

LOGÍSTICA REVERSA DE PNEUS INSERVÍVEIS E SUA REUTILIZAÇÃO EM REDES ASFÁLTICAS

Eleandro Rodrigues Brito¹

Prof^a. Ma. Adrielle Marques Mendes da Silva²

RESUMO

Neste trabalho, realizou-se a revisão bibliográfica de 10 artigos científicos, sendo apresentados em ordem cronológica para visualizar a evolução dos resultados técnicos das pesquisas sobre a incorporação de borracha moída de pneus inservíveis em malhas asfálticas. Os ensaios adotados como estudo na literatura apontaram diferentes resultados de acordo com os ensaios aplicados, a porcentagem de borracha moída incorporada, a granulometria da borracha usada e os processos de moagem dos pneus utilizados. Também foram apontados resultados satisfatórios e outros irrelevantes com a introdução da borracha como ligante no asfalto, mostrando que a utilização da borracha de pneu inservível possui maiores benefícios e elimina significativamente as falhas e fragilidades existentes do asfalto convencional.

PALAVRAS CHAVE: Reciclagem, Asfalto - borracha, Logística Reversa, Pneu.

1 INTRODUÇÃO

Grande parte dos pneus, ao término de sua vida útil, acaba sendo descartada em aterros sanitários, lixões, margens de rodovias, córregos e rios. E ainda oferece riscos à saúde pública como criadouro e alojamento de animais peçonhentos e larvas de mosquitos. No decorrer do ano de 1998, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) desenvolveu políticas para a destinação de resíduos, entre eles, os pneus. De acordo com LAGARINHOS & TENÓRIO (2013), no ano de 2010 foi regulamentada a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para a implantação dos Sistemas de Logística Reversa, entre outras.

¹ Graduando do curso de Engenharia de Produção da Universidade de Rio Verde.

² Professora Ma. da Universidade de Rio Verde e Orientadora do trabalho científico.

Com a reciclagem dos pneus inservíveis atuando como agentes ligantes e incorporados no asfalto, é eliminado o grande número de pneus que acabam sendo descartados em aterros sanitários, lixões, margens de rodovias, córregos e rios.

Segundo LAGARINHOS e TENÓRIO (2008), os pneus inservíveis também são usados como combustível na queima em caldeiras de fábricas produtoras de cimento, mas acaba saindo pelas chaminés uma fumaça preta altamente tóxica com alto teor de enxofre, causando danos nocivos à natureza e à saúde da sociedade. Mas com sua aplicabilidade no asfalto, não existe reação que gere transtorno ao meio ambiente ou à sociedade.

Com a adição da borracha de pneus, esses problemas são sanados e melhoram significativamente a qualidade desse asfalto que ganha uma nova identidade (asfalto – borracha), sendo ecologicamente correto, mais barato na fabricação e manutenção, com maior vida útil e proporciona maior segurança ao condutor de veículo.

Nesse sentido, o trabalho científico tem por objetivo citar as características do asfalto – borracha, avaliando os resultados obtidos pelas pesquisas por diferentes métodos e ensaios adotados pelos pesquisadores, assim, citando as vantagens e desvantagens do uso de pneu reciclado no asfalto - borracha.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Logística Reversa

Para LAGARINHOS & TENÓRIO (2013), a logística reversa é uma área da logística empresarial que planeja, opera e controla o fluxo, e com as informações logísticas do retorno de bens do pós-venda e pós-consumo, aplicando técnicas que garantam valores econômico, ecológico, legal, competitivo, imagem corporativa e outros.

Existem 5 tipos de retorno de produtos e serviços, são eles:

- I. A existência de retrabalho na fabricação de determinado produto ou serviço;
- II. A existência de retornos comerciais gerando novas vendas ou remanufatura, causado pelo alto volume de estoque, produto vencido ou devolução dos clientes;
- III. A existência de retorno no amparo de garantia, com serviços de reparo, remanufatura, inspeção e avaliação técnica com a possível troca do produto;

- IV. A existência de retorno final firmado por contratos de leasing através de locação de máquinas, equipamentos e implementos;
- V. A existência de retorno ao fim da vida útil aplicada à remanufatura, reciclagem, reutilização e valorização energética.

A logística reversa tem sido adotada por muitas indústrias de vários seguimentos de mercado, por possuir ferramentas técnicas muito importantes e eficientes para as indústrias cumprirem suas obrigações perante legislações em vigor, ao mesmo tempo em que se preocupa com a reciclagem, reutilização e diminuição de custos na linha de produção com a coleta de possíveis resíduos que têm alto valor agregado.

Com o emprego da técnica, esses materiais retornam para a linha produção. Dessa forma, o reaproveitamento desse material que deixa de ser lançado ao meio ambiente, evita de se transformar em lixo e causar possíveis danos à saúde pública.

GONÇALVES e MARTINS (2006) afirmam que a Logística Reversa pode ser definida como etapas de planejamento, implementação e controle do fluxo de matérias-primas, da manufatura, mantendo seu fluxo de informação, partindo do consumo do possuidor até a sua origem, com o objetivo de promover valor e efetuar um destino ecologicamente correto. Conforme (figura 1).

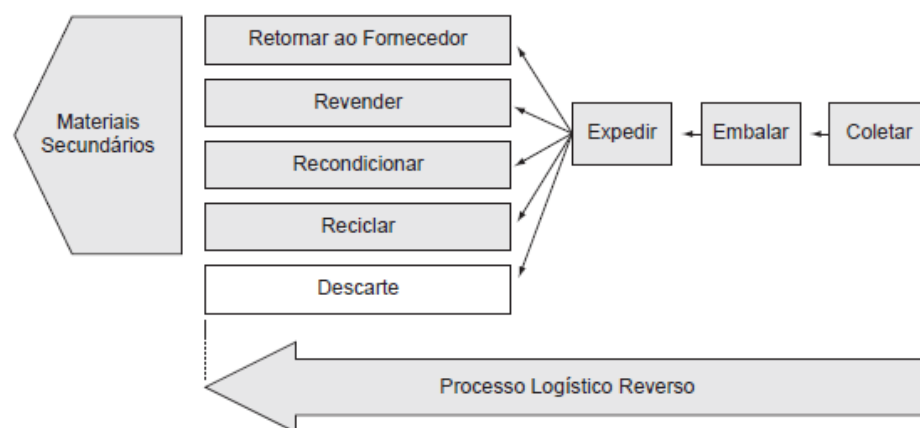


Figura 1. Processo Logístico Reverso (GONÇALVES e MARTINS, p. 401).

Existe uma definição de Logística Reversa na Lei Federal nº 12.305/2010 de agosto de 2010, que deixa claro para a sociedade brasileira:

[...] instrumento de desenvolvimento econômico e social caracterizado por um conjunto de ações, procedimentos e meios destinados a viabilizar a coleta e a restituição dos resíduos sólidos ao setor empresarial, para

reaproveitamento, em seu ciclo ou em outros ciclos produtivos, ou outra destinação final ambientalmente adequada.

Conforme a definição na lei federal, pode-se concluir que a destinação do pneu inservível no asfalto impacta positivamente no desenvolvimento econômico e social e é ambientalmente correto.

2.2 Destinação dos Pneus Inservíveis

De acordo com o CONAMA, pneu é um componente de um sistema de rodagem, composto por elastômeros, produtos têxteis, aço e outros materiais. Ao ser montado em uma roda de veículo e contendo fluido(s) sobre pressão, transfere tração dada a sua aderência ao solo, sustenta elasticamente a carga do veículo e resiste à pressão provocada pela reação do solo.

Segundo a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos ANIP (2015), cerca de 70% das mais de 400 mil toneladas de pneus inservíveis recolhidos do país pela RECICLANIP (entidade que coleta e destina os pneus inservíveis), são retirados do meio ambiente e transformados em combustível alternativo para 24 unidades de produção de cimento. A reciclagem energética é completada pelo uso da borracha em pisos, tapetes e asfalto-borracha, que juntos absorvem os outros 30% do volume coletado em 834 pontos.

De acordo com a RECICLANIP (2015), somente no primeiro trimestre do ano de 2015 foram coletados e destinados de forma ambientalmente correta mais de 114,5 mil toneladas de pneus inservíveis; em comparação com o ano de 2014, houve um aumento de 10%. Essa quantia corresponde a 22,9 milhões de unidades de pneus de carros de passeio retirados das ruas, estradas e rios das 27 capitais brasileiras.

Conforme a resolução, para cada pneu novo comercializado no mercado de reposição, os fabricantes e importadores têm a obrigação de dar a destinação a cada pneu inservível.

2.3 O Uso de Pneus Inservíveis em Redes Asfálticas

A pioneira na fabricação do asfalto – borracha foi a cidade de Cannes, localizada no sul da França, no ano de 1902, de acordo com ODA (2000).

Segundo BALAGUER (2012), existem dois processos de moagem dos pneus:

- Processo Ambiente: consiste em uma série de trituração em moinhos martelo, em seguida passa por peneiras para obter a granulometria desejada e em aspiradores e tambores magnéticos para reter as partículas indesejadas como o nylon e o aço.
- Processo Criogênico: consiste no congelamento dos pneus em um tanque com nitrogênio a temperaturas de -90°C a -200°C , tornando a borracha quebradiça para ser facilmente triturada, em seguida passa por peneiras para obter a granulometria desejada. Com esse processo, retarda o tempo de reação com o ligante do asfalto.

3 METODOLOGIA

Foi adotada nesse trabalho a metodologia do tipo teórico–conceitual, baseada em MIGUEL (2012), para explorar a revisão bibliográfica a respeito dos benefícios proporcionados com a introdução da borracha moída de pneu inservível no asfalto e realizar comparações das características entre esse asfalto – borracha com o asfalto convencional.

A pesquisa foi realizada no levantamento de informações nos bancos de dados do Google Acadêmico, Scielo e Portal de Periódicos da Capes. Nesta pesquisa foram coletados dez artigos científicos. Posteriormente, foram colocados para desenvolvimento em ordem cronológica para acompanhar a evolução dos resultados das pesquisas relacionadas ao asfalto – borracha.

Em seguida, realizou-se a discussão conceitual das vantagens e desvantagens da incorporação do pneu no asfalto e levantou-se a sugestão de uma nova pesquisa de acordo com a revisão bibliográfica.

A revisão bibliográfica destaca os métodos adotados das pesquisas e seus resultados trazendo informações das pesquisas realizadas, discutindo e expondo dados científicos de uma técnica simples que resolverá grande parte dos desafios encontrados pela engenharia para melhorar as características do asfalto e dar um destino sustentável aos pneus inservíveis.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

NETO e FARIAS (2004) desenvolveram pesquisas científicas adotando o ensaio de Previsão de Viscosidade Brookfield, determinado a partir do torque necessário para aplicar uma dada rotação imersa na amostra ligante do asfalto. Para isso, foram desenvolvidas aproximadamente 470 amostras, variando apenas os seguintes componentes: ligantes asfálticos e os pneus reciclados nesse processo, 20% de caminhões e os 80% de carros de

passeio. Os resultados da pesquisa mostraram que a porcentagem de borracha, o tipo de ligante e o tempo de mistura são variáveis que interferem na Viscosidade Brookfield dos asfaltos – borracha. Os valores calculados do estudo de Viscosidade foram de 0,89, sendo avaliado como muito boa.

ODA, NASCIMENTO e EDEL (2005) desenvolveram uma pesquisa de acompanhamento do comportamento de uma pista experimental de asfalto – borracha, localizada na cidade de Salvador – BA. Os primeiros testes foram realizados após 4 meses da execução da pavimentação, tendo por objetivo verificar os possíveis defeitos determinados pela Macro-Textura (teste que mede a rugosidade da superfície), ensaio realizado pelo manchamento de areia; também determinado pela Micro-Textura foi determinada pelo uso do Pêndulo Britânico e o último ensaio, a permeabilidade foi determinada pela metodologia *Nacional Center for Asphalt Technology* – NCAT. O resultado do ensaio da Macro-Textura obteve média de 0,6 mm, sendo superior ao pavimento convencional. Já a Micro-Textura teve uma variação de 45-55 BPN. Com o resultado dos dois ensaios anteriores, foi possível classificar a aderência pneu-pavimento. Os resultados do ensaio variaram de 0,18-0,22 na trilha de roda e 0,22-0,28 no centro da pista, com esses resultados pôde-se analisar que houve uma pequena perda de atrito, porém, comparando ao asfalto convencional, houve um ganho no índice de atrito de 2 a 3 vezes mais. E em relação a Permeabilidade, foi verificado que em alguns pontos o asfalto é impermeável, mas em outros pontos existe uma variação de 500×10^{-5} a 7800×10^{-5} cm/s.

Os estudos desenvolvidos em laboratório por MORAES *et al.* (2005) tiveram por objetivo descobrir as características do asfalto modificado com a incorporação de borracha de pneu (asfalto - borracha), por três ensaios, a seguir: de Penetração (serve para determinar a consistência do asfalto), Ponto de Amolecimento (indicativo do material fluir a temperaturas elevadas) e Ponto de Fulgor (determinação das faixas de temperatura para trabalho). Para realizar os ensaios, foram formulados sete corpos-de-prova com a utilização das normas vigentes. Utilizaram-se granulometrias de borracha de pneu moída em 20, 40 e 80 mm, com teor de incorporação de borracha de 10% e 20%, com CAP 50/60 (ligante do concreto de asfalto) e o óleo extensor PDAB/LPE/ASFALTO (amaciante) nas proporções de 2,5; 4,5 e 6,0%. Com os ensaios de Penetração, pôde-se concluir que o valor de Penetração é inversamente proporcional à incorporação de borracha moída. No ensaio de Ponto de Amolecimento, foi observado que seu resultado é crescente de acordo com a concentração do asfalto – borracha. Já no teste de Ponto de Fulgor, ficou comprovado que o tamanho da

partícula de borracha moída não interfere no aumento da temperatura, que passou de 276°C para 318°C com a adição de borracha.

De acordo com as pesquisas de BOTARO *et al.* (2006), foram avaliados os desempenhos do CAP 20 (petróleo destilado com partículas leves) comum e modificado, com a adição individual de Poliestireno Reciclável (PS), Pó de Pneu (PPN) e Lignina Organossolve (LIG) no asfalto com o objetivo de incorporar esses polímeros reciclados na pavimentação asfáltica. Os corpos-de-prova foram produzidos conforme especificação técnica vigente para cada ensaio da pesquisa, isto é, o Ensaio de Penetração e o Ensaio de Ponto de Amolecimento. O primeiro ensaio realizado foi o de Penetração, que mede a resistência do asfalto em um ambiente à temperatura de 25°C, com uma agulha sofrendo carga de 100g em um período de 5 segundos sobre os corpos-de-prova. O seu resultado nos testes com o uso do PPN não foi satisfatório, tendo o menor desempenho comparado com os demais polímeros. E o segundo ensaio realizado foi o de Ponto de Amolecimento, que consiste em medir a dureza da pavimentação em teste. No procedimento do ensaio, foi colocado o corpo-de-prova em um anel de latão e sobre a amostra colocou-se uma esfera de aço de 3,5g, em seguida o conjunto recebeu um banho-maria em um béquer, com o líquido recebendo aquecimento de 5°C/minuto até que o corpo-de-prova tocasse no fundo do recipiente. Nesse teste, o pó de borracha obteve o segundo melhor resultado comparado aos demais ligantes reciclados.

FONTES *et al.* (2008) realizaram estudos para descobrir o ponto de fadiga do asfalto – borracha comparado ao asfalto convencional, adotando dois ensaios, o de Fadiga e de Módulo e o ensaio de Deformação Permanente. Para esta pesquisa, foram fabricadas amostras com borracha incorporada a um teor de 21%, a uma temperatura de 180°C, por um período de digestão de 90 minutos. O primeiro ensaio a ser executado foi o de Fadiga e de Módulo, utilizando o auxílio de um equipamento servo-hidráulico que permite a carga de flexão em quatro pontos com uma frequência de 10 Hz e sofrendo aplicação de um carregamento sinusoidal alternado e sem repouso em um ambiente com temperatura de 20°C. E o resultado desse ensaio obteve teores superiores comparados ao asfalto convencional devido a sua viscosidade. Já o ensaio de Deformação Permanente é realizado com a utilização de um equipamento composto por um atuador mecânico horizontal e outro vertical, assim, sempre mantendo a altura da amostra no período de teste, sofrendo movimentos repetitivos de uma trilha de roda de 12,7 mm com um número de eixos de 80 KN. Para esse ensaio também se concluiu que o asfalto – borracha possui uma resistência maior à deformação.

FONTES e TRICHÊS (2009) afirmam que é possível reduzir a espessura da camada do asfalto – borracha nas redes asfálticas de acordo com suas pesquisas. Eles adotaram na

pesquisa desenvolvida em laboratório, os ensaios módulos dinâmicos e fadiga, e em seguida, o Dimensionamento do asfalto. Para esse estudo, foram criados corpos-de-prova feitos em laboratório em uma temperatura de 20°C. Na realização do ensaio de Módulo e Fadiga, foi usado o equipamento servo-hidráulico aplicando uma carga de flexão em quatro pontos. Na determinação do Módulo Dinâmico (monitoramento da deformação), foi aplicado um carregamento sinusoidal alternado, com os corpos-de-prova sujeitos a uma tração de 50×10^{-6} em sete repetições de 10; 5; 2; 1; 0,5; 0,2; e 0,1 Hz. Com os resultados desse ensaio de Módulo Dinâmico, chegou-se a conclusão de que o asfalto convencional possui essa característica superior ao asfalto – borracha. Quanto ao ensaio de Fadiga, foi aplicada uma carga nos corpos-de-prova, induzindo uma extensão de tração predefinida. E para a avaliação da vida de Fadiga realizaram-se se três repetições de 200, 400 e 800 $\mu\text{m}/\text{m}$ com frequência de 10Hz, com critério de ruptura de 50% de decréscimo da rigidez do corpo-de-prova ao seu valor inicial. Como resultado desse teste, o asfalto – borracha obteve elevada resistência à Fadiga comparado ao asfalto convencional. E para Reduzir a Espessura da camada do asfalto – borracha junto aos resultados obtidos anteriormente, foi adotada a metodologia de cálculo utilizando um eixo padrão de 80 KN. Dessa forma, concluiu-se a possibilidade de reduzir a Espessura do asfalto – borracha em até 61,5% comparado ao asfalto convencional.

THIVES *et al.* (2011) foram desenvolvidos ensaios técnicos de desempenho de Resistência à Fadiga e Resistência à Deformação Permanente, feitos em laboratório junto à confecção de corpos de prova do asfalto português (asfalto – borracha com uso de borracha criogênica) e do asfalto brasileiro (asfalto – borracha com uso de borracha ambiente). O primeiro teste a ser realizado foi de Resistência à Fadiga, utilizando um equipamento servo – hidráulico que realiza ensaios de flexão em quatro pontos, aplicando um carregamento sinusoidal repetida com uma tração máxima de 100×10^{-6} com as frequências de 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.1 Hz em uma temperatura ambiente de 20°C. Nesse ensaio, a amostra que obteve melhor desempenho foi do asfalto – borracha com material português e com base de asfalto convencional. Já o teste de Deformação Permanente é realizado em uma temperatura de 60°C e com ensaio de cisalhamento simples com repetidas alturas e aplicação de uma força de 70 KPa por 0,6 segundos e em seguida repousando por 0,1 segundo. Esse teste foi realizado para uma trilha – de – roda de 12,7 mm de profundidade nas misturas. Com esse teste de Deformação Permanente, a amostra que obteve resultado satisfatório novamente foi a de material português.

De acordo com os ensaios de ROSA *et al.* (2012), em uma temperatura de 300°C foram incorporadas porcentagens da borracha de 6, 12 e 18% à estrutura de asfalto comum.

Para esse fim, realizaram-se quatro tipos de ensaio, sendo de Penetração, que consiste na penetração de uma agulha com 100g no asfalto em temperatura de 25°C por 5 segundos. E o resultado obtido mostra que o valor de Penetração para a mistura diminuiu até ao teor de borracha de 12%. O segundo ensaio é do Ponto de Amolecimento, que consiste em deixar uma pequena amostra do asfalto em banho em um béquer, a temperatura lida quando a amostra tocar o fundo do béquer, será o Ponto de Amolecimento. Nesse ensaio foi observado que o aumento do Ponto de Amolecimento é proporcional à concentração de borracha no asfalto. Outro ensaio realizado foi o Ponto de Fulgor, que é a maior temperatura a que o asfalto pode se submeter sem que haja liberação de gases. E o menor ponto resultado mostrado neste estudo foi de 12% de incorporação de borracha. E o último ensaio foi o Retorno Elástico, em que é medida a capacidade de um ligante de recuperar sua capacidade inicial. E ficou comprovado, neste trabalho, que a capacidade de Retorno Elástico também é proporcional à concentração de borracha no asfalto.

SHAFABAKHSH *et al.* (2014) realizaram pesquisas no Irã com o asfalto modificado, introduzindo em sua estrutura o pó de borracha em massa de 10% em substituição ao betume (agente ligante), e realizaram-se os ensaios de Marshall (mede a resistência contra a deformação plástica), e de Pista de Rodas (mede a resistência contra a deformação permanente), adotando as metodologias da região. No ensaio de Marshall, as amostras são colocadas em banho-maria com água a uma temperatura de 60°C/30 minutos e, após este período, as amostras são retiradas e sua superfície secada. E em seguida, foi realizada a compactação na amostra com um martelo de metal com face circular de 98,4 mm e peso de 4,5 Kg que desce livremente em uma altura de 45 cm. Com o resultado do ensaio, chegou-se à conclusão de que o percentual ideal em massa de betume e pó de borracha adicionado no asfalto é de 3% para cada. Já na execução do ensaio de Pista de Rodas, foi realizado um método semelhante à passagem de rodas sobre o asfalto e, em seguida ao aparelho desligar-se, foi medida a profundidade do sulco criado na amostra pela massagem de rodas. Com os valores coletados neste ensaio, foi possível verificar que o asfalto com teor de 10% em massa de pó de borracha sofreu um menor desgaste.

KARACASU *et al.* (2014) realizaram estudos com a incorporação de borracha moída no asfalto com granulometrias de 0,3 mm e 3,0mm adotando três tipos de ensaios: Teste Estático de Escoamento (mede a deformação) consistiu na aplicação de uma carga estática de 500KPa por um período de 1 hora. O melhor resultado desse teste foi com a borracha mais fina. O segundo ensaio, o Teste de Deformação Dinâmica (durabilidade) foi realizado com cargas de impulsos repetidos na amostra de asfalto – borracha com duração de

0,5s cada e com intervalos de descanso de 1,5s por um tempo total de 10 minutos. Esse teste teve resultado satisfatório com a adição de borracha mais fina. E, finalmente, o Teste de Coluna Ressonante (resistência ao cisalhamento) que consistiu na aplicação de pressão de 50, 100 e 150 KPa mantida por 30 minutos sobre a amostra de asfalto – borracha. Esse teste obteve melhor resultado com o aumento da concentração de borracha e com espessura mais fina.

Com os resultados apresentados das bibliografias pode-se discutir que:

NETO e FARIAS (2004) concluíram, em sua pesquisa usando o ensaio de Previsão de Viscosidade, que o teor de borracha de pneu incorporado na massa asfáltica e seu tipo de ligante interferem no resultado. Também MORAES *et al.* (2005) comprovaram pelo ensaio de Penetração que seu resultado é inversamente proporcional ao teor de borracha incorporada no asfalto. Já no Ponto de Amolecimento, esses valores são proporcionais, e no Ponto de Fulgor, a granulometria da borracha não interfere em sua reação.

BOTARO *et al.* (2006) comprovaram que o pó de borracha incorporado ao asfalto não possui resultados relevantes no ensaio de Resistência comparado aos polímeros reciclados de Poliestireno (PS) e o Lignina Organossolve (LIG). O pó de borracha obteve apenas um resultado mediano do teste de Dureza. Mas KARACASU *et al.* (2014) detectaram em seu estudo técnico que a incorporação de borracha no asfalto com partículas de 0,3 mm apresentou características superiores comparado ao asfalto convencional nos testes de Deformação, Durabilidade e Resistência ao Cisalhamento. E THIVES *et al.* (2011) descobriram, por meio de sua pesquisa, que o processo de moagem criogênica dos pneus interfere positivamente na estrutura do asfalto – borracha, sendo superior ao processo ambiente.

FONTES e LISEANE (2008) concluíram através dos testes de Fadiga e de Módulo e no de Deformação Permanente, que foi possível obter resultados satisfatórios em uma concentração de 21% de borracha no pavimento asfáltico. Para SHAFABAKHSH *et al.* (2014), o mesmo percentual de borracha incorporada no asfalto não implica apenas em resultados satisfatórios para diferentes ensaios. E ROSA *et al.* (2012) também chegaram à mesma conclusão que SHAFABAKHSH, porém com métodos e ensaios diferentes. FONTES e TRICHÊS (2009) afirmam pelo teste de Módulo Dinâmico, que o asfalto convencional teve melhor desempenho, enquanto que no teste de Fadiga, o asfalto – borracha teve resistência maior. Utilizando metodologia de cálculo com os valores dos dois testes anteriores, foi possível determinar uma redução da espessura do asfalto – borracha de 61,5% comparado ao asfalto convencional.

E por fim, ODA e EDEL (2005), com suas análises de acompanhamento de um trecho de asfalto – borracha com vida útil de 4 meses, concluíram que sua Macro-Extrutura obteve resultado satisfatório, mas na Micro-Extrutura houve uma variação e, utilizando metodologia de cálculo com os valores da Macro e Micro-Extrutura, foi possível descobrir um ganho no índice de atrito de 2-3 vezes mais, mas não houve constância de impermeabilidade em toda parte do asfalto – borracha.

5 CONCLUSÃO

Por meio das pesquisas desenvolvidas em laboratório utilizando métodos, ensaios e resultados, pôde-se concluir que o asfalto convencional possui grande fragilidade comparado ao asfalto – borracha, apenas no ensaio de módulo dinâmico que o asfalto convencional se mostrou superior ao asfalto – borracha.

Deve-se ter cuidado com o percentual de incorporação de borracha na malha asfáltica, pois o asfalto – borracha não se mostrou perfeito em todas as características. Com a introdução de borracha não se eliminam todas as fragilidades do pavimento. Ficou comprovado de acordo com os trabalhos analisados que, em algumas propriedades, há queda de rendimento com auto teor de borracha.

Para se obter um asfalto – borracha com desempenho satisfatório às condições desejadas, é preciso avaliar alguns fatores que interferem diretamente no resultado, como: granulometria da borracha moída, processo de moagem do pneu inservível, percentual de borracha incorporado ao asfalto e compatibilidade química dos agregados.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DAS INDÚSTRIAS DE PNEUMÁTICOS - ANIP. - "Reciclagem de Pneus", ANIP, São Paulo (2015). Disponível em: <<http://www.anip.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2015.

BALAGUER, MARCOS. **Avaliação estrutural de um pavimento flexível executado em asfalto-borracha, elaborado pelo processo de produção contínua em usina.** [2012]. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, [2012].

BOTARO, VAGNER ROBERTO. *et al.* Obtenção e caracterização de blendas de asfalto CAP 20, modificado com poliestireno reciclado, resíduos de pneu e lignina organossolve. **Metalurgia & Materiais**, Ouro Preto, p. 117-122, jan.-mar. 2006.

BRASIL. – "Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos" (2010). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm>. Acesso em: 21 out. 2015.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. - “Resolução nº 416, 20 de setembro de 2009”. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/CONAMA/>>. Acesso em: 19 out. 2015.

FONTES, LISEANE & TRICHÊS, GLICÉRIO. Redução da Espessura dos Pavimentos Utilizando Misturas com Asfalto-Borracha. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AVALIAÇÃO DE PAVIMENTOS E PROJETOS DE REFORÇO, 4, 2009, Fortaleza. **Simpósio Internacional de Avaliação de Pavimentos e Projetos de Reforço**. Fortaleza: ABPv, 07-09 out. 2009. 12p. p 1-12.

FONTES, L. P. T. L.; TRICHÊS, G.; PEREIRA, P. A. A. E PAIS, J. C. Comportamento à Fadiga e à Deformação Permanente de Misturas Asfálticas Confeccionadas com Asfalto-Borracha Brasileiro. In: ENCONTRO DO ASFALTO, 19, 2008, Rio de Janeiro. **Anais 19º Encontro do Asfalto**. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, 09-11 jun. 2008. 8p. p 1-8.

GONÇALVES, M. E.; MARTINS F. A. S. - Logística Reversa Numa Empresa de Laminação de Vidros: Um Estudo de Caso, *Gestão & Produção*, v.13, nº3, p. 397-410, set.-dez. 2006.

KARACASU, MURAT.; OKUT, VOLKAN. E ER, ARZU. A study on the rheological properties of recycled rubber-modified asphalt mixtures. **The Scientific World Journal**. Turkey. v. 2015. ID 258586. p. 1-9, sep. 2014.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. - Reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil, v. 18, nº 2, p. 106-118, 2008.

LAGARINHOS, C. A. F. & TENÓRIO, J. A. S. - Logística Reversa dos Pneus Usados no Brasil, v. 23, nº. 1, p. 49-58, 2013.

MIGUEL, PAULO AUGUSTO C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. 2. ed. [Rio de Janeiro]: Elsevier, [2012]. 260 p.

MORAES, R.; ALENCAR, A. E.; SOARES, S. & SOARES, J. B. Caracterização Química e Empírica do Cimento Asfáltico de Petróleo e da Mistura Asfalto-Borracha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 8, 2005, Águas de Lindóia. **Anuais do 8º Congresso Brasileiro de Polímeros**. Águas de Lindóia: ResearchGate, nov. 2005. 2p. P 1-2.

NETO, SILVRANO A. D. & FARIAS, MÁRCIO M. Modelagem da Viscosidade Absoluta dos Asfaltos-Borracha Usando Redes Neurais Artificiais. In: CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTES, 18, 2004, Florianópolis: p. 28-39.

ODA, S. Análise da Viabilidade Técnica da Utilização do Ligante Asfalto-Borracha em Obras de Pavimentação. São Carlos: Tese de Doutorado apresentada ao curso de Engenharia Civil – Área de Transportes da Escola de Engenharia de São Carlos, 2000.

ODA, S.; NASCIMENTO, L. A. H.; EDEL, G. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO E GÁS, 3, 2005, Salvador. **Aplicação de Asfalto-Borracha na Bahia**. Salvador: Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás – IBP, out. 2005. 6p. p. 1-6.

RECICLANIP. - “Reciclanip Coletou e Destinou Mais de 114,5 Mil Toneladas de Pneus Inservíveis no 1º Trimestre de 2015”, São Paulo (2015). Disponível em: <<http://www.reciclanip.org.br/v3/releases/reciclanip-coletou-e-destinou-mais-de-1145-mil-toneladas-de-pneus-inserviveis-no-1o-trimestre-de-2015/79/20150427/>>. Acesso em: 15 out. 2015.

ROSA, A. P. G.; SANTOS, R. A.; CRISPIM, F. A. E RIVA, R. D. D. - Análise Comparativa Entre Asfalto Modificado com Borracha Reciclada de Pneus e Asfalto Modificado com Polímeros. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**. n.20, p.31-38, nov. 2012.

SHAFABAKHSH, G. H.; SADEGHNEJAD, M. E SAJED. Y. - Case Study of Rutting Performance of HMA Modified With Waste Rubber Powder. **ScienceDirect**. v.1, p. 69-76, mai. 2014.

THIVES, L. P.; TRICHÊS, G.; PEREIRA, P. A.A.; PAIS, J. C. Influência do Tipo de Asfalto Base no Desempenho Mecânico de Misturas com Asfalto Borracha. In: CONGRESSO IBERO-LATINOAMERICANO DO ASFALTO, 16., 2011, Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis – IBP, 2011. p. 1-8.