



INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA
SEÇÃO DE ENGENHARIA DE FORTIFICAÇÃO E CONSTRUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES
DISCIPLINA: IMPACTOS AMBIENTAIS DOS TRANSPORTES
PROFESSORA MARIA CRISTINA FOGLIATTI DE SINAY

UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS RECICLADOS NA FABRICAÇÃO DE DORMENTES FERROVIÁRIOS

Aluno: Bruno Santana de Faria – Matrícula ET06107

Rio de Janeiro-RJ
2006-2

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do pneu.	8
Figura 2: Elementos de via permanente	10
Figura 3: Fluxo das etapas de fabricação dos dormentes de pneu.....	13
Figura 4: Arranjo simplificado do dormente de pneus.....	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre dormentes de madeira e de concreto.	11
---	----

ÍNDICE

Lista de figuras	2
Lista de tabelas	2
1 Objetivo.....	4
2 Introdução.....	4
3 Considerações gerais a respeito dos plásticos	5
3.1 Principais tipos de plásticos	5
3.2 Identificação dos tipos de plásticos	6
3.3 Reciclagem do plástico.....	7
4 Considerações a respeito dos pneus	8
4.1 Estrutura do pneu	8
4.2 Processos de reciclagem de pneus.....	9
5 Dormentes ferroviários.....	10
5.1 Dormentes de madeira.....	10
5.2 Dormentes de concreto.....	11
5.3 Comparação entre os dormentes segundo o material utilizado.....	11
6 Dormentes de Plástico	12
6.1 Vantagens dos dormentes de plástico em relação aos de madeira.....	12
7 Dormentes de Pneus	13
8 Conclusões	15
9 Bibliografia.....	16
10 Anexo: Resultado dos ensaios de laboratório para os dormentes de plástico.....	17

1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo descrever as vantagens ambientais da utilização de materiais reciclados na fabricação de dormentes ferroviários. Podem ser utilizados pneus usados e embalagens plásticas.

2 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da ferrovia, por suas características físicas a madeira foi o material de comportamento mais satisfatório, cumprindo as funções principais do dormente de ser o elemento de transferência de cargas do trilho para o lastro e configuração geométrica da linha (bitola). Além disso, a madeira era abundante e barata. No Brasil, a flora oferece uma diversidade de madeiras duras, de onde somente se utiliza o cerne, como por exemplo maçaranduba, aroeira, faveiro, ipê, jacarandá e outras, chamadas essências nobres.

Com o aumento do consumo e conseqüente escassez, surgiram medidas de tratamento com preservantes a fim de aumentar a vida útil do dormente de madeira, impedindo a instalação de microorganismos (fungos) e proliferação de insetos. O preservante normalmente utilizado é o creosoto e durante o tratamento há um grande potencial de poluição do solo e do ar por efluentes e mais tarde no uso do dormente há a preocupação também de liberação dos preservantes no solo ao longo da via.

Outra solução encontrada para a crescente escassez de madeira foi a extração de florestas plantadas de eucalipto, por ser uma árvore de crescimento rápido e sua madeira ter alta densidade, necessitando pouco ou nenhum tratamento preservativo. A introdução do eucalipto no Brasil teve origem pela necessidade de suprimento das próprias ferrovias, na década de 40 do século passado, quando as primeiras mudas foram plantadas em Rio Claro, SP, para atender as necessidades da Cia. Paulista de Estrada de Ferro. Todas as grandes ferrovias passaram então a ter seus próprios hortos florestais. Mas os hortos, quase sempre bem localizados, não resistiram à especulação imobiliária e na era das privatizações os que restaram foram todos vendidos, considerados recursos não operacionais.

Atualmente, a maior parte dos dormentes de madeira é oriunda de pequenas serrarias que sofrem pouca ou nenhuma fiscalização quanto à origem de seu produto. E a atividade de extração se torna cada vez menos rentável visto que com a diminuição das florestas e restrições quanto ao abate, os locais de produção e consumo deste material ficam mais distantes. Mas a exploração clandestina ainda é rentável e o dormente de madeira de lei procedente da floresta amazônica chega à região Sudeste ao custo entre US\$ 15 e US\$ 20, o que torna difícil para as ferrovias privadas utilizarem outros materiais substitutos.

Visando a substituição da madeira tanto por razões econômicas quanto ambientais, tem-se adotado e pesquisado dormentes de outros materiais, como concreto e metal. Além do preço mais elevado, US\$ 50 para o bibloco e US\$ 100 para o monobloco, compensado pela maior vida útil (3 a 4 vezes a da madeira) o dormente de concreto não tem a preferência unânime do ferroviário por sua excessiva rigidez e menor resistência aos impactos.

Os dormentes metálicos são mais leves e de fácil manejo, porém essa leveza deixa a via menos estável, além de ser mais barulhento na operação. Seu uso e preço estão relacionados ao mercado siderúrgico de cada país. O seu uso é limitado no Brasil, apesar de este exportar mais de 50% de sua produção de aço. Atualmente, com a valorização do aço, os dormentes deste tipo tornaram-se proibitivos.

3 CONSIDERAÇÕES GERAIS A RESPEITO DOS PLÁSTICOS

Os plásticos são materiais obtidos a partir das resinas sintéticas (polímeros), derivadas do petróleo.

A palavra plástico vem do grego *plastikós*, que significa adequado à moldagem. O plástico, como material flexível, facilmente se adapta a ser moldado.

Hoje, o plástico está presente em um número incomensurável de objetos e coisas comumente utilizados: embalagens, sacos de lixo, objetos de uso pessoal, garrafas de refrigerantes entre outros.

Apesar de o primeiro plástico, a celulose, ter surgido em 1864, foi durante a II Guerra Mundial, há pouco mais de sessenta anos, que sua utilização industrial se desenvolveu.

O petróleo, extraído do subsolo e levado para as refinarias, tem seus diferentes derivados separados. Um destes é a nafta que é fornecida para as indústrias petroquímicas, que dão origem aos gases eteno e propeno e a outros subprodutos, que por sua vez são transformados através de processamento químico especial nas resinas plásticas ou polímeros.

O plástico tem tido sua utilização cada vez mais disseminada em todos os setores industriais e por sua versatilidade e propriedades físico-químicas, tem substituído, com vantagens, a madeira, os metais e as ligas metálicas, o vidro e o papel, as fibras vegetais e animais, pois muitos destes já estão escassos na natureza ou têm um custo de produção bem mais elevado.

3.1 PRINCIPAIS TIPOS DE PLÁSTICOS

De acordo com suas características, os plásticos se dividem em dois grupos: os *termorígidos* ou *termofixos*, e os *termoplásticos*.

Os plásticos termofixos são aqueles que não se fundem, assim, uma vez moldados e endurecidos, não oferecem condições para reciclagem. São apresentados como mistura de pós e são moldados submetendo-os a certas temperatura e pressão. É o caso específico das telhas transparentes, do revestimento do telefone, do material do orelhão e de inúmeras peças utilizadas na mecânica em geral e especificamente na indústria automobilística.

Os termoplásticos são aqueles que amolecem ao serem aquecidos, podendo ser moldados. Uma vez resfriados endurecem e tomam uma determinada forma. Como esse processo pode ser repetido várias vezes, esses plásticos são recicláveis podendo ser reaproveitados. O termoplástico reciclado não pode ser empregado em embalagens de alimentos a fim de se evitar contaminações provenientes de tintas e produtos tóxicos, porém podem voltar na forma de baldes, mangueiras, sacos de lixo e outras modalidades.

Os plásticos recicláveis são: potes de todos os tipos, sacos de supermercados, embalagens para alimentos, vasilhas, recipientes e artigos domésticos, tubulações e garrafas de PET, que convertida em grânulos é usada para a fabricação de cordas, fios de costura, cerdas de vassouras e escovas. Os não recicláveis são: cabos de panela, botões de rádio, pratos, canetas, bijuterias, espuma, embalagens a vácuo, fraldas descartáveis.

3.2 IDENTIFICAÇÃO DOS TIPOS DE PLÁSTICOS

Há vários tipos de plásticos, destacando:

- Polietileno tereftalato — PET: Utilizado em produtos como frascos e garrafas para uso alimentício/hospitalar, cosméticos, bandejas para microondas, filmes para áudio e vídeo e fibras têxteis principalmente. Tem a vantagem de ser transparente, inquebrável, impermeável, e ainda de ser leve.
- Polietileno de alta densidade — PEAD: Utilizado em embalagens para detergentes e óleos automotivos, sacolas de supermercados, garrafeiras, tampas, tambores para tintas, potes, utilidades domésticas, entre outros. É inquebrável, resistente a baixas temperaturas, leve, impermeável, rígido e tem resistência química.
- Policloreto de vinila — PVC: Utilizado em embalagens para água mineral, óleos comestíveis, maioneses, sucos; em perfis para janelas, tubulações de água e esgotos, mangueiras, embalagens para remédios, brinquedos, bolsas de sangue, material hospitalar e outros. Ele é rígido, transparente, impermeável, resistente à temperatura e inquebrável.
- Polietileno de baixa densidade — PEBD: Seu uso é diverso: condutores para fios e cabos elétricos, embalagem de massa, biscoito e bolachas, embalagem de alimentos, sacos de macarrão, sacos de arroz, frascos de shampoo, artigos de higiene, frascos de detergente,

produtos de limpeza, lonas agrícolas, sacos de adubo, sacos de leite, sacos de lixo, filme flexível para embalagem, rótulos de brinquedos. É inquebrável, impermeável e leve.

- Polipropileno — PP: Usado em filmes para embalagens e alimentos, embalagens industriais, cordas, tubos para água quente, fios e cabos, frascos, caixas de bebidas, autopeças, fibras para tapetes e utilidades domésticas, potes, fraldas e seringas descartáveis dentre outros. Possui as seguintes vantagens: conserva o aroma, é inquebrável, transparente, brilhante, rígido e resistente a mudanças de temperatura.
- Poliestireno — PS: Utilizado em potes para iogurtes, sorvetes, doces, frascos, bandejas de supermercados, geladeiras (parte interna da porta), pratos, tampas, aparelhos de barbear descartáveis, brinquedos etc. É impermeável, inquebrável, rígido, transparente, leve e brilhante.
- Outros (Neste grupo encontram-se, entre outros, os seguintes plásticos: ABS/SAN, EVA e PA): Utilizados em solados, autopeças, chinelos, pneus, acessórios esportivos e náuticos, plásticos especiais e de engenharia, CDs, eletrodomésticos e corpos de computadores. Como benefícios, apresentam flexibilidade, leveza, resistência à abrasão, possibilidade de design diferenciado.

3.3 RECICLAGEM DO PLÁSTICO

O lixo brasileiro contém de 5 a 10% de plásticos, conforme o local. São materiais que, como o vidro, ocupam um considerável espaço no meio ambiente, assim, eles deveriam ser recuperados e reciclados. A reciclagem do plástico exige cerca de 10% da energia utilizada no processo primário (AMBIENTE BRASIL, 2006).

Do total de plásticos produzidos no Brasil, só 15% são reciclados. Um dos empecilhos é a grande variedade de tipos de plásticos.

A fabricação de plástico reciclado economiza 70% de energia, considerando todo o processo desde a exploração da matéria-prima primária até a formação do produto final. Além disso, se o produto descartado permanecesse no meio ambiente, poderia causar maior poluição.

O plástico reciclado tem muitas aplicações, tanto nos mercados tradicionais das resinas virgens, quanto em novos mercados.

Exemplos de re-utilização do plástico reciclado:

- garrafas e frascos, exceto para contato direto com alimentos e fármacos;
- baldes, cabides, pentes e outros artefatos produzidos pelo processo de injeção;
- **madeira plástica;**
- cerdas, vassouras, escovas e outros produtos que sejam produzidos com fibras;
- sacolas e outros tipos de filmes.

4 CONSIDERAÇÕES A RESPEITO DOS PNEUS

A expansão do transporte rodoviário e a utilização dos pneus de borracha trazem consigo o problema da destinação destes ao fim de sua vida útil. No Brasil, em 2003 a produção foi de mais de quarenta e nove milhões de unidades, sendo trinta e quatro por cento para exportação, vinte e dois para montadoras e quarenta e quatro para reposição, e a estimativa é que quase metade dessa produção é descartada anualmente. Além da produção interna, o país é consumidor de pneus usados importados, principalmente da União Européia, que até antes de 1999 vendia cerca de dois milhões de pneus usados por ano no Brasil (BONENTE, 2006).

4.1 ESTRUTURA DO PNEU

O pneu, simples na aparência, tem uma estrutura complexa. Em sua fabricação são reunidos borracha natural e sintética, tecidos e aço em diversas apresentações, moldados e transformados a fim de fornecer um produto final com as características ideais para seu propósito, reunindo bom desempenho, segurança e conforto, entre outros atributos.

O pneu é basicamente formado por quatro partes, como mostrado na figura 1:

- Carcaça – parte interna do pneu, responsável por reter a pressão causada pelo ar e sustentar o peso do veículo. Possui lonas de poliéster, aço ou nylon.
- Talão – serve para acoplar o pneu ao aro. Possui uma forma de anel e é constituído de arames de aço, recobertos por borracha.
- Flancos – partes laterais do pneu com a função de proteger a carcaça. São constituídas de borracha com alto grau de elasticidade.
- Banda de rodagem - parte que entra em contato com o solo. Possui partes cheias e partes vazias e serve para otimizar a aderência com a superfície. É feita com compostos de borracha altamente resistentes ao desgaste.

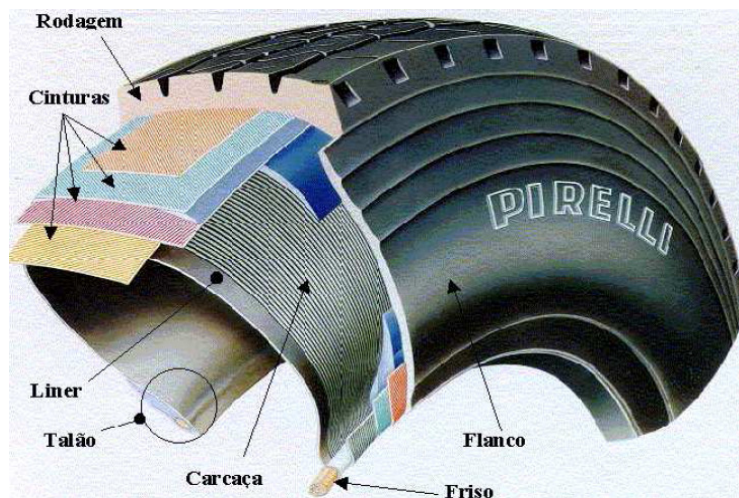


Figura 1: Estrutura do pneu.
(Fonte: BONENTE, 2006)

4.2 PROCESSOS DE RECICLAGEM DE PNEUS

Os pneus podem ser reciclados de três formas: por recuperação, por regeneração e pelo processo conhecido como pirólise.

A recuperação consiste na simples trituração dos pneus e moagem dos resíduos, reduzidos a pó fino. A borracha contida nos resíduos, na forma vulcanizada, não sofre modificação e não é separada dos demais compostos. Os pneus recuperados são normalmente utilizados na mistura com asfalto para a pavimentação de vias e pátios de estacionamento e nas fábricas de cimento, onde o produto da moagem é incinerado no forno como combustível e a fumaça proveniente dos gases produzidos pela queima é incorporada ao cimento. A borracha recuperada e triturada, por já se encontrar no estado vulcanizado, não pode ser utilizada como substituto da borracha crua na produção de artefatos. Entretanto, devido ao seu custo reduzido e baixo peso específico, pode ser empregado como elemento de carga na produção de saltos e solados de calçados, mangueiras, tapetes para automóveis, entre outros.

A regeneração ou desvulcanização da borracha pode ser feita por vários processos, onde os resíduos passam por modificações que os tornam mais plásticos e aptos a receber nova vulcanização, mas ainda não adquirem as mesmas propriedades da borracha crua, sendo geralmente misturados a ela para a fabricação de artefatos. Nesse processo, a borracha é separada dos outros componentes e desvulcanizada, o arame e a malha de aço são recuperados como sucata de ferro qualificada, o tecido de nylon é recuperado e utilizado como reforço em embalagens de papelão. Diversas são as formas de utilização da borracha regenerada de pneus. As mais divulgadas são tapetes, pisos industriais e quadras esportivas, sinalizadores de trânsito, rodízios para móveis, carrinhos etc.

A pirólise é, desde meados da década de 1990, o processo mais utilizado na reciclagem de pneus. Considerada uma destilação destrutiva, visa a reaproveitar componentes do pneu como matérias-primas ou combustíveis. O processo de pirólise pode ser genericamente definido como a decomposição química por calor na ausência de oxigênio. Após a trituração, a borracha gera energia em cimenteiras, devido ao grande poder calorífico, quase três vezes o da madeira. Os fornos devem ser adaptados, a fim de não afetar a qualidade do cimento e causar emissões de efluentes gasosos dentro dos limites da legislação vigente. Nos Estados Unidos, o destino mais utilizado é a queima em usinas termelétricas, porém, pelas dificuldades de processo, o total é limitado a menos de cinco por cento do total dos pneus usados.

Esse destino é o mais comum, pois consome grandes quantidades de pneus, gerando economia de escala no transporte que as indústrias devem providenciar. Este processo não gera resíduos que necessitem serem recolhidos ao final do mesmo.

5 DORMENTES FERROVIÁRIOS

Dormente é o elemento da superestrutura ferroviária que tem por função receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas ações dos veículos, servindo de suporte dos trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles. Para cumprir essa finalidade é necessário que:

- as suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio suficiente para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse certo limite;
- a sua espessura lhe dê a necessária rigidez, permitindo entretanto alguma elasticidade;
- tenha suficiente resistência aos esforços;
- tenha durabilidade;
- permita, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro, na sua base;
- se oponha eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via;
- permita uma boa fixação do trilho, isto é, uma fixação firme, sem ser excessivamente rígida.

A figura 2 apresenta um esquema com os principais elementos de uma ferrovia.

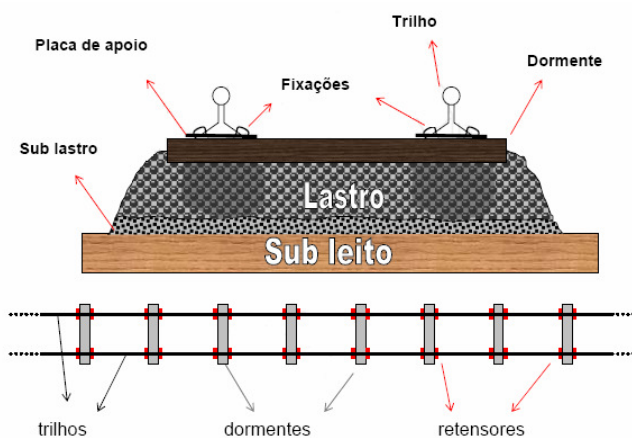


Figura 2: Elementos de via permanente
(Fonte: PORTO, 2006)

5.1 DORMENTES DE MADEIRA

Estes dormentes são fabricados em madeira de lei (aroeira, ipê, angico etc.) ou em madeiras moles (pinho, eucalipto etc.). A resistência das madeiras cresce com a densidade, ou seja, quanto mais pesada, mais resistente.

O tratamento dos dormentes resolve o problema do apodrecimento, mas não atua sobre a resistência. A escolha do agente preservativo deve ser compatível com a resistência da essência. Para tal, são utilizados comumente produtos oleosos (creosoto e pentaclorofenol) ou sais hidrosolúveis.

A durabilidade é função de vários fatores: qualidade da madeira, clima, drenagem, tráfego, época do ano em que a madeira foi cortada, grau de secagem, tipo de fixação, lastro, existência de placa de apoio, entre outros.

Segundo PORTO (2006), os dormentes de madeira de lei, no Brasil, duram de 15 a 20 anos, dependendo do tratamento. Os dormentes fabricados a partir de madeiras comuns duram de 5 a 6 anos, e os dormentes não tratados possuem uma vida útil de 2 a 10 anos. No restante do mundo, os dormentes tratados com pentaclorofenol duram de 25 a 30 anos; os tratados com sais, de 15 a 20 anos; e os não-tratados, de 3 a 15 anos.

5.2 DORMENTES DE CONCRETO

Os dormentes podem ser classificados em função dos materiais que são constituídos e da forma e características externas. Em função da forma, os dois principais dormentes fabricados na atualidade são:

- Dormente Bibloco: é formado por dois blocos rígidos de concreto armado sob cada trilho, unidos por uma barra flexível de aço;
- Dormente Monobloco: é constituídos por somente uma peça rígida e contínua de uma extremidade a outra. São submetidos a grandes momentos fletores que aparecem em diferentes seções do dormente. São exclusivamente protendidos para resistir à distribuição dos momentos fletores provenientes das ações dinâmicas.

5.3 COMPARAÇÃO ENTRE OS DORMENTES SEGUNDO O MATERIAL UTILIZADO

Na tabela 1 a seguir são comparados os dormentes de madeira e os dormentes de concreto quanto a várias das suas características.

Dormente	Vantagens	Desvantagens
Madeira	Menor massa (fácil manuseio)	Vida útil
	Facilmente trabalháveis	Ataque de fungos e insetos
	Fixação simples	Dormentes de AMV - difíceis de se obter
	Bons isolantes	Tratamento exige manter estoque
	Suporta bem a supersolicitação	Redução da oferta
	Aproveitamento dos dormentes usados	Poluição gerada pelo tratamento
	Elasticidade da via	Diminuição da capacidade de manter bitola e estado geral de conservação
Concreto	Maior massa	Manuseio e substituição onerosos
	Manutenção da bitola	Destruido em descarrilamentos
	Isolante	Vulnerável a solicitações excepcionais
	Invulnerável a fungos	Dispendiosa construção de dormentes especiais em AMVs
	Vida longa	
	Menor armazenagem	

Tabela 1: Comparação entre dormentes de madeira e de concreto.
(Fonte: PORTO, 2002)

6 DORMENTES DE PLÁSTICO

Os diversos tipos de plásticos usados são recolhidos do lixo (embalagens usadas de material de limpeza, galões de plástico, engradados de bebidas etc.), são prensados e higienizados e é iniciado o processo de pultrusão (método de fabricação contínuo, mecanizado, para produtos de seção uniforme, com utilização de resinas), onde alguns aditivos são adicionados.

O resultado deste processo todo é uma textura semelhante à madeira, com a qual podem ser produzidos os dormentes que passam por uma máquina de raios-X que verifica a uniformidade da peça, atestando ou não a sua qualidade.

A seguir, os dormentes são texturizados para garantir uma melhor aderência ao lastro, aumentando a segurança na via. Estes dormentes de plástico são instalados na ferrovia com os mesmos equipamentos utilizados para instalar os de madeira.

6.1 VANTAGENS DOS DORMENTES DE PLÁSTICO EM RELAÇÃO AOS DE MADEIRA

Os dormentes de plástico contribuem para o aumento da segurança nas ferrovias já que não são suscetíveis a desprendimento das placas de fixação, e também mantém as fixações, quaisquer que sejam. Com isso, a bitola é mantida tanto nos trechos em tangente quanto nas curvas, mesmo após suportar muitos milhões de toneladas de carga (TIETEK, 2006).

A economia com dormentes de plástico chega a 48mil dólares por milha por ano nos Estados Unidos, onde a utilização de dormentes de plástico é bem difundida (TIETEK, 2006). Essa economia se deve à longa vida útil do material, diminuindo, desta forma, os custos com manutenção de via e reposição de dormentes. A economia também está presente no tempo de fabricação de um dormente de plástico: enquanto é necessário esperar até 18 meses para a árvore atingir um tamanho adequado para que seja derrubada, o dormente de plástico fica pronto em pouco mais de oito horas.

Sob o ponto de vista ambiental, os dormentes de plástico são 85% material reciclável, sendo o restante as resinas responsáveis por sua resistência mecânica. Ao invés de consumir 800 árvores para a fabricação de dormentes para um trecho de 1600 metros de ferrovia, podem ser usadas, por exemplo, dois milhões de embalagens plásticas e 8 milhões de sacolas plásticas.

7 DORMENTES DE PNEUS

A utilização de pneus na fabricação de dormentes é um projeto em desenvolvimento pela COPPE/UFRJ. Por ainda estar na fase de ensaios de laboratório, não existem informações muito precisas quanto à sua viabilidade. Estima-se que enquanto são necessários mil pneus por km de rodovia de pista simples asfaltada com pavimento de borracha, o uso de pneus para dormentes emprega quatorze mil unidades por km de ferrovia.

A primeira etapa da produção consiste na separação da banda de rodagem do pneu, retirando-se os flancos e formando lâminas retangulares a serem furadas para passagem do rebite e empilhadas e comprimidas até atingir a altura mínima de 17cm, dimensão mais comum dos atuais dormentes de madeira. Entre as camadas é aplicado adesivo especial. Toda essa etapa é executada de forma artesanal, atingindo o objetivo de gerar empregos.

Após essa montagem, o dormente será coroado com a chapa de aço, que tem a finalidade de suportar a placa de apoio, proteger das intempéries e do vandalismo, além de melhorar as propriedades mecânicas na porção superior da peça.

Finalmente, um processo de vulcanização transforma o dormente em um bloco monolítico.

Na figura 3 a seguir mostra-se o processo de produção de forma esquemática e a figura 5 mostra a composição do dormente de borracha.

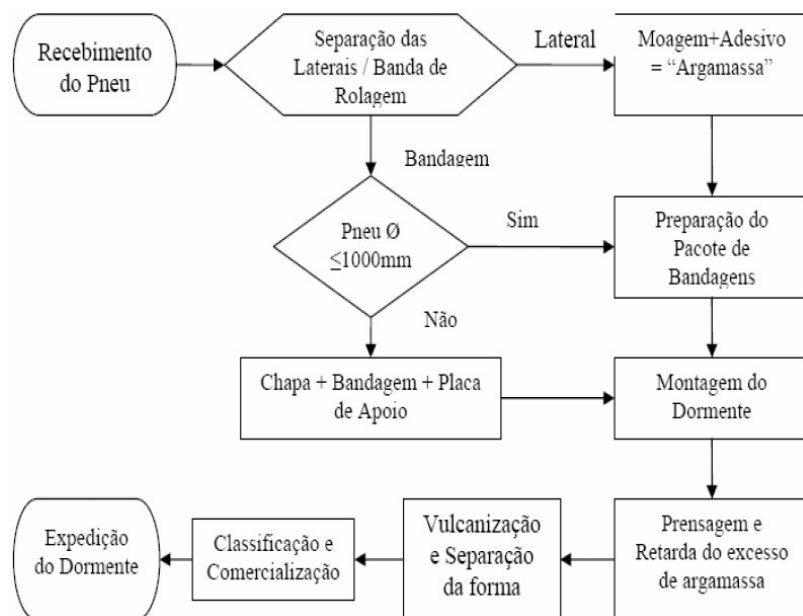


Figura 3: Fluxo das etapas de fabricação dos dormentes de pneu.
(Fonte: BONENTE, 2006)

O trilho (1) é apoiado na peça chamada “placa de apoio” (2), que, por sua vez, está assentada sobre uma chapa de aço (3) dotada de nervuras transversais (5) e longitudinais (6), que

têm a função de lhe conferir rigidez. Os gomos transversais (5) também impedem o deslocamento lateral da placa de apoio. O clipe elástico (7) preso pelo parafuso (8), melhora a condição da via da maioria da malha ferroviária e compõe a fixação rígida. O conjunto de fatias de pneus empilhados forma um paralelepípedo de borracha (4), que é atravessado pelo rebite (9). Os parafusos e rebites, ao atravessar as várias camadas de tecido e malha de aço, fixam o dormente.

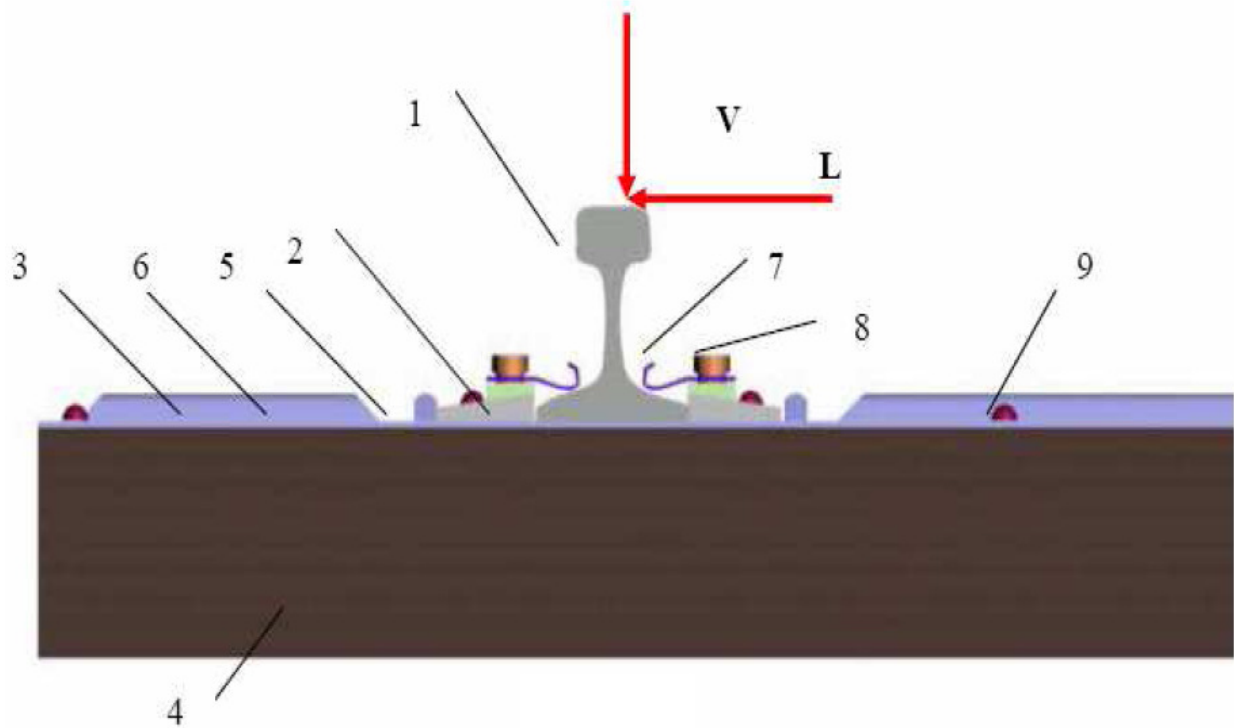


Figura 4: Arranjo simplificado do dormente de pneus.
(Fonte: BONENTE, 2006).

8 CONCLUSÕES

A utilização de materiais reciclados na produção de dormentes ferroviários pode reduzir a poluição ambiental causada pelas carcaças de pneus inservíveis e pelo despejo de embalagens plásticas nos lixões, ao mesmo tempo em que supre a carência de madeira para fabricação de dormentes e que gera empregos para a sua fabricação.

Os resultados dos testes em laboratório (como o apresentado no anexo deste trabalho) puderam apresentar o potencial de utilização do plástico como matéria prima, confirmando a segurança de sua aplicação na superestrutura ferroviária e demonstrando que o dormente possuirá características não somente suficientes mas também desejáveis para o bom desempenho da ferrovia. Quanto aos dormentes de pneus, ainda estão sendo realizados testes para verificar a eficiência deste material nas ferrovias.

9 BIBLIOGRAFIA

AMBIENTEBRASIL. *Plásticos.* Disponível em <<http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/reciclagem/plastico.html>>. Visualizado em 01 jul, 2006.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. *Análise experimental de dormentes de concreto protendido reforçados com fibras de aço.* Tese (Doutorado). Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-17022005-165347>>. Visualizado em 03 ago, 2006.

BONENTE, Luciana Aires Imbiriba Di Maio. *Transformação de pneus inservíveis em dormente ferroviário: proposta de pesquisa tecnológica.* Disponível em <http://www.itcp.coppe.ufrj.br/Dormente_pneus_inserviveis.pdf>. Visualizado em 10 jul, 2006.

CM - Equipamentos Ferroviários. *Dormentes Ferroviários.* Disponível em <<http://pages.zdnet.com/marinho/dpr.html>>. Visualizado em 28 jun, 2006.

COGUMELO. *Policog.* Disponível em <<http://www.cogumelo.com.br/policog/index.html>>. Visualizado em 03 jul, 2006.

ENGEPLAS. *Madeira plástica.* Disponível em <<http://www.engeplas.com.br/index2.php?meio=dethtm/4zb7c4.htm>>. Visualizado em 28 jun, 2006.

_____. *Relatório de ensaio.* Disponível em <<http://www.engeplas.com.br/UserFiles/File/relatorio.htm>>. Visualizado em 28 jun, 2006.

FOGLIATTI, Maria Cristina; FILIPPO, Sandro; GOUDARD, Beatriz. *Avaliação de Impactos Ambientais – Aplicação aos Sistemas de Transporte.* Rio de Janeiro: Interciência, 2004.

MILLER, Mariana. *A reciclagem do plástico.* Disponível em <<http://www.unicamp.br/fea/ortega/temas530/mariana.htm>>. Visualizado em 02 ago, 2006.

PORTO, Telmo Giolito. *Ferrovias.* Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Disponível em <<http://www.poli.usp.br/d/ptr0540/download/ApostilaNova.pdf>>. Visualizado em 03 ago, 2006.

TIETEK Composite ties. *Innovation from the ground up.* Disponível em <<http://www.tietek.com/product>>. Visualizado em 10 jul, 2006.

WEB-RESOL RESÍDUOS SÓLIDOS. *Madeira plástica tem que ser de lei.* Disponível em <<http://www.resol.com.br/curiosidades2.asp?id=1406>>. Visualizado em 03 jul, 2006.

10 ANEXO: RESULTADO DOS ENSAIOS DE LABORATÓRIO PARA OS DORMENTES DE PLÁSTICO

RELATORIO DE ENSAIO LCP 04/000005

Empresa: Cogumelo Ind. e Comércio Ltda.

Endereço: Av. Brasil, 44879 – Campo Grande – Rio de Janeiro – RJ – CEP: 23078-000

Fone: (21) 3408-9043

Fax: (21) 3408-9030

Data de recebimento amostra: 08/01/2004

Data da emissão: 27/01/2004

OS: 15316

Realização de ensaios em polietileno reciclado

Objetivo:

Determinar as propriedades de uma amostra de polietileno reciclado quanto às propriedades em flexão, compressão, expansão térmica linear e dureza Shore, além de fazer a verificação dimensional em uma peça do mesmo material.

Método de análise:

Ensaio de flexão: ensaios em flexão são usados para investigar o comportamento mecânico em flexão de materiais. Pode-se obter informações sobre a tensão em flexão, modulo em flexão e outras propriedades de interesse. O ensaio foi realizado em corpos de prova sob carregamento em três pontos, sendo que o carregamento máximo ocorre exatamente na metade da distancia entre os dois apoios fixos ("span").

As dimensões nominais dos corpos de prova utilizados neste ensaio foram as seguintes:

- comprimento: 80,0mm

- largura: 12,7mm

- espessura: 3,2mm

Corpos de prova com esta espessura exigem que a distancia entre os dois apoios fixos ("span"), seja igual a 64mm, isto é:

$$L = (16 \pm 1)h$$

Onde L = a distancia entre dois apoios fixos e h é a espessura média dos corpos de prova utilizado.

A tensão em flexão expressa em megapascal (MPa), foi calculada de acordo com a equação 2.

$s = 3FL / 2bh^2$, onde:

- F é a força aplicada (em Newton)
- L é a distancia entre os apoios fixos (em mm)
- b é a largura dos corpos de prova (em mm)
- h é a espessura dos corpos de prova (em mm)

Para o cálculo do módulo em flexão inicialmente deve-se determinar as deformações individuais s_1 e s_2 que corresponde à flecha de na região linear inicial da curva tensão x deformação. Os valores de s_1 e s_2 são calculados de acordo com a equação 3:

$s_i = EL^2/6h$ ($i = 1,2$), sendo:

- s_i a deflexão individual
- E os valores individuais da deformação
- L a distancia entre os apoios
- h a espessura do corpo

Desta forma o módulo em flexão pode ser determinado de acordo com a equação 4:

$E_f = sf_2 - sf_1 / Ef_2 - Ef_1$, onde:

- sf_1 e sf_2 são as tensões medidas nos pontos de deflexão s_1 e s_2 respectivamente.

Os ensaios foram realizados segundo a norma ASTM D 790 – “Standard Test Methods of Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastic and Electrical Insulating Materials”, em uma máquina universal de ensaios modelo DL10000 da EMIC, operando com célula de carga de 50Kgf. A velocidade do ensaio foi de 0,01 mm/mm/min, conforme sugere a norma. Foram realizados 04 corpos de prova.

A resistência a compressão: a resistência a compressão foi realizada conforme a norma ASTM D 695 – “Standard Test Method for compressive properties of Rigid Plastic”, em uma máquina universal de ensaios de ensaios modelo DL10000 da EMIC, operando com célula de carga 5000kgf. A velocidade do ensaio foi de 1,3mm/min, conforme sugere a norma. Foram utilizados 5 corpos de prova com 15mm x 13mm x 25mm aproximadamente.

Expansão térmica linear: foi determinado diretamente através de análise termodilatométrica em um equipamento Dilatometer – DIL 409 da Netzch. A amostra foi aquecida a partir da temperatura ambiente até 100° C com uma taxa de aquecimento de 5°C/min e a variação de comprimento foi monitorada.

Dureza Shore: a amostra foi analisada quanto a dureza shore segundo a norma ASTM D 2240 – “Standard Test Method for Rubber Property – Durometer Hardness”, em um equipamento Shore 1 da The Shore Instrument. Foi usada a escala de dureza D.

Verificação Dimensão: foi realizada a determinação do dimensional de duas peças utilizando-se um paquímetro centesimal calibrado. A medida foi realizada em 10 diferentes pontos da peça.

Tabela 1 - identificação das amostras	
Identificação do cliente	Código da amostra - CCDM
Dormente de Polietileno	LCP040037
Dormente de Polietileno (Peças)	LCP040078

Tabela 2 – resultados do ensaio de flexão		
Amostra	Módulo em Flexão[Mpa] (PSI)	Resistência a Flexão[Mpa] (PSI)
LCP040037	1884,04	27,99
	2004,61	27,99
	1519,56	28,76
	1768,51	28,79
	1780,50	28,64
Média	1791,44 (259826,4)	28,43 (4123,423)

Tabela 3 – Resultados do ensaio de compressão:	
Amostra	Resistência a compressão[Mpa] (PSI)
LCP040037	50,44
	50,44
	51,72
	52,51
	51,22
Média	51,27 (7436,08)

Tabela 4 – Resultados do ensaio de coeficiente de dilatação linear:	
Amostra	Coeficiente de expansão linear[1/°C] (in/in °F)
LCP040037	9,67x0,00001 (5,37x0,00001)

Tabela 5 – Resultados do ensaio de Dureza de Shore:	
Amostra	Dureza[Shore D]
LCP040037	67 ± 1

Tabela 6 - dimensional das amostras				
Amostra	Propriedade	Requisito	Valor obtido	Situação
LCP040037	Modulo em Flexão [PSI]	> 250000	259826	Atende
	Resistência a Flexão [PSI]	> 3500	4123	Atende
	Resistência a compressão [PSI]	> 1000	7436	Atende
	Coeficiente de expansão linear [in/in° F]	< 4,5x0,0001	5,37x0,0001	Não atende