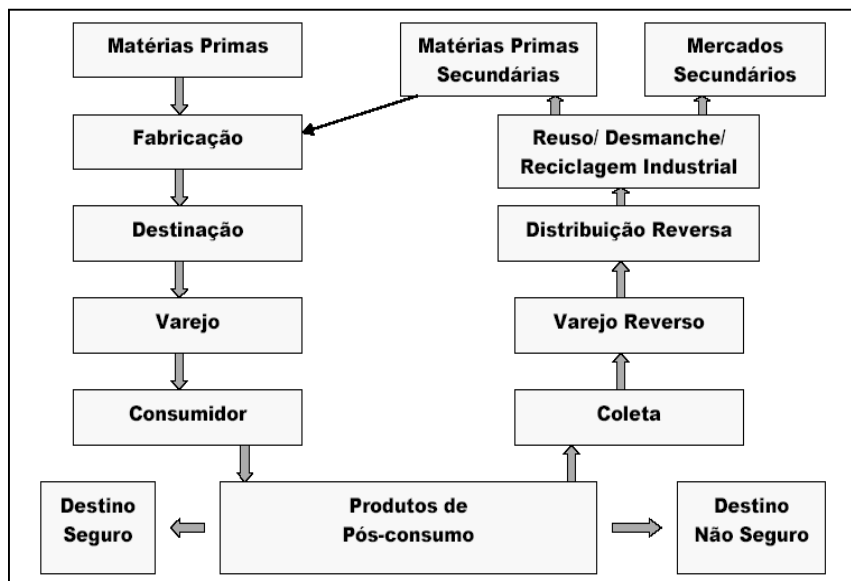


Figura 1 – Fluxograma da Logística Reversa Pós-Consumo
Fonte: Adaptado de Leite (2003).

No presente artigo, a teoria utilizada como foco da análise é a Logística Reversa pós-consumo, tendo em vista o descarte e reutilização dos pneus inservíveis. Leite (2003), pensando na Logística Reversa como forma de agregar valor ao produto, considera apenas duas vias para a disposição final de produtos de pós-consumo: o retorno ao processo produtivo e os aterros sanitários. Para o autor, existem três aplicações possíveis antes destes encaminhamentos: (i) o reuso dos produtos, que aumenta seu tempo de vida útil; (ii) a reciclagem de materiais, que agrega valor econômico, ecológico e logístico aos bens pós-consumo, fazendo com que o material retorne ao ciclo produtivo, substituindo matérias-primas novas e; (iii) a incineração, que agrega valor econômico, devido à possibilidade de transformação em energia elétrica.

Tanto a Logística Reversa de pós-venda quanto as atividades relacionadas ao pós-consumo, possuem vantagens econômicas para a empresa que as utiliza. Leite (2003) afirma que o objetivo econômico de implantação das práticas ligadas ao pós-consumo se deve às economias relacionadas com o aproveitamento das matérias-primas secundárias ou provenientes de reciclagem, bem como da revalorização dos bens pela reutilização e reprocesso.

Segundo Lacerda (2002), o reaproveitamento dos produtos e embalagens tem aumentado nos últimos anos, ocasionado, principalmente, pelas questões ambientais, pela concorrência - diferenciação por serviço e pela redução de custos. Deste modo, os mecanismos de logística reversa se tornam de extrema importância para a gestão ambiental, pois agilizam o fluxo de mercadorias já utilizadas, do consumidor até o fabricante.

No Quadro 2 é apresentado um resumo de importantes categorias e dimensões da Logística Reversa, apresentadas pelo Council of Logistic Management (CLM), entidade internacional com sede nos Estados Unidos, composta por profissionais de Logística.

Categorias	Principais dimensões
Tipos de cadeias reversas	Recall, reparos, redistribuição de estoques, reuso e reciclagem.
Principais direcionadores	Reaproveitamento de materiais com valor econômico, diferenciação em serviços, cumprimento de leis, redução de riscos ambientais, adaptação de projeto dos produtos para logística reversa.
Locais de coleta dos produtos	Fabricantes, distribuidores, <i>outlets</i> de varejo, varejo.
Tipos de legislações encontradas	Reciclagem obrigatória, proibição de disposição final, regulamentação comercial, conteúdo de reciclagem, rótulos ambientais, incentivos fiscais, compra de produtos com níveis de reciclagem.
Estrutura empresarial da distribuição reversa ou nível de integração da cadeia reversa	<u>Ciclo fechado</u> : utilizador se ocupa da recuperação dos produtos e os utilizam para novos produtos. <u>Ciclo aberto</u> : o utilizador pode se ocupar da recuperação dos produtos, mas não os utilizam.
Prestadores de serviço	Especializados em coleta/consolidação de produtos de alto valor agregado; coletores de resíduos recicláveis; coleta e processamento de matérias; coletores e locadores de <i>pallets</i> e embalagens retornáveis. Utilizando a distribuição direta, serviços especializados de reciclagem, serviços especializados de transporte.
Fases empresariais relativas aos programas de reuso e reciclagem	<u>Fase reativa</u> : segue as leis, busca economias. <u>Pró-ativa</u> : antecipa-se às legislações, vantagem competitiva. <u>Busca de valor</u> : integra atividade ambiental na estratégia empresarial.
Entidades ou agentes das cadeias reversas de pós-consumo	Coletores, sucateiros, processadores, remanufaturadores, recicladores.

Quadro 2 – Categorias e dimensões da Logística Reversa de acordo com CLM

Fonte: adaptado de Leite (2005).

Como pode ser observado, existem diferentes categorias e dimensões para a Logística Reversa, com vários enfoques dados à estrutura dos canais reversos. Para contemplar o objetivo deste estudo, optou-se por utilizar as categorias e respectivas dimensões identificadas pelo Council of Logistic Management (CLM) expostas no Quadro 2. Além disso, também foram apresentados os conceitos e definições de autores que são referência nesta área, a fim de proporcionar uma visão mais ampla acerca do tema. Ressalta-se que tais definições serão retomadas na análise das três alternativas de reciclagem de pneus inservíveis adotadas neste artigo.

2.2 Pneus inservíveis: a realidade brasileira

O pneu possui papel fundamental e indiscutível na vida diária das pessoas, tanto no transporte de passageiros como no transporte de cargas. Esse papel torna-se ainda mais importante nos países em desenvolvimento, onde o transporte de bens é feito em sua grande maioria por caminhões e carretas (SPECHT, 2004). Mesmo classificados no grupo de resíduos inertes, o que a princípio representaria menor grau de periculosidade ambiental, os pneus ocupam papel de destaque na discussão dos seus impactos reais sobre o meio ambiente e sobre a saúde pública.

Assim, pela sua quantidade e pelos danos potenciais ao ambiente e ao bem-estar social, os pneus são mencionados nominalmente entre os vinte e um itens que compõem o passivo ambiental, o que evidencia a relevância da questão a ser abordada. Greca e Morilha (2003) afirmam que os pneus inservíveis constituem, atualmente, um passivo ambiental, que resulta em sério risco ao meio ambiente e a saúde pública, tendo em vista suas peculiaridades de durabilidade, quantidade, volume e peso. Nesse sentido, Specht (2004) enfatiza que o grande problema dos pneus é que a sua principal matéria-prima, a borracha vulcanizada, não se degrada facilmente no meio ambiente, sendo necessários de 400 a 800 anos para se decompor.

Estimativas apontam que nos Estados Unidos são gerados mais de 1 pneu/habitante/ano e, conforme apresentado por Bertollo (2002), no estado de São Paulo são gerados 0,46 pneu/habitante/ano e no Brasil 0,26 pneu/habitante/ano, sendo que este último valor remete a uma geração anual de aproximadamente 44 milhões de carcaças de pneus.

Diante desse panorama, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) publicou as Resoluções de nº 258 e 301, que estabelecem às empresas fabricantes nacionais e as importadoras de pneumáticos, a responsabilidade de coleta e destinação final adequada de todos os pneus inservíveis por ela produzidos ou importados, comercializados em todo o território nacional. Assim, a Resolução CONAMA nº 258/1999, estabeleceu metas gradativas, sendo que, a partir de 2005, as empresas fabricantes nacionais e as importadoras de pneus foram obrigadas a coletar e destinar de forma ambientalmente adequada os pneus inservíveis da seguinte forma:

- para cada quatro pneus novos fabricados no País ou pneus novos importados, inclusive aqueles que acompanham os veículos importados, os fabricantes nacionais e/ou importadores devem dar destinação final a cinco pneus inservíveis;
- para cada três pneus reformados importados, de qualquer tipo, os fabricantes nacionais e/ou importadores devem dar destinação final a quatro pneus inservíveis.

Para atender a esta Resolução, as indústrias pneumáticas se uniram e criaram a Associação Nacional da Indústria Pneumática – ANIP, a fim de sistematizar a coleta e destinação final adequada dos pneus inservíveis. Foram implantados, em todo o país, locais para coleta dos pneus, chamados ECOPONTOS, que são os locais de recepção dos pneus inservíveis, possibilitando a destinação ambientalmente correta desse resíduo, visando disseminar entre a população a existência de pontos para deposição dos pneus substituídos. Assim, a partir do momento que as pessoas deixam seus pneus nestes locais, os mesmos seguem um fluxo de destinação ambientalmente correto, que é gerenciado pela ANIP.

A coleta pode ser feita pelo serviço de limpeza pública do município e por borracheiros, mecânicos e sucateiros. Esses parceiros podem levar os pneus inservíveis coletados a qualquer um dos “ecopontos” espalhados em diversos estados do país, incluindo a possibilidade desses pneus serem levados diretamente às empresas de trituração ou picotagem – os chamados centros de recepção e picotagem – sem passar pelos “ecopontos” (ANIP, 2008).

Com a aprovação da Lei Nº 12.305 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, a logística reversa de pneus inservíveis passou a ser obrigação legal dos fabricantes, importadores, distribuidores e comerciantes de pneus.

2.3 Pneus inservíveis: alternativas de destinação final

Dada à criatividade dos brasileiros, os pneus inservíveis são aproveitados de diversas maneiras. Embora muitas alternativas possuam baixo custo e envolvam ações relativamente simples, optou-se por analisar neste artigo apenas três alternativas de destinação final devido ao fato destas terem sido as mais citadas pelos respondentes do questionário, todas possuírem potencial de elevada demanda de pneus inservíveis, além de não representarem soluções finitas e saturáveis em curto prazo.

Na medida em que os pneus vão sendo descartados, cada sociedade busca formas de utilizá-los no contexto de suas condições sócio-econômicas, culturais e geográficas. Devido ao grande volume de material gerado e problemas de deposição, no Brasil e em diversos países, várias alternativas de destinação final de pneus têm sido adotadas.

A reciclagem de pneus envolve um ciclo que compreende a coleta, transporte, trituração e separação de seus componentes (borracha, aço e lona), transformando sucatas em matérias-primas que serão direcionadas ao mercado. Quanto menor a granulometria maior será o custo do processo, sendo que este pode inviabilizar o desenvolvimento de alguns mercados potenciais. Neste ponto, é fundamental a parceria entre universidades e empresas, buscando-se analisar as oportunidades de mercado e o desenvolvimento de tecnologias adaptadas à realidade brasileira e que possibilitem a utilização da borracha reciclada em larga escala (BERTOLLO et. al., 2002). A seguir serão apresentadas as peculiaridades das três alternativas mencionadas.

2.3.1 Pavimentação asfáltica: asfalto ecológico

Bertollo et al. (2002) mencionam que a borracha obtida da trituração de pneus deve ser considerada como um bem valioso, cuja utilização vem se expandindo em mercados diversificados. Ainda acrescentam que os resultados apresentados indicam que a inclusão de borracha de pneus nas misturas asfálticas não compromete seu desempenho, ao contrário, pode melhorar algumas propriedades mecânicas, o que torna promissor o seu uso como agregado.

Pesquisas demonstram que se trata de uma mistura mais resistente e durável, além de incorporar ao seu escopo um apelo ecológico de grande relevância. Dados obtidos junto a uma empresa brasileira responsável pela produção deste tipo de asfalto, para recapear um quilômetro de pista com espessura de 5cm de CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado a Quente) são utilizados aproximadamente 1000 pneus inservíveis. No Brasil, testes com

este tipo de asfalto vêm sendo feitos desde 2001. Em 2009 já existiam mais de 3.500 km de vias urbanas e rodoviárias brasileiras utilizando este material.

Outro ponto enfatizado por estes autores é que menos de 10% da malha rodoviária brasileira é revestida por pavimentos asfálticos. Assim, a pavimentação de apenas 0,5% (cerca de 7.800 km) do total de quilômetros de rodovias não pavimentadas poderia consumir mais de 11 milhões de pneus inservíveis, dependendo da espessura das pistas. Com um descarte anual estimado em 44 milhões de pneus, a incorporação de borracha de pneus ao pavimento asfáltico pode contribuir significativamente para o equacionamento da questão da disposição final desses resíduos no país.

Nesse sentido, Specht (2004) aponta que a pavimentação é uma das áreas mais estudadas e considera que tal alternativa possui maior potencial de utilização, devido a dois fatores: a utilização de um grande volume de pneumáticos usados e a melhoria das características dos ligantes asfálticos e do concreto asfáltico com a adição de farelo de pneu.

Cabe ressaltar que conforme demonstrado por Greca e Morilha, (2003) o custo do asfalto borracha é 12% superior ao convencional. No entanto, tais autores ressaltam que ainda assim, a adoção de tal alternativa se justifica devido à redução do gasto com manutenção, uma vez que o asfalto borracha prolonga a vida útil do pavimento em torno de 44% e também reduz a espessura da mistura asfáltica utilizada.

No entanto, ao analisar outros aspectos relevantes, Specht (2004) acredita que, apesar do grande potencial de utilização do pó de pneu como material de pavimentação, essa alternativa isolada não constitui uma solução efetiva para atenuação desse passivo ambiental no Brasil, dado o baixo nível de investimento no setor nos últimos anos. Situação que demonstra nitidamente a necessidade e importância de investimentos públicos e privados, visando alavancar este tipo de reciclagem.

2.3.2 Indústria cimenteira

Neste processo o pneu é picado mecanicamente e adicionado ao clínquer, matéria-prima do cimento, a uma temperatura de 1200°C. Specht (2004) menciona que, no Brasil, a indústria de cimento consome aproximadamente 3 milhões de unidades de pneus por ano. Estima-se que as 66 plantas de produção de cimento instaladas no Brasil, tenham capacidade de consumir até 14 milhões de unidade de pneumáticos inservíveis por ano.

O melhor método para queimar os pneus sem que ocorra problema com a fumaça negra e poluente é o co-processamento, ou seja, a queima de resíduos industriais em fornos de cimento em que resíduos são utilizados para gerar energia. A queima de resíduos industriais a 1700° C transforma quimicamente as substâncias perigosas, fazendo com que as emissões de gases na atmosfera sejam menos poluentes. As cinzas resultantes são incorporadas ao cimento e ficam encapsuladas em concentrações aceitáveis (ODA, 2000). Segundo Moraes (2002), a queima de pneus ou de qualquer outro resíduo em fornos de cimento, deve seguir alguns critérios estabelecidos pelo órgão de controle ambiental responsável pelo Estado, no qual as cimenteiras estão instaladas.

Em relação à logística reversa dos pneus inservíveis, segundo a Reciclanip (entidade sem fins lucrativos criada pela ANIP para administrar a destinação correta dos pneus descartados) o Brasil recicla cerca de quatro milhões de pneus por mês, sendo que em torno de 80% dos pneus velhos coletados transformam-se em

combustível para fornos de cimenteiras. Como possuem um alto poder energético, semelhante ao do coque de petróleo e superior ao do carvão, são usados inteiros ou triturados. Assim, além de deixar de usar um combustível fóssil, ainda lucram coma alternativa, pois os fabricantes de pneus pagam às cimenteiras cerca de R\$50 por tonelada, sendo comentado que hoje o fabricante financia para que futuramente se crie um mercado (ANIP, 2007).

2.3.3 Pirólise de pneus com Xisto

A PETROBRÁS-SIX (Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto, localizada em São Mateus do Sul – PR) desenvolveu um processo de reciclagem de pneus e borrachas, via co-processamento com Xisto em sua unidade industrial. O processo admite cerca de 5% em peso da vazão de Xisto, em pneus picados. Em 2009 o processo reciclava 3 milhões de pneus/ano em São Mateus do Sul no Paraná. Este processo de reciclagem é certificado pelas normas ISO 14001 E OHSAS 18001(PETROBRAS, 2009).

A Petrobrás presta este serviço para dar a destinação final aos pneus de forma ambientalmente correta. Os pneus são entregues em São Mateus do Sul-PR, devidamente picotados dentro de uma granulometria própria de aproximadamente 8cm x 8cm. Em contrapartida, a Petrobrás fornece um certificado de destinação final ambientalmente correta para fins de comprovação junto ao IBAMA (PETROBRAS, 2009). A queima de pneus velhos em fornos controlados é uma alternativa rentável de reaproveitamento, pois cada pneu contém a energia de 9,4 litros de petróleo. No Brasil, calcula-se que são utilizados cerca de 500 mil pneus como combustível, proporcionando uma economia de 12 mil toneladas de óleo (ODA, 2000).

Em relação ao processo, os pneus são recebidos cortados em tiras de 80 cm e misturados ao Xisto, aquecidos a uma temperatura de aproximadamente 500° C. Com isso, o mineral libera matéria orgânica em forma de óleo e gás. Em seguida, o Xisto e a borracha passam por um processo de limpeza para retirada de óleo leve e extração de gases (gás combustível e gás liquefeito). As sobras desse processo são levadas para as cavas das minas de Xisto onde são recobertas por uma camada de argila e solo vegetal, permitindo, assim, a utilização da área para a criação de animais, plantio ou urbanização (SPECHT, 2004; SANTOS, 2002).

O processo “Petrosix” apresenta-se como uma alternativa técnica e economicamente viável sob o ponto de vista operacional, além de ser uma solução ambientalmente segura, licenciada pelo IAP – Instituto Ambiental do Paraná, e tecnicamente adequada para o processamento de até 30 milhões de pneus usados e inservíveis por ano. Em novembro de 2008, a Petrobrás atingiu a marca de 11 milhões de unidades de pneus processados desde o início da incorporação de pneus no processo (PETROBRÁS, 2009). O co-processamento com Xisto tem a facilidade de que o pneu só é picado e transforma todo o pneu em outros produtos e sua limitação é a quantidade processada, no máximo 5% do processamento de pneu, e uma única recicladora.

Conforme relatado por Nohara et. al. (2006) o consultor Martignoni afirma que o negócio não é lucrativo para a Petrobrás, pois o processamento é oneroso. No entanto, vê vantagens ambientais que justificam o procedimento. "A dengue é um claro exemplo. As águas que se acumulam nos pneus são um perigo do ponto de vista da saúde pública. Sem contar que esse pneu velho, processado, pode se tornar pneu de novo. Com isso, há economia de matéria-prima", ressalta. Se o processamento ainda não traz lucro para a estatal, agrada catadores de lixo, pois estes recebem por pneu resgatado e encaminhado às empresas, o valor de R\$ 0,50.

3 MÉTODO DE PESQUISA

Quanto aos procedimentos metodológicos, esta pesquisa está fundamentada em dados primários e secundários. Inicialmente foram coletados dados secundários por meio de consultas bibliográficas em artigos acadêmicos, dissertações e teses defendidas após o ano de 2000, além de *sites* e revistas da área. Realizou-se também uma revisão da legislação brasileira vigente sobre o descarte de pneus inservíveis.

Em relação aos dados primários, estes foram obtidos em duas fases distintas: a primeira através de questionário estruturado enviado por e-mail e a segunda através de entrevista semi-estruturada realizada pessoalmente e via Skype. Para selecionar os envolvidos na primeira fase, utilizou-se a base de dados da Plataforma *Lattes*, no *site* do CNPq, através de uma busca com as palavras “reciclagem de pneus”, sendo obtido retorno de 62 pesquisadores. Destes, 30% são especialistas, 40% mestres e 30% doutores, possuem formação em áreas distintas, mas têm trabalhos publicados sobre o tema abordado neste artigo. Optou-se por utilizar questionários eletrônicos, por estes apresentarem uma série de vantagens em relação a outras técnicas, tais como: permitir que o entrevistado respondesse no momento que julgasse mais conveniente, o reduzido custo pessoal implicado por esse recurso e, principalmente, a possibilidade de atingir um grande número de pessoas numa área geográfica bastante ampla.

Diante dos resultados obtidos com a primeira etapa da coleta de dados primários, optou-se por realizar na segunda etapa, entrevistas semi-estruturadas com profissionais diretamente ligados às três alternativas de reciclagem de pneus, consideradas como foco deste trabalho. Assim, foram realizadas duas entrevista via *skype* com gestor da Petrobrás – SIXICM – Novos Negócios e troca de informações via e-mail com representante de uma empresa de pavimentação, pioneira na fabricação e utilização do asfalto ecológico no Brasil.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dentre as diversas possibilidades existentes para a utilização de pneus inservíveis, devem ser priorizadas aquelas que conseguem aliar viabilidade econômica, social e ambiental. No entanto, diante da complexidade da redução deste passivo ambiental não há uma alternativa que contemple todos estes aspectos de forma vantajosa, quando comparadas às demais. Mas, com o intuito de evidenciar o que cada alternativa analisada apresenta como vantagem e como limitação, os resultados foram sintetizados no quadro 2, que orientará a discussão apresentada posteriormente.

Análise/Alternativa	Pirólise com Xisto	Asfalto Ecológico	Indústria Cimenteira
Questões logísticas	Fator limitante (-)	Não é fator limitante (+)	Não é fator limitante (+)
Estado do pneu	Indiferente (+)	Indiferente (+)	Indiferente (+)
Processo	Pneu é apenas picado (+) Transforma todo o pneu em outros produtos (+) Economia de matéria-prima (+)	Viabilidade operacional (+)	Viabilidade operacional (+)
Situação atual	Uma única planta (-) Incorpora no máximo 5% do pneu (-) Capacidade máxima 27 milhões de pneus por ano (+) Até 11/2008 mais de 11 milhões de pneus foram utilizados (+)	Potencial de utilização (+) Adotada em muitos países (+)	80% dos pneus recolhidos pela Reciclanip são enviados para as cimenteiras (+)
Questões ambientais	Não poluente (+)	Ambientalmente correta (+)	Poluente (-)
Oportunidades e perspectivas	Manter o processamento de 3 milhões de pneus por ano (+ -) Licenciamento de tecnologia (+)	Grande mercado potencial (+)	Manter os padrões atuais (+)

Quadro 2 – Principais resultados das alternativas de reciclagem analisadas

A questão logística é considerada um grande entrave para as diversas alternativas de reciclagem devido a dispersão dos pneus inservíveis no território nacional. Ao comparar as três alternativas, a pirólise com Xisto é a que apresenta a logística como fator limitante, já que existe apenas uma única planta no Brasil para o seu processamento. Já as empresas de pavimentação e as indústrias cimenteiras estão instaladas em diversas regiões do país.

Uma das principais vantagens da pirólise com Xisto é que o pneu basta ser picado para ser inserido no processo. Além disso, quando o pneu é adicionado, deixa-se de colocar esse percentual de Xisto, ou seja, no final do processo se tem a mesma quantidade de produto com menos material e com economia de energia. No entanto, a limitação constatada é a quantidade processada: no máximo 5% do processamento de pneus, e uma única recicladora, o que configura um problema logístico, como comentado anteriormente.

O estado do pneu, apresentado como “indiferente” para as três alternativas é um aspecto positivo. Já a análise da situação atual e das questões ambientais permite inferir que, embora o uso na indústria cimenteira seja a alternativa mais utilizada, esta também é a mais poluente das três. Assim, se por um lado esta alternativa se configura como uma expressiva destinação para os pneus inservíveis, por outro emite muitos poluentes. Situação

contrária acontece com o asfalto ecológico, que apresenta vantagens ambientais, no entanto, ainda é pouco utilizado no Brasil, embora seja uma alternativa adotada em outros países, como Estados Unidos, por exemplo.

Em relação às perspectivas e oportunidades, embora o co-processamento com Xisto não utilize a capacidade plena da empresa, a previsão é de que se mantenha a utilização de três milhões de pneus/ano. Outro aspecto que deve ser considerado é que como a Petrobrás detém a tecnologia de processamento de Xisto em escala industrial e contínua, existe a oportunidade e possibilidade de licenciamento desta tecnologia e conseqüentemente da alternativa de utilização de pneus inservíveis neste processo, sendo que já existem negociações com alguns países.

O asfalto ecológico é uma alternativa considerada promissora, pois além dos benefícios ambientais gerados, também pode resolver o problema de pavimentação em locais ainda não favorecidos por essa infraestrutura. É importante salientar que no Brasil mais de 90% das rodovias não são pavimentadas e muitas das que apresentam pavimentação não tem a requerida qualidade. A utilização deste tipo de asfalto pode ter incrementos consideráveis com o apoio de políticas governamentais, as quais podem exigir ou incentivar sua utilização em vias públicas e rodoviárias. Já que, além do aumento na durabilidade do asfalto, redução da manutenção e aumento da segurança, existe os benefícios ambientais associados à redução do passivo ambiental decorrente do descarte dos pneus inservíveis. No entanto, um fator que pode ser considerado como limitante é a tecnologia, que poucas empresas detêm.

Na indústria cimenteira, por sua vez, um aspecto positivo envolve o simples fato de serem mantidos os padrões de utilização de pneus, já que 80% dos pneus recolhidos pela ANIP são destinados a esta indústria. No entanto, a redução do uso desta alternativa também pode ser considerada positiva, dado o seu potencial poluidor. Isto não significará um problema se a parcela de pneus que seriam destinados para a indústria cimenteira, seja encaminhada para as outras duas alternativas, que apresentam melhor desempenho ambiental.

Na tentativa de compreender porque o problema deste passivo ambiental persiste embora existam várias alternativas de reciclagem, identifica-se como um dos principais problemas a falta de maturidade da população com relação à reciclagem. Há relatos de que “por ser um país com extensão continental, o Brasil ainda não sentiu os efeitos da falta de reciclagem. Há ainda muito espaço para se esconder o lixo”. Outra causa apontada é a falta de envolvimento de órgãos públicos e de políticas públicas de pesquisa e desenvolvimento na área, escassez de educação ambiental voltada para a gestão de resíduos, ausência de formação cultural nas ações individuais para resultados a uma coletividade, incapacidade governamental de fiscalizar a indústria de pneumáticos no cumprimento da legislação vigente no país. Os impactos da Lei Nº 12.305, que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos, ainda não foram percebidos, pois esta Lei foi sancionada em 2 de agosto de 2010.

É muito positivo o fato da Reciclanip recolher e dar uma destinação ambientalmente correta a quatro milhões de pneus inservíveis por mês. Por outro lado, identifica-se que a Petrobrás utiliza apenas 3 milhões de uma capacidade de 27 milhões de pneus que podem ser co-processados com o Xisto. Soma-se a isto a irrisória utilização de pneus para produção de asfalto ecológico. Portanto, poderíamos estimar que existem boas perspectivas para a solução deste passivo ambiental no Brasil. No entanto, embora existam excelentes alternativas, a operacionalização destas depende também do equilíbrio entre aspectos logísticos, viabilidade técnica, ambiental e econômica, além de outros fatores mais complexos como conscientização, educação ambiental e vontade política.

Diante do que foi apresentado, a orientação teórica que fundamentou a análise dos dados considera que a Logística Reversa possui diferentes categorias e dimensões, conforme o autor ou entidade que estuda a área, como por exemplo, o Council Logistic Management (CLM). Se considerarmos o fabricante como um agente responsável que administra o retorno do produto após ser usado, direcionando-o para ser descartado ou reutilizado, temos a aplicação do conceito de Logística Reversa, proposto por Rogers e Tibben-Lembke (1998), ou então, a denominação Logística Reversa de ciclo fechado, proposta por Leite (2003).

Neste estudo, estes conceitos podem ser percebidos quando a ANIP, representada pela Reciclanip, coordena um sistema de coleta e destinação dos pneus inservíveis, através dos ECOPONTOS, gerenciando um fluxo de destinação ambientalmente correto. Mas, quando ações isoladas, não contínuas e sem que um agente fabricante e/ou comerciante de pneus, ou ainda, sem que um representante destes, seja responsável por este ciclo reverso, há Logística Reversa de ciclo aberto, de acordo com Leite (2003).

No entanto, dada a dificuldade de se conhecer todas as etapas do processo de coleta e destinação dos pneus inservíveis adotadas nas três alternativas analisadas, ou seja, sem o conhecimento detalhado de todas as etapas desta cadeia reversa, não foi possível classificar todas as alternativas dentro das categorias apresentadas no referencial teórico. Em termos de aplicação prática e perspectivas, as alternativas apresentadas figuram como ótimas soluções para o combate deste passivo ambiental.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve o objetivo de analisar a logística reversa de pós-consumo de pneus inservíveis com foco em três alternativas de reciclagem. Observou-se que, embora os respondentes do questionário tenham elencado várias alternativas de reciclagem de pneus, três se destacaram como as mais viáveis e promissoras, sendo elas: asfalto ecológico, pirólise com Xisto e indústria cimenteira. Para evidenciar as vantagens e limitações de cada uma destas alternativas, realizou-se uma análise comparativa, orientada por seis categorias, sendo dado relevante enfoque à Logística Reversa.

Em suma, podemos inferir que o aproveitamento na fabricação de asfalto borracha ainda é incipiente, no entanto é uma alternativa promissora e com grande mercado. A pirólise com xisto tem a facilidade de que o pneu só é picado e todo ele é transformado em outros produtos, tendo com principal limitação a questão logística. Por fim, a geração de energia em indústria cimenteira é a mais usada entre as três, no entanto, a mais poluente.

É evidente que dentre as diversas possibilidades de utilização de pneus inservíveis devem ser priorizadas aquelas que conseguem aliar viabilidade econômica, social e ambiental. No entanto, diante da complexidade da redução deste passivo ambiental e das dificuldades naturais de uma logística complexa para coleta de pneus inservíveis num país de extensão territorial como o Brasil, não há uma única alternativa que consiga absorver todos os pneus descartados. Assim, o problema não consiste meramente na criação de alternativas de destinação adequada, pois elas existem, o que precisa ser feito é sistematizar o uso destas, otimizando suas vantagens.

Acredita-se que a contribuição teórica deste artigo está no fato de se ter discutido a logística reversa baseada em concepções conceituais diferentes. Já em relação à análise empírica, buscou-se analisar de forma mais detalhada três alternativas de destinação final de pneus inservíveis com enfoque na logística reversa. Conclui-se

que além de boas alternativas de reciclagem é necessário que existam sistemas logísticos reversos eficientes, pois dessa forma é possível gerenciar o processo da disposição final e eliminação deste passivo ambiental. Além disso, a atuação governamental possui grande relevância, pois com incentivos fiscais e legislações, pode haver um aumento na utilização destas alternativas, bem como nos investimentos em tecnologias que aumentem ainda mais a demanda por pneus inservíveis. A nova Política Nacional de Resíduos Sólidos poderá incrementar a logística reversa do recolhimento de pneus inservíveis.

Uma das limitações apontadas no trabalho se deve à dificuldade de levantamento de informações de todo o fluxo da cadeia reversa, já que esta envolve diferentes agentes, que por sua vez, trabalham com estimativas divergentes e, por vezes, não tem interesse em participar da coleta de dados. Como sugestão para realização de trabalhos futuros, propõe-se envolver, além dos representantes que possuem relação direta com as alternativas de reciclagem analisadas, as empresas fabricantes e importadoras de pneus, ou suas associações representantes. Dessa forma, tem-se acesso à proveniência dos pneus, podendo-se classificar, de forma ainda mais consistente, o tipo de logística reversa empregado.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS - **ANIP**. São Paulo. Ecopontos. Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 22 maio 2007.
- BARBIERI, J. C.; DIAS, Márcio. Logística reversa como instrumento de programas de produção e consumo sustentáveis. **Revista Tecnológica**, São Paulo, v.6, n.77, p.58-69, 2002.
- BERTOLLO, S. Ap.; Fernandes JR, J. L.; VILLAYERDE, R. B.; MIGOTO FILHO, D. Pavimentação Asfáltica: uma alternativa para a reutilização de pneus usados. **Revista Limpeza Pública**, 54: 23-30, 2002.
- BOWERSOX, D.J.; CLOSS, D.J.; COOPER, M. B. **Gestão Logística de Cadeias de Suprimentos**. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- CERQUEIRA, L. & FREITAS, E. **Reciclagem - Um Mercado Promissor**. Saneamento 62: 12-10, 2000.
- CHAVES, Gisele de Lorena Diniz; BATALHA, Mário Otávio. Os consumidores valorizam a coleta de embalagens recicláveis? Um estudo de caso da logística reversa em uma rede de hipermercados. **Gestão & Produção**, v.13, n.3, São Carlos, Set./Dez. 2006.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - **CONAMA**. Resolução nº 258, Brasília, 1999.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - **CONAMA**. Resolução nº 301, Brasília, 2002.
- FIORI, J. Petrobrás tira óleo do pneu usado cooperando com o combate da dengue. **Revista Limpeza Pública**, n. 47. Associação Brasileira de Limpeza Pública – ABLP, P. 3-5. Brasil, 1998.
- GEORGINO, Érica. De pneu velho a piso de quadras, tapete e cimento. **Planeta Sustentável**, em 18 ago 2008. Disponível em: <http://planetasustentavel.abril.com.br/noticia/lixo/conteudo_295763.shtml>. Acesso em: 02 mar. 2009.

GRAJEW, O. Por um mundo mais seguro. **Guia Exame de boa cidadania corporativa**. São Paulo, v. 754, n. 24, p. 20-21, nov. 2001.

GRECA, Marcos Rogério; MORILHA, Armando. **Asfalto Borracha – ECOFLEX**. Artigo técnico da empresa Grupo Greca Asfaltos, São Paulo, ago. 2003.

LACERDA, L. Logística Reversa – Uma Visão Sobre os Conceitos Básicos e as Práticas Operacionais. **Revista Tecnológica**, p.46-50, 2002.

LEI Nº 12.305 – Política Nacional de Resíduos Sólidos. Disponível em:
<http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm> Acessada em 20 de agosto de 2010.

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

LEITE, Paulo Roberto. Logística Reversa: categorias e práticas empresariais em programas implementados no Brasil – um ensaio de categorização. In: **XXIX Encontro da Anpad** – EnAnpad. De 17 a 21 de setembro de 2005, Brasília – DF.

MULLER, C. F. **Logística Reversa, Meio-ambiente e Produtividade** - Estudos realizados. Santa Catarina: GELOG-UFSC, 2005.

NOHARA, Jouliana Jordan; ACEVEDO, C. R.; PIRES, B. C. C.; CORSINO, R. M. **Passivo Ambiental e Reciclagem de Pneus**. GS-40 – Resíduos sólidos: passivo ambiental, 2006.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfalto-borracha em obras de pavimentação**. 2000. 260 f. Tese (Doutorado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

OLIVEIRA, I. **Reciclagem de pneus através da conversão em baixa temperatura – CBT**. 2003. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Departamento de Engenharia de Materiais, Faculdade de Engenharia Química, Lorena, SP, 2003.

PEREIRA, Maria Luiza Gonçalves. Conversão em baixa temperatura de resíduos sólidos contaminados da Refinaria de Biomassa e avaliação dos carvões obtidos como imobilizadores dos metais potencialmente tóxicos contidos na matéria-prima. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais), USP, 2006.

PETROBRAS. **Unidade de Negócio da Industrialização do Xisto**. Disponível em:
<<http://www2.petrobras.com.br/minisite/refinarias/petrosix/portugues/index.asp>> Acesso em 20 mar. 2009.

PIRES, Sílvia R. I. Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management*): conceitos, estratégias, práticas e casos. São Paulo: Atlas, 2007.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards: Reverse Logistics Trends and Practices**. University of Nevada, Reno - Center for Logistics Management, 1998. Disponível em:
<<http://www.rlec.org/reverse.pdf>>. Acesso em: 19 dez 2008.

ROUTROY, Srikanta. Antecedents and Drivers for Green Supply Chain Management Implementation in Manufacturing Environment. **The Icfai University Journal of Supply Chain Management**, v. 6, n. 1, 2009.

SANTOS, A. L. T. dos. **Plano de gerenciamento do pneu-resíduo: metodologia**. 2002. 122 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/document/?code=vtls000294957>> Acesso em: 10 mar. 2009.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. 2004. 279f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

STEVEN, M. Networks in reverse logistics. In: DYCKHOFF, H.; LACKES, R.; REESE, J. **Supply chain management and reverse logistics**. Berlim: Springer, 2004.