



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.  
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

## ESTUDO FÍSICO QUÍMICO DE PNEUS PARA DE APROVEITAMENTO NA ELABORAÇÃO DE ASFÁLTICO ECOLÓGICO

Pedro Emílio Amador Salomão<sup>1</sup>; Everson Ferreira Junio<sup>2</sup>; Samuel Augusto Braga de Souza<sup>3</sup>

### RESUMO

---

As questões ambientais em todo o mundo vêm ganhando grande destaque seja na parte boa ou ruim. Nesse contexto de descarte correto de resíduos, os pneus vêm ganhando grande destaque. Pneus quando descartados de forma incorreta, geram um passivo ambiental que leva em média 600 anos para que o meio ambiente se recupere. Visto esse problema gerado pela falta de descarte e destino correto dos pneus usados, iniciou-se pesquisas voltadas para a utilização ambientalmente correta desses pneus, na qual destaca-se o asfalto ecológico. Esse tipo de pavimento tem em sua composição a borracha proveniente de pneus descartáveis, melhorando propriedades e dando um destino economicamente e ecologicamente correto a esses pneus. Neste artigo é discutido o destino, composição e as formas de se utilizar esses pneus de forma ecologicamente correta.

**Palavras-chave:** Reciclagem; asfalto ecológico; reutilização de pneus.

### CHEMICAL PHYSICAL STUDY OF TIRES FOR USE IN THE ELABORATION OF ECOLOGICAL ASPHALT

### ABSTRACT

Environmental issues in the whole world are gaining prominence whether in the good or the bad way. In this context of correct waste disposal, the tires have been gaining great prominence. Tires when discarded incorrectly generate an environmental liability that takes in average 600 years for the environment to recover. Given this problem generated by the lack of disposal and correct destination of used tires, researches began on the environmentally correct use of these tires, in which the ecological asphalt can be highlighted. This type of pavement has in its composition the rubber coming from disposable tires, improving properties and giving an economically and ecologically correct destination to these tires. This article discusses the fate, composition and ways to use these tires in an ecologically correct way.

**Keywords:** Recycling; ecological asphalt; tires reuse.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Química dos materiais e Professor Adjunto da Universidade Presidente Antônio Carlos UNIPAC. E-mail: pedroemilioamador@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Mestrando em Materiais para Engenharia pela Universidade Federal de Itajubá UNIFEI. E-mail: eversonjunio@unifei.edu.br

<sup>3</sup> Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Presidente Antônio Carlos UNIPAC. E-mail: samuelaugusto.93@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Em um mundo cada vez mais preocupado com sustentabilidade, diversos profissionais buscam utilizar de tecnologias para a reciclagem de materiais que não apresentam mais utilidade e muitas vezes são descartados de forma irregular como reportado por Wachsmuth et al. (2017).

Materiais descartados na forma de resíduos sem utilidade acabam gerando um passivo ambiental. Nessa situação se encontra os pneus, que tem por estimativa a maior média de tempo de decomposição quando comparado com outros resíduos, como madeira e papel, gerando um passivo ambiental que demora até 600 anos para sua degradação total como reportado por Tada et al. (2013).

Assim como vários outros resíduos, os pneus apresentam uma metodologia para o descarte correto como pregado pela CONAMA na Resolução nº 416/2009. Apesar de existir a resolução, muitas vezes os pneus são jogados de qualquer forma na natureza. Visto essa forma incorreta de descarte dos pneus, vários estudos vêm sendo feito afim, na qual se pode destacar a utilização em misturas asfálticas para pavimentação de vias rodoviárias e urbanas como proposto por Di Giulio (2007).

O pneu é um dos principais elementos criados para o funcionamento de

um veículo de transporte de acordo com a patente de Janulevičius et AL. (2017).

O americano Charles Goodyear, inventor conhecido por registrar a patente na vulcanização da borracha em 1844, descobriu após vários testes um método de fazer a mistura do enxofre com borracha para em seguida ser exposto a altas temperaturas, obtendo-se a borracha vulcanizada. Goodyear observou que assim que realizava esta mistura era possível manter e melhorar as propriedades da borracha, como elasticidade, resistência e resiliência como reportado por Gomez et al. (2016). Assim o processo de vulcanização da borracha altera em escala nanométricas as propriedades químicas como reportado por Matos et al. (2017).

De acordo com Henkes et al. (2015) o pneu é constituído de borracha natural, borracha sintética, aço e negro de carbono (ou negro de fumo). De acordo com Lagarinhos et al. (2008) a borracha é essencialmente constituída por carbono elementar sob forma de partículas aproximadamente esféricas, de diâmetro máximo inferior a 1 µm, aglutinado em agregados.

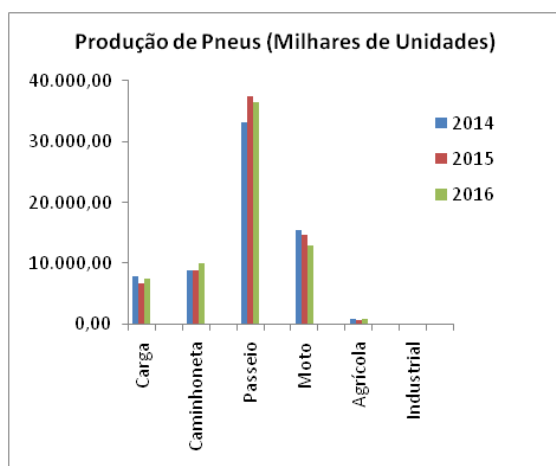
No processo de fabricação da borracha natural o látex é extraído de algumas espécies vegetais, sendo a mais conhecida e importante é a seringueira (*Hevea Brasiliensis*). Esta árvore é nativa da Amazônia e leva de 6 a 8 anos após o

plantio para iniciar extração látex com boa qualidade.

De acordo com Oliveira et al. (2016) a borracha natural, quando comparada com a sintética, apresenta benefícios como proporcionar uma baixa geração de calor sob atrito, alta resistência a rupturas, boa resistência a abrasão, além das suas características elásticas, que são consideradas excelentes para aplicação em composições de pneus.

A borracha sintética foi desenvolvida em 1940, obtida do elastômero de petróleo, que proporciona uma excelente propriedade de tração sem comprometer a sua resistência de abrasão.

Segundo dados da Associação Nacional da Indústria dos Pneumáticos (ANIPA), foram produzidos em trono de 67 milhões de pneus em 2016 no Brasil (Figura 1). A coleta de diversos pneus inservíveis em geral é incorreta e contribui com a degradação do meio ambiente.



**Figura 1.** Dados da associação nacional da indústria de pneus.

## 1.1 Asfalto ecológico e métodos de produção

Estudos realizados por Rodrigues et al. (2015) e Tchobanoglous et al. (1993) mostram que o asfalto ecológico teve um aprofundamento maior em pesquisas próximo a década de 1960 nos Estados Unidos. O pesquisado Charles H. McDonald, percebendo a grande notoriedade das questões ambientais teriam no futuro, iniciou a pesquisa e percebeu que os pneus triturados, e tratados termicamente originavam um material muito elástico, que poderia ser utilizado no asfalto para corrigir problemas relacionados à durabilidade, resistência, flexibilidade e resiliência.

Vistos os custos operacionais, o projeto de produzir asfalto reciclando pneus ficou parado por um tempo, para voltar no final do século XX, quando o custo de produção viabilizou a utilização. Com base na nova proposta mundial de sustentabilidade, delineada pelo protocolo de Quioto em 1997, que reza sobre a reutilização e reaproveitamento de materiais descartados, descobriu-se através de diversas pesquisas e experimentos, as qualidades da utilização de agregados da borracha em ligantes asfálticos.

De acordo com Choubane et al. (1999) a utilização de pneus triturados em misturas asfálticas tem demonstrado uma

melhora significativa nas propriedades básicas, como elasticidade e resistência muito superior quando comparado as misturas convencionais.

Com base em estudos de Hurley et al. (2005) pode ser obtido o asfalto-borracha, que é um composto obtido a partir de cimento asfáltico de petróleo - CAP, borracha moída de pneus (BMP), diluentes e alguns aditivos especiais quando necessários. O volume de borracha de pneu varia entre 15 % e 20 % em relação ao peso total do composto. Existem dois tipos de borracha nos pneus, que proporcionam diferentes propriedades: a sintética, responsável pela estabilidade térmica; e a natural, que fornece as propriedades elásticas.

Para serem reaproveitados no composto asfáltico, os pneus devem sofrer um processo de trituração e moagem para separação do aço e nylon existentes em sua composição, pois apenas a borracha moída é aproveitada. Após esta segregação, a borracha é incorporada ao asfalto através de dois processos diferentes: seco e úmido.

a) processo seco – partículas trituradas da borracha são misturadas com o agregado para em seguida formar o concreto. Cerca de 1 a 3 % do agregado fino em peso são substituídos pelas partículas de borracha. Neste processo, a interação de propriedades importantes da borracha ao ligante é prejudicada, mas

ainda assim é possível associar melhorias à mistura asfáltica.

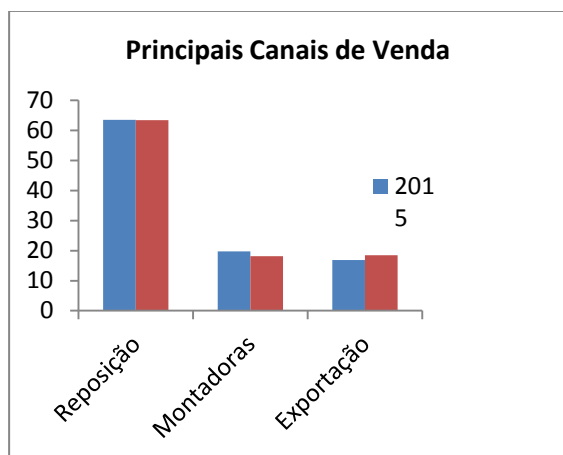
b) processo úmido – Antes de ser misturada com o agregado, a mistura da borracha moída é misturada com o ligante asfáltico na proporção de 18 a 25 % criando uma forte ligação química viscosa. Neste processo ocorre uma interação mais efetiva da borracha com o ligante propiciando melhorias da elasticidade, resistência e durabilidade do asfalto.

De acordo com Silva (2005) o asfalto-borracha gerado pelo processo úmido é composto de asfalto, aditivos e borracha de pneus usados, que representa cerca de 15 % do peso total da mistura, que reagindo com o asfalto a uma temperatura elevada pode causar a expansão das partículas de borracha.

## **1.2 Produção e consumo de pneus no Brasil e no município de Teófilo Otoni**

De acordo com Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos (ANIP), no ano fiscal de 2016, foram produzidos no Brasil 67.870,35 milhares de unidade de pneus, uma queda de cerca de 1,5 % quando comparado com 2015. Porém de acordo com especialistas da própria associação, este ainda é um consumo elevado, visto que a movimentação financeira foi próxima de três bilhões de dólares.

A maioria dos pneus produzidos teve como forma de entrada no mercado a reposição frente aos usados (Figura 2):

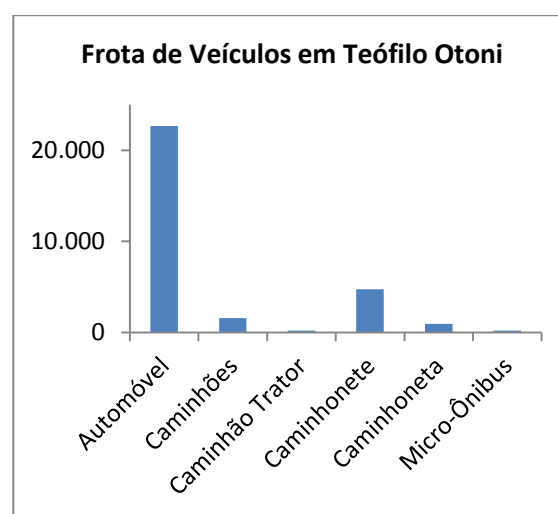


**Figura 2.** Destino dos pneus produzidos no Brasil nos anos de 2015 e 2016.

Teófilo Otoni, município localizado no Nordeste de Minas Gerais com população estimada em 141.502 mil habitantes, de acordo com Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2017). Apresenta uma frota de veículos automotores de aproximadamente 51.103 mil veículos de acordo com o gráfico 3. Isso gera um consumo e descarte anual de mais de 100.000,00 mil pneus que tem variados tipos de descartes de acordo com SINDIPNEUS (2017).

Grandes empresas da região fazem o descarte correto, enviando para o município de Betim/MG, região metropolitana de Belo Horizonte/MG, sendo os mesmos reutilizados em diversas finalidades, dentre elas a produção de asfalto ecológico.

Apesar das grandes empresas fazerem o descarte correto, o mesmo não se pode dizer das pessoas físicas que possuem automóveis, que são a grande maioria dos consumidores de pneus, que por falta de um plano de gestão de resíduos sólidos do município e falta de conhecimento acabam por fazer o descarte de qualquer forma.



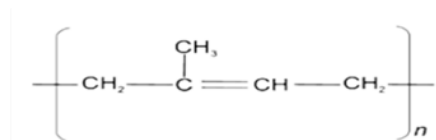
**Figura 3.** Frota de veículos de Teófilo Otoni/MG.

O objetivo deste trabalho é fazer os estudos físico e químico de pneus utilizados para verificar a possibilidade de sua reciclagem na produção de asfalto ecológico. Como objetivos específicos pode-se listar:

- Caracterização morfológica (MEV);
- Caracterização físico química (IV-TF);
- Verificação da viabilidade para reciclar pneus usados;
- Proposta de um projeto de uma planta piloto.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Como já citado, a borracha é um polímero natural originário do látex, que é a seiva extraída da árvore *Hevea Brasiliensis*, popularmente conhecida como seringueira. A borracha é um polímero de adição conhecido como poliisopreno, formado pela adição de 1,4 de monômeros (metilbut-1,3-dieno), Figura 4:



**Figura 4.** Estrutura química da unidade polimérica do isopreno.

O pneu convencional é uma mistura de látex (polímero natural) e borracha vulcanizada de origem no petróleo (polímero sintético). Cada fabricante tem sua formulação característica, na qual alguns utilizam o látex sobre a superfície e derivado de petróleo na parte inferior, porém alguns já utilizam uma mistura equitativa dos dois tipos de polímeros. Um pneu novo pode apresentar uma composição diferente do pneu usado, além de uma alteração na sua superfície devido ao atrito com o chão durante sua utilização.

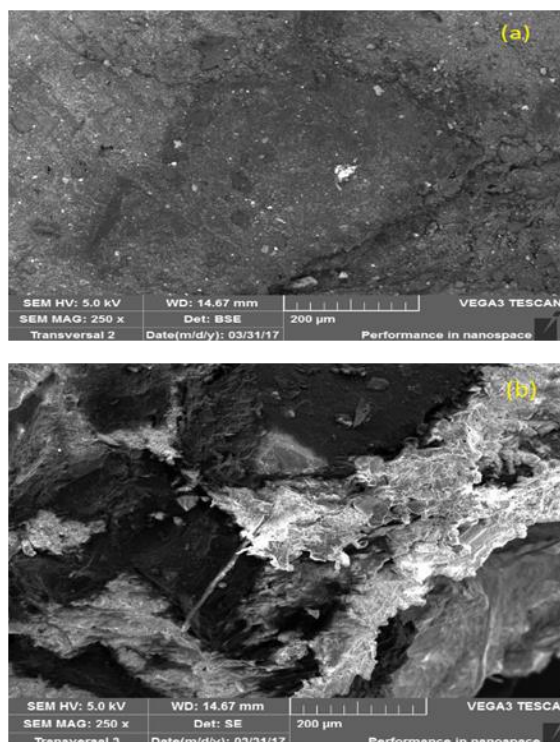
Para confirmar e verificar essas informações, neste trabalho foi feita uma Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) em um equipamento com canhão

de elétrons por emissão de campo (FE-SEM), modelo Supra 35-VP (Carl Zeiss, Alemanha), de amostras de borrachas de pneus novos e usados para elucidar em escala nanométrica a superfície dos pneus.

Para verificar a composição química foram feitas análise de 7 amostras de borracha provenientes de 7 pneus (1, 2 e 3 – novos; 4, 5, 6 e 7 – usados). As amostras foram coletadas nas principais borracharias da cidade de Teófilo Otoni/MG, sendo retirada uma pequena parcela na região lateral do pneu, para posteriormente ser desaglomerada e misturada com KBr (Brometo de Potássio) afim de ser conformada em uma pastilha para análise. As amostras foram caracterizadas em espectrômetro Rayleigh modelo WQF-510A. Os espectros foram medidos na região de  $4000 \text{ cm}^{-1}$  a  $400 \text{ cm}^{-1}$  com 64 varreduras e uma resolução de  $1 \text{ cm}^{-1}$ .

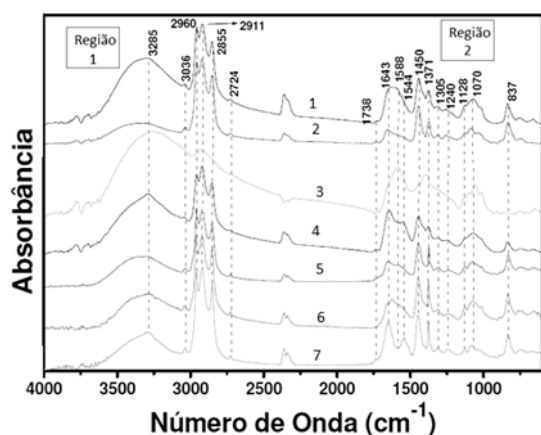
## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pelo MEV pode-se verificar na Figura 5 (a) que os pneus novos apresentam superfície regular, com aproximação em uma escala de 200 micrômetros, mostrando uma boa distribuição dos polímeros. Na imagem (b) pode ser visto que a superfície de um pneu com mais de 40 mil quilômetros rodados apresenta uma imperfeição na superfície.



**Figura 5.** Microscopias Eletrônicas de Varredura. (a) Pneu novo. (b) Pneu com 40 mil Km de uso.

Apesar de ter uma parte da camada exterior gasta pode-se afirmar que a composição química do pneu se manteve constante, como comprovado pelo espectro infravermelho com transformada de Fourier (IV-FT) na Figura 6.



**Figura 6.** Espectro IV-TR das amostras de pneus.

Neste espectro (Figura 6) podem ser vistas duas regiões distintas, porém comuns em todas as amostras, tanto dos pneus novos (1 a 3) quanto dos pneus usados (4 a 7). De acordo com West (1996) os dados obtidos na espectroscopia de infravermelho, pode-se inferir que na Região 1, há modos vibracionais atribuídos ao isopreno, que é o principal constituinte da borracha natural (Látex) ao passo que na Região 2 podem ser vistos modos vibracionais atribuídos a grupos da borracha sintética. A Tabela 1 mostra a quais grupos químicos correspondem aos respectivos comprimentos de onda, de forma comparativa aos valores propostos pela literatura.

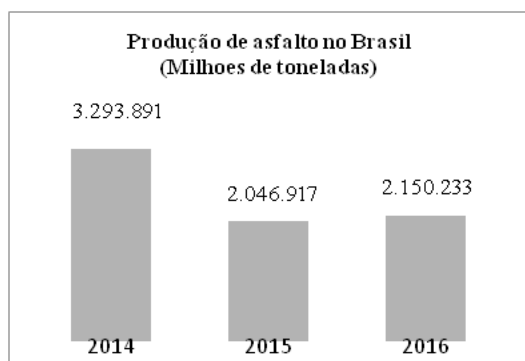
**Tabela 1:** Comparação dos comprimentos de onda encontrados com os propostos pela literatura e seus modos vibracionais.

| Experimental | Literatura   | Atribuição                                |
|--------------|--------------|---|
| 3036         | 3036         | $\nu_1$ (=C-H)                            |
| 2960         | 2962         | $\nu_1$ C-H no $\text{CH}_3$              |
| 2914         | 2912         | $\nu_1$ C-H no $\text{CH}_3$              |
| 2855         | 2854         | $\nu_1$ C-H no $-\text{CH}_2-$            |
| 2724         | 2726         | $\nu$ $-\text{CH}_2-\text{C}=\text{CH}_2$ |
| 1450         | 1450         | $\delta$ $-\text{CH}_2-$                  |
| 1371         | 1375         | $\delta_1$ $-\text{CH}_3$                 |
| 1305         | 1309         | $-\text{CH}_2-$ twist                     |
| 1241         | 1244         | $-\text{CH}_2-$ twist                     |
| 1128         | 1125 ou 1128 | C-H $\text{CH}_2$ cis                     |
|              | [146,158]    |   |
| 833          | 837          | $\delta$ C=C-H                            |

Isto pode comprovar que os pneus são uma mistura entre borracha natural e sintética, o que para produção do asfalto ecológico ajuda, pois cada tipo de polímero colabora com uma característica.

### 3.1 Produção e demanda de asfalto

De acordo com dados publicados pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos (ABEDA, 2017) no ano fiscal de 2016 houve um aumento de aproximadamente 2 % no consumo de asfalto, totalizando um volume de 2.150.233 toneladas de asfalto (Figura 7):



**Figura 7.** Produção de asfalto nos últimos 3 anos no Brasil.

Juntamente com esse asfalto são adicionados os agregados para posteriormente ser depositado sobre uma superfície. Vale ressaltar que a produção de asfalto segue a demanda, visto que este material não pode ser armazenado.

Com uma tendência de crescimento na produção de asfalto e com intuito de reduzir os impactos ambientais causados pelo descarte incorreto de pneus, pode ser incorporado um polímero ligante ao asfalto, utilizando a borracha de pneus em misturas asfálticas.

A utilização de pneus em asfaltos tem sido uma das técnicas mais utilizadas em todo o mundo, pois emprega grande volume desse resíduo até então sem aproveitamento, em misturas asfálticas melhorando diferentes propriedades sob vários aspectos.

Na caracterização de infravermelho (IV-FT) pode ser visto que um pneu convencional apresenta borracha sintética como natural, conferindo diferentes propriedades. De acordo com Bertollo (2003) um pneu de veículo de passeio típico (Goodyear 175/65 R14) com massa aproximada de 10 kg contém em massa:

- 2,5 kg de diferentes tipos de borracha sintética;
- 2,0 kg de diferentes tipos de borracha natural;
- 2,5 kg de tipos de negro-de-fumo;
- 0,75 kg de aço para as cinturas;
- 0,50 kg de poliéster e náilon;
- 0,25 kg de arames de aço;
- 1,50 kg de diferentes tipos de produtos químicos, óleos, pigmentos entre outros.

Na produção do asfalto ecológico, a incorporação da borracha triturada de pneus às misturas asfálticas pode ser de 2 formas: úmido e seco. No processo úmido, a borracha finamente triturada é adicionada ao Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) aquecido, produzindo ligante modificado denominado de asfalto-borracha.



De acordo com Bertollo (2003) e Morilha (2003) o ligante modificado por borracha moída de pneus por via úmida, dependendo do seu processo de fabricação, pode ser estocável ou não-estocável.

O sistema não-estocável é produzido com equipamento misturador na própria obra e nessa condição deve ser aplicado imediatamente devido à sua instabilidade e assim apresenta algumas características diferentes do asfalto-borracha estocável. O sistema estocável é preparado com borracha moída de pneus com uma baixa granulometria (partículas passantes na peneira n° 40) e devidamente misturado em um terminal especial, produzindo um ligante estável e relativamente homogêneo, que posteriormente é transportado para cada obra. Esse sistema (estocável), quando comparado com o sistema não estocável, permite uma economia de tempo e de custos já que o ligante asfáltico modificado é produzido e transportado para várias obras ao mesmo tempo, enquanto que o não estocável deve ser produzido em cada obra.

Como reportado por Motta et al. (2017) na produção por via úmida não-estocável conduz a um inchamento superficial da borracha do CAP o que permite o uso de borracha com maior tamanho de partícula e aumento da viscosidade, não ocorre despolimerização nem desvulcanização.

No processo seco a borracha triturada entra como parte do agregado da mistura e junto com o ligante asfáltico dá origem ao produto “agregado-borracha” ou concreto asfáltico modificado com adição de borracha. A mistura modificada com adição de borracha via seca só deve ser utilizada em misturas asfálticas a quente (concreto asfáltico convencional ou com granulometria especial descontínua – *gap-graded*, por exemplo), não devendo ser usada em misturas a frio como proposto por Leite (2003) e Pinheiro (2004).

### 3.2 Planta piloto

A Figura 8 apresenta a estrutura de um pneu e suas partes formadoras.

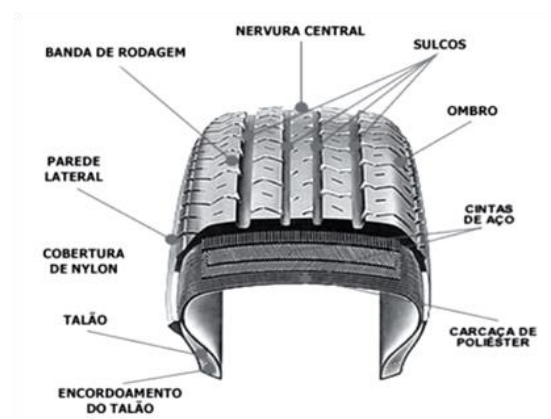
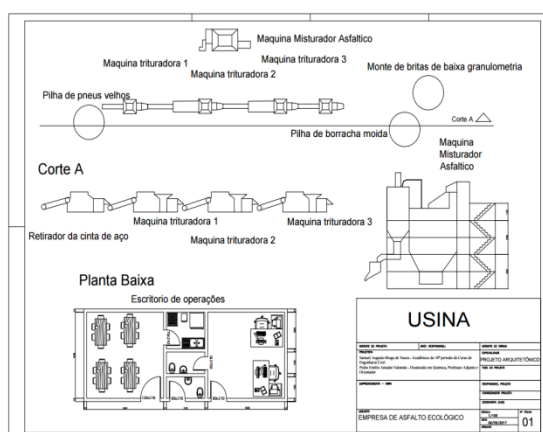


Figura 8. Estrutura de um pneu.

O consumo de asfalto no Brasil e na região de Teófilo Otoni é elevado. Visto esse consumo elevado, a presença de uma grande frota de veículo e as questões ambientais envolvidas em torno do descarte dos pneus, pode-se propor uma

planta piloto para fins acadêmicos e também a participação pública e privada com município, empresas e universidade para produção de asfalto ecológico.

Para ser utilizado em asfalto ecológico, o pneu deve ser triturado e apresentar uma baixa granulometria. O processo de triturar segue algumas etapas na qual, a primeira a se realizar é a remoção da cinta de aço, que pode ser reciclado em empresas de fundição, para em seguida ir para um triturador de grossos. O produto resultante do primeiro triturador, será levado para outro a fim de reduzir a granulometria, e posteriormente para um terceiro triturador que terá como produto resultante um pó de borracha. Este pó de borracha é utilizado na composição do asfalto ecológico com porções que variam de 15 % a 20 % da massa total. Uma planta industrial que processe 10 mil pneus por ano deve contar com alguns equipamentos específicos (Figura 9):



**Figura 9.** Projeto de planta piloto de micro usina para produção de 900 m<sup>3</sup> de asfalto ecológico.

Uma planta piloto pode ser instalada na Universidade para fins acadêmicos em parceria com empresas recolhendo e dando um destino aos pneus e a prefeitura, para abastecer a cidade no que diz respeito a produção de asfalto para manutenção de vias públicas.

#### 4. CONCLUSÕES

A produção de asfalto tende a crescer nos anos que se seguem devido a retomada do crescimento do país e o investimento do Governo Federal e obras de manutenção e construção de novas estradas.

Para preservar o ambiente e dar um destino correto aos pneus sem utilidade, estes podem ser incorporados em massas asfálticas respeitando uma porcentagem de até 20 %, pois foi visto que a composição do pneu (tanto novo quanto usado) se mantém constante independente de estar usado ou não. A mistura dos componentes da borracha natural complementa propriedades da borracha sintética quando utilizada na composição de asfalto ecológico.

A região de Teófilo Otoni tem demanda de consumo e insumo suficiente para produzir esse tipo de asfalto, assim fica a proposta de uma planta piloto a ser desenvolvida pelas instituições privadas, município e Estado.

## 5. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS (**ABEDA**), Disponível em: <http://www.abeda.org.br/mercado/?target=id-1>. Acesso em: 23/03/2017.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS (**ANIP**). Disponível em: <http://www.anip.com.br/arquivos/producao-vendas.pdf>. Acesso em: 20/03/2017.
- BERTOLLO, S. A. M. Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus. 198 f. Tese (**Doutorado**) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- CHOUBANE, B.; SHOLAR, G. A.; MUSSELMAN, J. A.; PAGE, G. C. 1999. **Ten-Year Performance Evaluation of Asphalt-Rubber Surface Mixes**, Transportation Research Record, 1999.
- DI GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso da borracha em asfalto. **Inovação Uniemp**, v. 3, n. 3, Campinas, 2007.
- GOMEZ, I.; MECERREYES, D.; BLAZQUEZ, J. A.; LEONET, O.; YUCEF, H. B.; LI, C.; RODRIGUES-MARTINEZ, L. Inverse vulcanization of sulfur with divinylbenzene: Stable and easy processable cathode material for lithium-sulfur batteries. **Journal of Power Sources**, v. 329, p. 72-78, 2016.
- HENKES, J. A.; RODRIGUES, C. M. Reciclagem de Pneus: atitude ambiental aliada a estratégia Econômica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 448-473, 2015.
- HURLEY, G. C.; PROWELL, B. D. **Evaluation of Sasobit® for use in warm mix asphalt**. NCAT Report 05-06. Auburn, 2005.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (**IBGE**). Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=316860&search=||infogr%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas>. Acesso em: 24/03/2017.
- JANULEVICIUS, A.; PUPINIS, G.; LUKSTAS, J.; DAMANAUSKAS, V.; KURKAUSKAS, V. Dependencies of the lead of front driving wheels on different tire deformations for a MFWD tractor. **Transport**, v. 32, n. 1, p. 23-31, 2017.
- LEITE, L. F. M. **Notas de aula do Curso de Pavimentação Urbana**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2003.
- MATOS, C. F.; GALEMBECK, F.; ZARBIN, A. J. G. Nanocompósitos Multifuncionais de Látex de Borracha Natural e Nanoestruturas de Carbono. **Revista Virtual de Química**, v. 9, n. 1, p. 73-96, 2017.
- MORILHA JR., A.; TRICHÊS, G. **Análise comparativa de envelhecimento em laboratório de nove ligantes asfálticos**. In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 34, 2003,

- Campinas. Anais, Rio de Janeiro: ABPv, p. 110-128, 2003.
- MOTTA, R.; BERNUCCI, L.; DE FARIA, V. C.; DE REZENDE SOUZA, D.; LEAL, J. F. **Estudo de mistura asfáltica morna como revestimento de pavimento: aplicação na Rodovia Presidente Dutra**. Palestra no Departamento de Transportes, Escola Politécnica, USP, São Paulo, SP E Concessionária Nova Dutra, Grupo CCR/Quimigel, Divisão Química. Disponível em: <http://cbrcbrasvias.com.br/palestras/arquivos/TC0028-1.PDF>. Acesso em: 23/01/2017.
- OLIVEIRA, M. A. D. S.; CASSU, S. N.; MELLO, S. A. C. D.; DUTRA, J. C. N. (2016). Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural. **Polímeros Ciência e Tecnologia**, v. 26 (Suppl), p. 43-48, 2016.
- PINHEIRO, J. H. M.; SOARES, J. B. **Realização e acompanhamento de dois trechos experimentais com asfalto-borracha no Estado do Ceará**. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, v. 18, 2004, Florianópolis. Anais... ANPET, v. 1, p. 01-10, 2004.
- RODRIGUES, C. M., HENKES, J. A. Reciclagem de pneus: atitude ambiental aliada à estratégia econômica. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 448- 473, .2015.
- RESOLUÇÃO N° 416, de 30 de setembro de 2009 Publicada no DOU N° 188, de 01/10/2009, p. 64-65.
- SILVA, P. B. Estudo em laboratório e em campo de misturas asfálticas SMA 0/8S. 2005. 132 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUS (SINDIPNEUS). Disponível em: [http://sindipneus.com.br/wordpress/?page\\_id=8](http://sindipneus.com.br/wordpress/?page_id=8). Acesso em: 24/03/2017.
- TADA, A. M.; DE ALMEIDA, A. M. G.; GONÇALO JR, P. R.; KIMURA, W. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Florianópolis, Editora Rima Artes e Textos, 2013.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S. A.; VIGIL, S. A. **Integrated Solid Waste Management**. New York: McGraw - Hill, 1993.
- WEST, Y. D.; HENDRA, P. J.; HEALY, A. M. A Fourier-transform raman study of the strain-induced crystallization and cold crystallization of natural rubber. **Polymer**, v. 37, p. 4009-4024, 1996.
- WACHSMUTH, D.; COHEN, D. A.; ANGELO, H. Expand the frontiers of urban sustainability. **Nature**, v. 536, p.7617, 2016.