

---

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE ASFALTO MODIFICADO COM BORRACHA DE PNEUS INSERVÍVEIS E ASFALTO CONVENCIONAL**

Comparative study between modified asphalt with inserable tire blast and conventional asphalt

---

Julia Naves Teixeira<sup>1,2,3</sup>, Hellen Mara Alves Chaves Rodrigues<sup>2</sup>, Julia Dias<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Universidade José do Rosário Vellano-Alfenas-MG, Brasil.

<sup>2</sup> Universidade Federal de Lavras-Lavras – MG, Brasil

<sup>3</sup> Centro Univeristário de Lavras- Lavras-MG, Brasil.

---

**RESUMO**

Pode-se dizer que um dos problemas ambientais da atualidade é o descarte inadequado de pneus. Uma alternativa ao impacto causado por este descarte é a adição de borracha moída oriunda de pneus inservíveis à mistura asfáltica convencional. A partir deste discurso, foi traçado o objetivo de realizar um estudo comparativo entre o asfalto modificado com borracha e o asfalto convencional. Comparou-se neste estudo o asfalto convencional e o asfalto com adição de borracha moída através de testes de resistência à tração, porcentagem de vazios, módulo de resiliência, relação MR/RT ( módulo de resiliência / resistência a tração por compressão diametral) e estabilidade Marshall. Os resultados obtidos mostraram que o asfalto modificado com borracha de pneus, de maneira geral, não se sobressaiu ao asfalto convencional.

**Palavras-chave:** Asfalto. Resíduo de pneu. Sustentabilidade

---

**ABSTRACT**

That one of the biggest environmental problems of the present time is the inappropriate disposal of tires. An alternative is the addition of ground rubber from unserviceable tires to the conventional asphalt mix. From this discourse, the objective was to carry out a comparative study between rubber - modified asphalt and conventional asphalt. Compared in this study, conventional asphalt and asphalt with added rubber ground were tested by tensile strength tests, percentage of voids, resilience modulus, MR / RT ratio (stability modulus / tensile strength) and stability Marshall and related them with the information obtained in the bibliographical research The results obtained showed that the asphalt modified with tire rubber, in general, did not excel to conventional asphalt.

**Keywords:** Asphalt. Tire residue. Sustainability

---

## INTRODUÇÃO

Desde o início da década de 80, a ideia de satisfazer as necessidades do presente sem comprometer os direitos das futuras gerações tem sido amplamente discutida em âmbito mundial. A concepção de “sustentabilidade” presume uma relação direta entre o desenvolvimento econômico e o uso consciente dos recursos naturais. A Agenda 21 propõe que a sociedade precisa desenvolver formas que sejam eficientes para solucionar o problema da eliminação de uma quantidade cada vez maior de resíduos. Os governos devem aliar-se à indústria, as famílias e o público em geral em um esforço conjunto que vise reduzir a geração de resíduos e de produtos descartados (BRASIL, 1998).

Neste âmbito de redução de resíduos, com o crescimento exacerbado do número de automóveis nos últimos anos, aumentou também a preocupação com o descarte incorreto dos milhares de pneus eliminados anualmente. Segundo dados da Empresa Brasileira de destinação de Resíduos - EMBRADER (2014), a produção de pneus novos está estimada em cerca de 2 milhões por dia em todo o mundo, enquanto o descarte de pneus velhos chega a atingir anualmente quase 800 milhões de unidades. Conforme a Associação Nacional da Indústria de Pneumáticos - ANIP (2013), a produção de pneus novos no Brasil no ano de 2013 chegou a 68,8 milhões de unidades e a maior parte destes pneus acaba amontoados em depósitos a céu aberto, funcionando como verdadeiros criadouros de mosquitos transmissores de dengue, malária e febre amarela transformando-se então em uma questão de saúde pública. Além disso, quando queimado a céu aberto libera altas quantidades de gás carbônico e monóxido de carbono que são grandes responsáveis pelo tão preocupante aquecimento global.

Como alternativa ao descarte deste material, Giulio (2007) cita que as primeiras tentativas de se utilizar o asfalto modificado por borracha foram na década de 1950. Entretanto, foi na década de 1960 quando o engenheiro Charles McDonald atravessava os Estados Unidos em seu trailer para inspecionar rodovias, utilizou uma mistura de pó de pneu com asfalto para selar as trincas de seu veículo, à medida que o tempo foi passando ele observou que a nova mistura não oxidava, bem diferente das que eram feitas com asfalto convencional. A partir daí ele passou a utilizar a mistura para operações tapa-buracos conhecida também como “band-aid”. Já em 1963 se iniciaram as primeiras publicações de artigos científicos mostrando as qualidades do novo material.

No Brasil, os primeiros passos para a utilização do Asfalto Modificado por Borracha, ou AMB, se fundem com a criação do artigo nº 2 da Resolução 258/99 do CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. “O artigo proíbe o descarte de pneu no meio ambiente, inclusive a queima em céu aberto. Com isto, surge a necessidade de se redirecionar a destinação de pneus inservíveis” (GRECA ASFALTOS, 2011, p.3).

Associando todas estas informações, pesquisadores concluíram que os pneus inservíveis poderiam ser utilizados em misturas asfálticas contribuindo com sustentabilidade e saúde da população.

Portanto, a presente pesquisa tem por objetivo analisar os benefícios do asfalto-borracha, sua resistência à tração e porcentagem de vazios, além de suas características em relação à fadiga e trincamento do pavimento quando comparado ao asfalto convencional.

## MATERIAL E MÉTODOS

A execução da pesquisa foi estruturada com dados procedentes de livros, jornais, entrevistas de especialistas na área, além de sites de empresas do ramo, possibilitando um melhor embasamento teórico. Nos laboratórios do Centro Universitário de Lavras e de uma empresa especializada em asfaltos, situada no município de Lavras-MG, realizou-se a parte laboratorial e ensaios.

Objetivou-se comparar o asfalto convencional e o asfalto com adição de borracha moída através de testes de resistência à tração, porcentagem de vazios, módulo de resiliência, relação MR/RT e estabilidade Marshall, relacionando-os com as informações obtidas nas pesquisas bibliográficas. O auxílio de funcionários da empresa foi de suma importância no que diz respeito às etapas construtivas dos corpos de prova.

### *Materiais e equipamentos utilizados*

- Borracha moída de pneu obtida em empresa localizada no município de Lavras-MG, e peneirador com peneiras quadradas de 50x50x10cm, fabricado em aço, com sistema de vibração e interruptor de liga/desliga da marca Solocap (Figuras 1 (a) e (b)).

Figura 1: (a) Borracha moída com granulometria 2mm; (b) Peneirador Solocap utilizado para obtenção da borracha moída.



(a)



(b)

Fonte: Acervo próprio

### *Método*

A obtenção da borracha de pneus inservíveis, já moída e separada dos arames que a constituem, conforme Figuras 2 (a), (b) e (c), deu início à prática da pesquisa. Realizou-se no laboratório de Construção Civil do Centro Universitário de Lavras, o peneiramento da borracha em peneirador elétrico com peneiras quadradas, com granulometria de 2 milímetros, totalizando 1kg de borracha moída peneirada. Nas Figuras 2 (a) e (b), é possível visualizar a borracha do pneu ainda não peneirada e o processo de peneiramento, respectivamente.

Figura 2: (a) Borracha de pneu inservível antes do processo de peneiramento; (b) Processo de peneiramento; (c) Borracha de pneu inservível após processo de peneiramento.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Acervo próprio

Para fabricação dos corpos de prova foi utilizado o método Marshall que, de acordo com a norma DNER-ME 043/95, consiste em colocar as misturas de asfalto convencional e também asfalto com inserção de borracha no molde de corpo de prova de diâmetro igual a 10,16 cm e 6,35 cm de altura.

Na usina de asfalto da empresa especializada no assunto, foram recolhidos os materiais necessários para fabricação dos corpos de prova: agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita 0 e brita 1), pó de brita, cal e o ligante (CAP 50/70). O procedimento teve início com o pré-aquecimento da areia com a finalidade de retirar a umidade, sendo colocado na estufa logo em seguida. O mesmo foi feito com a brita 1 e o pó de brita. A cal também foi levada à estufa, porém sem a necessidade de um pré-aquecimento. A dosagem dos agregados graúdos foi feita nas peneiras de 3/4, 1/2, 3/8, 4,75 mm e 2 mm. As Figuras 3 (a) e (b) mostram como foi feito o peneiramento dos agregados.

De acordo com a norma DNER-ME 043/95, a dosagem de materiais necessário para obtenção de 1 corpo de prova foi realizada da seguinte maneira:

- Do material que ficou retido na peneira de  $\frac{3}{4}$  acrescentou-se 3,45 gramas;
- Do material que ficou retido na peneira de  $\frac{1}{2}$  acrescentou-se 196,65 gramas;
- Do material que ficou retido na peneira de  $\frac{3}{8}$  acrescentou-se 182,85 gramas;
- Do material que ficou retido na peneira de 4,75mm acrescentou-se 335,80 gramas;
- Do material que ficou retido na peneira de 2,00mm acrescentou-se 135,70 gramas;
- 278,3 gramas de pó de brita
- 17,25 gramas de cal

Totalizando 1150 gramas de material por corpo de prova.

Baseado na a norma DNER-ME 043/95, para cada corpo de prova foram adicionados 5 % de CAP 50/70, aquecido a 240°C, que corresponde a 57,5 gramas. Já a quantidade necessária de borracha para adicionar ao asfalto corresponde a 20% da mistura do CAP, totalizando 11,5 gramas.

Figura 3: (a) Pré-aquecimento da areia; (b) Peneiramento da brita.



Fonte: Acervo próprio

Após dosagem, todos os agregados além do CAP e da borracha moída, foram levados ao fogo e misturados até que a temperatura obtida fosse de 170°C (Figuras 4 e 5(a)).

Figura 4: Dosagem dos componentes da mistura (CAP, agregados e borracha moída).



Fonte: Acervo próprio.

Figura 5: (a) Medição da temperatura utilizando termômetro; (b) Corpos de prova em descanso na estufa a 150°C.



Fonte: Acervo próprio

Posteriormente, as misturas foram colocadas na estufa, a uma temperatura de 150 °C, de acordo com a Figura 5 (b), por duas horas. Após este tempo, as misturas foram inseridas nos moldes de 10,16cm por 6,35cm e desferidos 75 golpes com altura de queda livre de 45,72cm, de cada lado do corpo de prova. O processo de inserção das misturas nos moldes e como foram realizados os golpes nos corpos de provas está demonstrado nas Figuras 6 (a) e (b). Utilizando esta metodologia de acordo com a norma DNER-ME 043/95, foram preparados 10 corpos de prova do asfalto convencional e 10 corpos de prova do asfalto com adição de borracha moída de pneu.

Figura 6: (a) Inserção da mistura no molde de corpo de prova; (b) Golpes nos corpos de prova através do soquete Marshall para compactação da mistura.



Fonte: Acervo próprio.

Após compactação, o corpo de prova é deixado em repouso durante 12 horas à temperatura ambiente, conforme demonstrado na Figura 7.

Figura 7: Corpo da mistura em repouso.



Fonte: Acervo próprio

Em seguida, foram desenformados (Figura 8) e pesados secos. Para que fosse possível obter o valor do peso imerso, o corpo de prova foi mergulhado em água, a uma temperatura ambiente, durante 4 minutos, sendo pesado ainda imerso (Figura 9 (a)). Posteriormente, é retirado da água e pesado para que se possa obter o valor do peso pós-imersão (Figura 9 (b)).

Figura 8: Corpo de prova com e sem adição de borracha.



Fonte: Acervo próprio.

Figura 9: (a) Medição do corpo de prova imerso; (b) Corpo de prova sendo pesado após ser retirado da água.



(a)



(b)

Fonte: Acervo próprio

### *Teste da estabilidade de Marshall*

Antes de iniciar os testes de estabilidade Marshall, o corpo de prova foi colocado em uma máquina de banho-maria, a uma temperatura de 60 °C, onde permaneceu por 30 minutos de acordo com a Figura 10 (a). Passados os 30 minutos, os corpos de provas foram retirados um a um, secos em um pano limpo e colocados na prensa Marshall para execução do teste. Na Figura 10 (b) é possível acompanhar o corpo de prova na prensa antes do rompimento.

Neste aparelho o corpo de prova recebeu uma carga que foi aplicada continuamente ao longo da superfície lateral do cilindro à velocidade de 5 cm/min até ocorrer o rompimento. A figura 10 (c) mostra o corpo de prova após o rompimento.

Figura 10: (a) Corpos de prova em Banho-Maria; (b) Corpo de prova na prensa antes do rompimento; (c) Corpo de prova rompido.



(a)

(b)

(c)

Fonte: Acervo próprio

### *Descrição dos ensaios realizados*

#### *Estabilidade Marshall*

Atualmente é muito comum encontrar pistas de rolamento em péssimas condições de tráfego, com muitas trincas, desagregação, exsudação, trilhas de rodas, e isso ocorre devido ao excesso ou falta do ligante (CAP) uma vez que não são feitas análises para ter a noção exata da dosagem de ligante que deve conter a mistura asfáltica. O método mais utilizado nos dias de hoje é o de Marshall, que segundo Melo (2013), o objetivo é dosar misturas econômicas entre agregado(s) e ligantes com estabilidade para resistir a cargas e pressões de pneus de veículos.

A norma DNER-ME 043/95 define a fluência Marshall como a deformação apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação de carga inicial até a aplicação da carga máxima expressa em milímetros, e a Estabilidade Marshall como a resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo de prova, quando moldado e ensaiado, sendo expressa em kgf. Não foi possível realizar o teste de fluência devido à falta de aparelhagem adequada.

O valor lido pela prensa Marshall é denominada “estabilidade lida” e, de acordo com a norma DNER-ME 043/95, deve ser corrigido através da fórmula abaixo para a obtenção da “estabilidade real”.

$$f = 927,23 h^{-1,64}$$

Onde:

f = fator

h = espessura do corpo de prova.

A mistura asfáltica é adequada para pavimentação se possuir Estabilidade Marshall mínima (75 golpes em cada face) de 500 kgf, (DNIT 031/2006 ES).

#### *Resistência à tração*

O ensaio de RT deve ser realizado de acordo com a norma DNIT – ME 138(1994) em corpos de prova cilíndricos de dimensões aproximadas de 100mm de diâmetro e 63,5mm de altura. A carga é aplicada a partir de frisos metálicos de 12,7mm

progressivamente, em prensa com velocidade do êmbolo de  $0,8 \pm 0,1$  mm/s até a ruptura do corpo de prova, segundo o plano diametral vertical, havendo a separação em duas metades do corpo de prova.

Já segundo a norma DNIT 031/2006, uma mistura asfáltica é adequada para pavimentação se a mesma possuir resistência à tração por compressão diametral estática, a 25°C, igual ou superior 0,65 MPa.

A realização dos ensaios de Resistência à tração em amostras cilíndricas seguiu as recomendações da norma NBR 15087 (ABNT, 2012). Para obtenção do resultado final utilizou-se a equação sugerida pela norma DNER ME-138/1994:

$$RT = \frac{2F}{100\pi dh}$$

Em que:

RT = Resistência à tração por compressão diametral (MPa)

F = Carga de ruptura (N)

h = Altura do corpo de prova (cm)

d = diâmetro do corpo de prova (cm).

### *Módulo de Resiliência*

No Brasil o módulo de resiliência (MR) em misturas asfálticas é padronizado pela DNER-ME 133/94 (DNER, 1994). Segundo Bernucci et al (2008), o ensaio MR em misturas asfálticas é realizado aplicando-se uma carga repetidamente no plano vertical de um corpo de prova cilíndrico regular, onde essa carga gera uma tensão de tração transversalmente ao plano de aplicação de carga. A partir desse processo mede-se então o deslocamento diametral recuperável na direção horizontal correspondente a uma tensão gerada, a dada temperatura (T). Segundo Parreira et al. (1998), a condição de carregamento, o estado de tensão e a natureza do solo e das misturas estabilizadas quimicamente estão entre um grande número de fatores que podem causar variações no valor do módulo de resiliência.

Balbo (2007) cita que a relação entre o módulo de resiliência e a resistência à tração têm sido empregada simultaneamente em projetos de dosagens, em especial, de misturas asfálticas e quanto mais rígido for um material, maior é sua capacidade como camada, de reter esforços em si mesma.

O módulo de resiliência é um fator de extrema importância no dimensionamento racional dos pavimentos. A determinação deste fator pode ser feita por vários tipos de ensaios de carga repetida. Na empresa onde os testes foram realizados não havia aparelhagem adequada para a realização do experimento. MOTTA e PINTO (1994) recomendam aos laboratórios que não dispõem de aparelhagem necessária para execução do ensaio de Módulo de Resiliência o uso do ensaio de compressão diametral estático (DNER-ME 138/94) como parâmetro de estimativa do Módulo de Resiliência. Obtiveram a correlação de RT (Resistência à tração) com o Módulo de Resiliência, para várias misturas ensaiadas pelo laboratório de misturas asfálticas da COPPE/UFRJ:

$$MR = -1336 + (4174 \times RT)$$

Em que:

MR = Módulo de resiliência (MPa)

RT = Resistência à tração por compressão diametral (MPa).

Todavia, os autores recomendam correlações deste tipo somente para anteprojeto ou projetos de estradas secundárias, na tentativa de se dimensionar mais racionalmente os pavimentos.

Utilizando-se a equação descrita acima, determinou-se os valores de módulo de resiliência das amostras.

### *Porcentagem de vazios*

No comportamento das misturas asfálticas o índice de vazios assume particular importância. A influência da porcentagem de vazios no comportamento das misturas, quanto à fadiga, pode ser explicado pelos seus efeitos na rigidez e nas tensões de tração que se desenvolvem no ligante ou na combinação fíler-ligante, perdendo característica de flexibilidade, provocando assim, um aumento na resistência à fadiga do material (ROBERT, 1996).

Segundo a Greca (2006), caso não seja deixado certo volume de vazios com ar, as misturas asfálticas deixam de ser estáveis ao tráfego e, por fluência, deformam-se significativamente.

A norma do DNIT 031/2006 – ES descreve os procedimentos necessários para realização do teste e padroniza os valores de referência para porcentagem de vazios em pavimentos asfálticos em 3% a 5% para camada de rolamento.

### *Análise estatística*

Para a execução da análise, o critério escolhido foi o teste t de Student com nível de significância de 5% que utiliza conceitos estatísticos para rejeitar ou não uma hipótese nula quando a estatística de teste (t) segue uma distribuição t de Student. Foram utilizados 10 corpos de prova para mistura asfáltica com adição de borracha e 10 corpos de prova para mistura asfáltica convencional.

## **RESULTADOS**

O método de dosagem Marshall proporciona o valor da estabilidade, que corresponde à ruptura do corpo de prova devido ao esforço de compressão exercido durante o ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Com o uso do anexo normativo da DNER-ME (043/95, p 07/11), multiplica-se pelo fator de correção que é determinado pela espessura do corpo-de-prova utilizado. No caso do corpo de prova de 63,5mm utilizou-se o fator de correção igual a 1 (um) para obter-se os seguintes resultados apresentados no Figura 11 abaixo.

A Tabela 1 resume os resultados obtidos através do uso da estatística com o teste t. O valor “p” indica que os resultados foram não significativos a 5% de probabilidade, entendendo-se que não houve diferenças significativas na comparação dos resultados.

Tabela 1: Análise estatística das amostras em relação à estabilidade Marshall.

Tipo de Asfalto	Tamanho da Amostra	Estabilidade (kgf)		Teste t (valor p)
		Média	Desvio Padrão	
Convencional	10	723,6	26,66	
Com adição de borracha	10	706,50	4,11	0,59200*

\*Teste t não significativo a 5% de probabilidade.

#### Porcentagem de vazios

Comparando-se as médias, conforme estabelecido na Tabela 2, nota-se que o asfalto com adição de borracha apresentou maiores porcentagens de vazios que o asfalto convencional. Através do valor “p” determinado pelo Teste t, concluiu-se que o teste foi não significativo a 5% de probabilidade, indicando que, estatisticamente, não houve diferença entre os resultados obtidos.

Tabela 2: Análise estatística das amostras em relação à porcentagem de vazios.

Tipo de Asfalto	Tamanho da Amostra	Porcentagem de vazios		Teste t (valor p)
		Média	Desvio Padrão	
Convencional	10	4,04	0,908	
Com adição de borracha	10	4,88	1,098	0,07831*

\*Teste t não significativo a 5% de probabilidade.

#### Resistência à tração por compressão diametral (RT)

A Tabela 3 descreve estatisticamente os resultados através do Teste t.

Tabela 3: Análise estatística das amostras em relação à resistência à tração.

Tipo de Asfalto	Tamanho da Amostra	Resistência à Tração (Mpa)		Teste t (valor p)
		Média	Desvio Padrão	
Convencional	10	0,70	0,03	
Com adição de borracha	10	0,68	0,09	0,56372*

\*Teste não significativo a 5% de probabilidade.

De acordo com o valor “p” encontrado no Teste t, conclui-se que,

estatisticamente, não houve diferença entre as amostras, ou seja: tanto a amostra de asfalto convencional quanto a amostra de asfalto com adição de borracha tiveram mesmos resultados quando submetidos ao ensaio de resistência à tração. Acredita-se que a alta viscosidade e o elevado teor do ligante asfalto-borracha são os prováveis motivos da redução do intertravamento entre os agregados e consequente redução dos valores dos parâmetros analisados.

#### Módulo de Resiliência (MR)

A Tabela 4 traz a comparação estatística entre as médias de cada tipo de amostragem.

Tabela 4: Análise estatística das amostras em relação ao módulo de resiliência.

Tipo de Asfalto	Tamanho da Amostra	Módulo de Resiliência (Mpa)		Teste t (valor p)
		Média	Desvio Padrão	
Convencional	10	1589,91	113,80	0,56403*
Com adição de borracha	10	1514,84	382,07	

\*Teste t não significativo a 5% da probabilidade.

De acordo com o valor “p” obtido no teste entende-se que, estatisticamente, não houve diferença entre os dois tipos de amostra.

#### Relação MR/RT

A relação MR/RT (módulo de resiliência por resistência à tração) é comumente empregada para avaliar a susceptibilidade de misturas asfálticas ao trincamento por fadiga. Estatisticamente, não houve diferenças significativamente entre as amostras (Tabela 5).

Tabela 5: Análise estatística das amostras na relação MR/RT.

Tipo de Asfalto	Tamanho da Amostra	MR/RT (MPa)		Teste t (valor p)
		Média	Desvio Padrão	
Convencional	10	2265,37	77,09	0,40771*
Com adição de borracha	10	2183,21	290,91	

\*Teste t não significativo a 5% de probabilidade.

## DISCUSSÃO

Dentro das especificações da norma DNIT-ME 031/2004, ambos os resultados são satisfatórios tendo em vista o valor de referência que é de 500 kgf.

Quanto ao índice de vazios, são sempre necessários vazios de ar dentro da mistura compactada para permitir a expansão térmica dos ligantes e suportar a leve

compactação causada pelo tráfego. Volumes de vazios muito baixos (inferiores a 3%) comprometem o desempenho das misturas em relação ao afundamento em trilhas de rodas, e volumes muito altos (superiores a 8%) podem comprometer a durabilidade do pavimento. No caso das amostras analisadas, ambas obtiveram resultados aceitáveis nos parâmetros de especificações da Norma ME 031/2006 do DNIT, que compreende valores entre 3% a 5%. Entretanto, ambos tiveram resultados satisfatórios no que diz respeito aos valores de referência citados pela norma DNIT-ME 031/2004, que sugere resistência à tração por compressão diametral mínima de 0,65 MPa.

A redução significativa na resistência à tração encontrada por Pinheiro e Soares. (2003) nas misturas com asfalto-borracha também foi verificada por Faxina (2002), que aponta valores de RT de mistura asfalto-borracha 40% menores que o valor de referência. Outros estudos chegaram a conclusões semelhantes também para misturas feitas com asfalto-borracha pelo processo úmido (MOMM E SALINI, 2004; SPECHT ET AL., 2003).

De acordo com Parreira et al. (1998), a condição de carregamento, o estado de tensão e a natureza do solo e das misturas estabilizadas quimicamente estão entre um grande número de fatores que podem causar variações no valor do módulo de resiliência.

Segundo Greca (2006), as amostras de asfalto convencional (sem borracha) apresentam resultados maiores que as amostras de asfalto com adição de borracha indica que as amostras com adição de borracha apresentam comportamento menos rígido (mais dúctil) que as amostras sem adição de borracha. Isto indica que a adição da borracha melhora as características elásticas do ligante, propiciando mistura com maior vida útil e com potencial redutor de propagação de trincas, porém neste trabalho essa informação não pode ser confirmada, uma vez que os testes estatísticos não foram significativos.

## CONCLUSÕES

Conclui-se com a análise estatística que não houve diferenças significativas entre as amostras de asfalto convencional e asfalto com adição de borracha de pneu nos ensaios. Todos os procedimentos foram realizados manualmente e podem ter influenciado nos resultados finais.

De acordo com os parâmetros das normas de porcentagem de vazios e relação MR/RT o asfalto modificado com borracha de pneus inservíveis demonstrou uma vantagem de durabilidade e resistência ao trincamento que são de suma importância no dimensionamento de pavimentos asfálticos. Além disso, vale ressaltar que a incorporação da borracha de pneus em pavimentos asfálticos é de grande relevância, visto que seu descarte é uma das principais causas de poluição ambiental e de doenças, contrariando o conceito de sustentabilidade.

Entretanto, sugere-se uma pesquisa mais abrangente, de preferência em uma usina de asfalto especializada, para que estes dados tenham ainda mais relevância, ficando, portanto, como sugestões para trabalhos futuros os seguintes itens:

- Uso de diferentes teores de CAP na mistura;
- Incorporação de diferentes porcentagens e granulometrias de borracha;
- Estudo mais elaborado da viabilidade econômica;
- Realização de testes com 7, 14 e 28 dias para possível análise.

## REFERÊNCIAS

- ANIP- Associação Nacional de Indústrias Pneumáticas. Produção da Indústria Brasileira de Pneus em 2013. Disponível em [http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo\\_pagina=Produ%E7%E3o](http://www.anip.com.br/?cont=conteudo&area=32&titulo_pagina=Produ%E7%E3o) > Acesso em 21/02/2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 15087 - Misturas asfálticas — Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: 2012.
- BALBO, J. T. Pavimentação asfáltica: Materiais, projetos e restauração. Oficina de textos. São Paulo, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G. da; CERATTI, J. A. P.; SOARES, J. B. Pavimentação asfáltica. Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- BRASIL. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE. A cidade e o lixo. São Paulo (SP): Secretaria de Estado de Meio Ambiente - CETESB; 1998.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução nº 416 de Setembro de 2009. DOU Nº 188 de 01/10/2009, pág. 64-65. Disponível em < <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=616> > Acesso em: 25 fev 2014.
- EMPRESA BRASILEIRA DE DESTINAÇÃO DE RESÍDUOS – EMBRADER em 2014. Disponível em <<http://www.embrader.com.br/site/> > Acesso em 21/02/2014.
- FAXINA, A. L. Estudo em laboratório do desempenho de concreto asfáltico usinado a quente empregando ligante do tipo asfalto-borracha. 2002. 338p. Dissertação (Mestrado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos-EESC. Universidade de São Paulo. São Carlos
- GIULIO, G. Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto. Campinas Maio/Junho 2007. Disponível em <[http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=es&nrm=is](http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=es&nrm=is)> Acesso em 21 fev 2014.
- GRECA ASFALTOS – Grupo Greca Asfaltos em 2014. Disponível em <<http://www.grecaasfaltos.com.br/>> Acesso em: 21 fev 2014.
- GRECA ASFALTOS - Estudo comparativo do desempenho de um Recapeamento utilizando asfalto borracha. 2006 Disponível em <[http://www.flexpave.com.br/leiamais\\_ecoflex/14\\_livro\\_asfalto\\_borracha\\_2006.pdf](http://www.flexpave.com.br/leiamais_ecoflex/14_livro_asfalto_borracha_2006.pdf)> Acesso em: 10 out. 2014.

GRECA ASFALTOS, 2011 – Informativo quadrimestral Greca Asfaltos. Edição Outubro 2011, ano 8, p.3. Disponível em <[http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos\\_24.pdf](http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_24.pdf) - Acesso em 18/09/2014> Acesso em: 1º out 2014.

MANUAL DE PAVIMENTAÇÃO – DNIT 2006. Disponível em: [http://www1.dnit.gov.br/arquivos\\_internet/ipr/ipr\\_new/manuais/Manual\\_de\\_Pavimentacao\\_Versao\\_Final.pdf](http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf) - Acesso em 25/02/2014.

MELO, R. A. Dosagem de misturas betuminosas a quente pelo método de Marshall. – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa –PB, 2013.

MOMM, L. & SALINI, R. Study of recycled in asphalt concrete mixtures. In: ASPHALT MORILHA, A. J. – Informativo trimestral Greca asfaltos. Setembro 2004, ano 01, nº 1 – Disponível em <[http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos\\_01.pdf](http://www.grecaasfaltos.com.br/fatos/fatos_01.pdf)> Acesso em: 10 out. 2014.

MOTTA, L. M. G.; PINTO, S. O Uso de Ensaios Estáticos na Definição de Parâmetros de Comportamento das Misturas asfálticas. In: 12º Encontro de Asfalto, Instituto Brasileiro do Petróleo, Rio de Janeiro-RJ, 1994.

NORMA DNER-ME 043/95: Misturas betuminosas à quente- Ensaio Marshall. Rio de Janeiro: IPR, 1995.

NORMA DNER-ME 081/98: Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

NORMA DNER-ME 138/94: misturas asfálticas – determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

NORMA DNER-PRO 269/94: Projeto de restauração de pavimentos flexíveis: Rio de Janeiro: IPR, 1994.

PARREIRA, A. B. et al. O módulo resiliente de alguns materiais de pavimentação e a sua estimativa a partir de ensaios de compressão simples. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E ENGENHARIA GEOTÉCNICA, 11., 1998, Brasília. Anais... Brasília: 1998. p. 149-155.

PINHEIRO, JH.M. & SOARES, JB. The effect of crumb rubber gradation and binder-rubber interaction time on the mechanical properties of asphalt- rubber mixtures (dry process). In: ASPHALT RUBBER 2003 CONFERENCE– Proceedings, Brazilian, Brazil, p. 707-718, 2003.

ROBERTS, F. L. et al. (1996). Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction, Napa Research and Education Foundation, Second Edition, Maryland, USA.

SPECHT, L.P; CERATTI, J.A.P. & PALUDO, I. Laboratorial evaluation of tire rubber use as hot mix aggregate. In: ASPHALT RUBBER 2003 CONFERENCE – Proceedings, Brazilian, Brazil, 2003, p 603-614, 2003.

---

**Endereço para correspondência:** Julia Naves Teixeira. Rua Julieta Vieira de Souza, 46, Bairro Santa Maria II, Alfenas, Mg, Brasil. E-mail: julianavest@gmail.com.