

EFEITOS DA ADIÇÃO DE BORRACHA NA PRODUÇÃO DO ASFALTO

Ramon Abreu Souza¹
Augusto Oliveira Berbert¹
Douglas Delazari Martins²

douglasdelazari@hotmail.com

ÁREA DE CONHECIMENTO: Engenharias

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo sobre a adição de borracha na produção do asfalto. A fabricação de pneus teve aumento significativo e sua forma de descarte é, na maioria das vezes, inadequada. Sendo assim, iniciou-se uma pesquisa teórica para identificar formas ecologicamente corretas para esse descarte. Assim, chegou-se ao asfalto borracha, uma forma de pavimentação mais durável e ecológica do que o asfalto convencional. Foram realizadas pesquisas experimentais, procurando identificar outras vantagens, além do fato de esse material ser ecologicamente correto, como a duração, o menor custo de manutenção, entre outros. Foram relatadas análises com corpos de provas com a adição de borracha no asfalto. Este trabalho tem por finalidade mostrar as vantagens da adição de borracha na produção do asfalto, fazendo com que ele se sobressaia em relação ao convencional.

PALAVRAS-CHAVES: Asfalto; borracha; reutilização; meio ambiente; vantagens.

1. INTRODUÇÃO

O ser humano desde que deixou de ser nômade vem realizando transformações no ambiente em que vive para melhor lhe atender. Dentre as atividades desenvolvidas, destaca-se a construção civil, que gera grande impacto ambiental devido ao consumo de grande volume de recursos naturais não renováveis, além da geração de grande volume de resíduos, tanto sólidos, quanto líquidos e até gasosos. Todos esses aspectos têm ocasionado diminuição da qualidade de vida da população (BRAKEL, 1999).

Entretanto, nos últimos anos, com a ajuda de novas tecnologias, a construção civil vem diminuindo essa poluição. Isso se deve ao desenvolvimento de novas tecnologias e ao emprego de novas técnicas na área de reaproveitamento e reuso de materiais. Todavia, ainda há um longo caminho a ser percorrido (BRAKEL, 1999).

Como em várias outras áreas da engenharia, a pavimentação também vem se aperfeiçoando com o objetivo de minimizar os impactos ambientais. Com o objetivo

¹Acadêmicos do 10º período do curso de Engenharia Civil da Univértix.

²Graduado em Engenharia Civil e Especialista em docência do ensino superior, professor do Curso de Engenharia Civil da Faculdade Vértice - UNIVÉRTIX - Matipó

de melhorar a flexibilidade do asfalto e de aumentar sua durabilidade, além da questão ambiental de se aproveitar recursos já existentes, pesquisadores desenvolveram o chamado asfalto-borracha (ZATARIN *et al.*, 2017).

Em 1960 foi criado o asfalto-borracha pelo norte-americano Charles H. Macdonald, ele foi desenvolvido como uma solução para as estradas da cidade de Phoenix, no estado do Arizona, que hoje tem mais de 70% da sua malha viária coberta por este pavimento. Este tipo de pavimento está presente nos estados da Califórnia, Flórida e Texas. Além dos Estados Unidos, esta tecnologia tem sido utilizada em outros países assim como no Brasil (DRUMOND, 2012).

O grande volume de resíduos sólidos provenientes da indústria da borracha e do descarte de pneus tem incentivado vários estudos acerca da reutilização e reciclagem desse material, motivados, também, pelo longo período de degradação (400 a 800 anos). Várias tentativas de reciclagem têm sido testadas: confecção de tapetes e artefatos de borracha, estabilização de encostas, controle de erosão com mantas de pneus, utilização como combustível, etc. Entretanto, com o grande volume de material produzido, principalmente em países onde o transporte rodoviário é predominante, como é o caso do Brasil, os pesquisadores têm vislumbrado como alternativa atrativa a utilização de pneu moído incorporado em pavimentos betuminosos (SPECHT, 2004).

Na prática, o asfalto-borracha é um ligante asfáltico que incorpora inovação, economia e sustentabilidade ao pavimento. Os estudos pioneiros no Brasil iniciaram em 1999. Os números são imprecisos, mas pesquisas chegam a relatar que há, no País, mais de 8 mil quilômetros de estradas pavimentadas com esse material atualmente. O número ainda é pequeno diante de uma malha asfáltica de 170 mil quilômetros. Porém espera-se que a taxa de utilização desse recurso cresça à medida que novas tecnologias sejam desenvolvidas (ZATARIN *et al.*, 2017).

A partir disso, este trabalho se justifica por acreditar que a utilização do asfalto-borracha, embora seja uma técnica já conhecida no Brasil, ainda é pouco difundida. Logo, é relevante buscar o entendimento da quantidade ideal de borracha a ser utilizada no pavimento. Objetivou-se, para isso, avaliar os efeitos da adição de diferentes proporções de borracha proveniente de pneus no pavimento asfáltico.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Pavimentação asfáltica

Com base no trabalho de Pinto e Preussler (2001), o pavimento pode ser definido como uma estrutura composta por uma ou mais camadas com o objetivo de receber as cargas provenientes da superfície e distribuí-las ao solo, de modo que as cargas transferidas sejam menores que as tensões admissíveis dos materiais constituintes dele. Os pavimentos podem ser classificados em rígido, flexível e semirrígido.

O pavimento rígido é composto por um revestimento de alta rigidez em relação às camadas inferiores, absorvendo relativamente todas as tensões providas. O pavimento flexível sofre deformação elástica em suas camadas devido ao carregamento aplicado, sendo distribuído de forma igualitária. E, por fim, o pavimento semirrígido, composto por uma base quimicamente cimentada (GUIMARÃES NETO, 2011).

As camadas que fazem parte do pavimento são definidas pela NBR 7207 (1982, p. 2) da ABNT como:

- a) **subleito:** terreno de fundação do pavimento ou do revestimento;
- b) **sub-base:** camada corretiva do subleito, ou complementar à base, quando por qualquer circunstância não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre o leito obtido pela terraplenagem;
- c) **base:** camada destinada a resistir e distribuir os esforços verticais oriundos dos veículos sobre o qual se constrói um revestimento;
- d) **revestimento:** camada, tanto quanto possível impermeável, que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e é destinada a economicamente e simultaneamente a melhorar as condições do rolamento quanto a comodidade e segurança e resistir aos esforços horizontais que nele atuam tornando mais durável a superfície de rolamento.

O pavimento convencional, devido às camadas que o compõem, é uma estrutura de alto custo, sendo observada a necessidade de buscar alternativas que exponham um melhor custo benefício (ZATARIN *et al.*, 2017). Para Balbo (2007) *apud* Zatarin *et al.* (2017), a pavimentação deve assegurar uma pista segura e confortável, apresentando propriedades estruturais que suportem esforços resultantes da ação do tráfego, das condições climáticas e que tenha preço baixo, garantindo um ótimo desempenho quando se trata dos gastos de operação e manutenção com o passar dos anos de serviço dessa infraestrutura.

Uma mistura asfáltica deve apresentar estabilidade e fluência compatíveis com o funcionamento elástico da estrutura. Para Di Giulio (2007), nos últimos anos cresceram os estudos sobre a agregação de ligantes asfálticos. A utilização dos pneus inservíveis, os quais podem ser aproveitados como ligantes asfálticos,

preservam ao meio ambiente e a sociedade, além de economizar os recursos naturais.

2.2. Asfalto-borracha

A borracha proveniente dos pneus, quando misturada ao asfalto, resulta em um produto com propriedades técnicas superiores, apresentando maior durabilidade. A utilização de materiais considerados rejeitos representa um grande incentivo no estudo de inclusão dos resíduos de borracha provenientes de pneus ao asfalto convencional (ZATARIN *et al.*, 2017).

O asfalto-borracha é elaborado a partir do preparo da mistura asfáltica utilizando os resíduos do descarte de pneus, buscando aperfeiçoar características como a resistência, permeabilidade e aderência das pistas (ZATARIN *et al.*, 2017). O efeito do teor de borracha evidencia que o ligante asfalto-borracha pode aumentar a resistência ao acúmulo de deformação permanente e ao aparecimento de trincas por fadiga do revestimento (ODA; FERNANDES JUNIOR, 2001).

No intuito de serem reaproveitados para pavimentação, os pneus devem passar por um processo de trituração e moagem, em que é realizada a separação dos demais componentes (aço e náilon), pois apenas a borracha em pó deve ser incorporada ao asfalto. O asfalto-borracha é acrescido de borracha moída de pneus, melhorando as propriedades e o desempenho do revestimento asfáltico (CATAPRETA, 2016).

O pneu é constituído por arame, poliéster, aço de cinturão e outros, destacando-se que a metade de sua estrutura é verdadeiramente constituída de pneu que poderá ser reaproveitado para agregar-se ao asfalto-borracha (LAGARINHOS, 2008). No Brasil, onde o transporte rodoviário é predominante, registram-se inúmeros pneus jogados ao meio ambiente e que precisam de um destino correto.

2.3. Vantagens na utilização do asfalto-borracha

O asfalto-borracha tem grandes vantagens, embora o custo seja mais alto. Nele, percebem-se características como a durabilidade, a maior impermeabilização, a maior aderência, além de outras vantagens (ZATARIN *et al.*, 2017). O uso de pneus descartados (que no Brasil chega a 30 milhões por ano) na produção de asfalto leva a uma economia de:

- ✓ Petróleo (R\$ 14 milhões/1.000 km em asfaltos);
- ✓ Pedras (R\$ 26 milhões/1.000 km);
- ✓ Energia (R\$ 10 milhões/1.000 km em transporte);
- ✓ Aterros sanitários (R\$ 8 milhões/1.000 km) (GRECA ASFALTOS, 2009, p. 76).

A tecnologia utilizada na pavimentação asfáltica mediante à reciclagem e à incorporação da borracha proveniente dos pneus é muito promissora, visto que os processos que utilizam pneus inservíveis como ligante asfáltico estão se expandindo. De acordo com pesquisas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, juntamente com a empresa Greca Asfaltos, cerca de 1000 pneus devem ser utilizados na fabricação de um quilômetro de asfalto-borracha (ZATARIN *et al.*, 2017).

Segundo Zanzotto e Svec (1996) *apud* Zatarin *et al.* (2017, p. 656), a utilização da borracha granulada de pneus como ligante apresenta algumas vantagens:

- Redução da sensibilidade térmica quando comparado com pavimentos construídos com ligante convencional;
- Aumento da flexibilidade do revestimento devido a maior concentração de elastômeros na borracha dos pneus e a melhor característica adesiva do ligante;
- Maior resistência ao envelhecimento por oxidação devido à presença de antioxidantes na borracha dos pneus;
- Aumento do ponto de amolecimento, melhorando a resistência à formação de trilhas de roda.

3. METODOLOGIA

A pesquisa experimental e bibliográfica, desenvolvida neste trabalho, visa analisar e discutir sobre a reciclagem dos pneus que poluem o meio ambiente, pensando em uma melhoria das estradas, tempo de vida útil e também o maior peso para uma escolha, que é o peso lucrativo (GIL, 2007). A pesquisa experimental consiste em escolher um objeto de estudo, selecionar todos os aspectos que poderiam, de alguma forma, influenciá-lo, definir as formas de contê-los e de observar os efeitos que esses aspectos produzem nos objetos.

Tal pesquisa é importante para que se determine a função, vejamos: “a principal vantagem da pesquisa bibliográfica reside no fato de permitir ao investigador a cobertura de uma gama de fenômenos muito mais ampla do que aquela que poderia pesquisar diretamente” (GIL, 2010).

Para avaliação do comportamento das misturas asfálticas modificadas com borracha, desenvolveu-se uma programação de ensaios com o objetivo de determinar propriedades de engenharia relevantes que representam o comportamento destes materiais.

A pesquisa experimental obteve resultados quantitativos que foram traduzidos em números, buscando mostrar, na pesquisa, o quão pode ser lucrativo o asfalto misturado com borracha com o passar dos anos.

Para obter os resultados, foram feitos ensaios onde se encontrou os resultados da resistência à compressão e da densidade desse material. Quanto à pesquisa bibliográfica foi procurado produzi-la por meio de livros, manuais, internet, artigos científicos e técnicos, dentre outros que serão abordados à frente.

3.1. Avaliação da adição de borracha ao asfalto

Com intuito de avaliar a influência da adição de borracha no asfalto, foram realizados ensaios de determinação da densidade aparente e resistência à compressão de corpos-de-prova com diferentes percentuais de borracha incorporados na mistura asfáltica. Foram analisados asfaltos com 0%, 10%, 15% e 20% de borracha na mistura asfáltica. A proporção de borracha foi calculada em relação à massa de agregado seco e o ajuste granulométrico foi realizado substituindo-se em volume uma fração do agregado mineral por uma fração de borracha (BERTOLLO, 2002).

3.1.1. Determinação da densidade aparente

A determinação da densidade das amostras de asfalto foi realizada com base na Norma DNER-ME 117/94.

- **Aparelhagem:**

Foi utilizada uma balança com capacidade de 5 g a 20000 g, com sensibilidade de 0,1 g.

Para pesagem hidrostática, foi utilizado um recipiente cilíndrico para imersão

dos corpos-de-prova, com dimensão de 30 cm de diâmetro e 40 cm de altura.

Para aquecimento da parafina, foi utilizado um bico de Bunsen.

- Materiais:
 - Parafina fluidificada por aquecimento.
 - Fita adesiva.
 - Pincel.
 - Cápsula de porcelana.

3.1.2. Determinação da composição granulométrica

A determinação da composição granulométrica das amostras de asfalto foi realizada com base na Norma ABNT NBR 7217/1987.

A grandeza foi associada à distribuição granulométrica do agregado, correspondente à abertura da malha da peneira (em mm) na qual o agregado apresenta uma porcentagem retida acumulada igual ou inferior a 5% em massa.

- Aparelhagem:
 - Balança com resolução de 0,1% da massa das amostras;
 - Estufa para secagem;
 - Peneiras (1", 3/4", 3/8", nº 4, nº 10, nº 40, nº 200), tampa e fundo;
 - Agitador mecânico de peneiras;
 - Bandejas;
 - Pincel de cerdas macias;
- Amostragem
 - Coletar a amostra de acordo com a NBR 7216;
 - Formar duas amostras para o ensaio, de acordo com a norma NBR 9941.
- Ensaio:

As amostras de ensaio foram secas em estufa (105 – 110 °C), esfriadas à temperatura ambiente e determinadas suas massas (M1 e M2). Inicialmente, foi utilizada a amostra M1, a M2 foi reservada. Feito isso, as peneiras foram encaixadas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo.

Uma porção da amostra foi colocada na peneira superior do conjunto, evitando a formação de uma camada espessa de material. Em seguida, iniciou-se a agitação mecânica do conjunto por um tempo razoável de 30 segundos, permitindo a

separação e a classificação prévia dos diferentes tamanhos de grão da amostra. Cada peneira foi destacada e agitada manualmente até que, após 1 minuto de agitação contínua, a massa de material passante pela peneira fosse inferior a 1% da massa do material retirado.

O material retido em cada peneira foi removido e armazenado em uma bandeja devidamente identificada. Para remover totalmente a amostra da peneira, a tela foi escovada em ambos os lados. O material removido pelo lado interno é considerado retido; o despreendido na parte inferior, como passante.

Posteriormente, foi realizada a determinação da massa total de material retido em cada uma das peneiras e no fundo do conjunto, lembrando que o somatório total das massas não pode diferir mais de 0,3% da massa seca da amostra inicialmente adicionada no conjunto de peneiras. O mesmo procedimento descrito acima foi realizado com a amostra M2.

Para determinação dos resultados de cada uma das amostras, foram realizados os cálculos da porcentagem retida, em massa, em cada peneira, com aproximação de 0,1%. Então, foram calculadas as porcentagens médias da massa retida e acumulada, em cada peneira, com aproximação de 1%.

3.1.3. Determinação da Resistência à compressão

A fim de verificar a resistência máxima atingida pelo asfalto-borracha com a inserção de diferentes percentuais de borracha, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de compressão simples com base na Norma ABNT NBR 5739 – Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova cilíndricos.

O ensaio foi realizado para determinar o esforço máximo de compressão que o corpo de prova consegue suportar até iniciar a fissuração.

O corpo-de-prova foi preparado dentro do equipamento de ensaio com dois instrumentos LVDT (*Linear Vertical Displacement Transducer*), transdutores de deslocamento linear, que indicam a variação de comprimento do corpo-de-prova. Depois de preparado o equipamento, o corpo-de-prova foi colocado sobre o centro da plataforma, como previsto pela Norma ABNT NBR 5739, dando início ao ensaio.

O ensaio de compressão simples apresenta um valor como resultado, o valor da tensão que está sendo aplicada. A resistência à compressão foi obtida, dividindo-se a carga da ruptura pela área da seção transversal do corpo-de-prova, o resultado

expresso com aproximação de 0,1 MPa.

Os resultados de ensaio de corpos-de-prova moldados segundo a NBR 5738 devem conter as seguintes informações:

- a) número de identificação do corpo-de-prova;
- b) data de moldagem;
- c) idade do corpo-de-prova;
- d) resistência à compressão, expressa com aproximação de 0,1 MPa;
- e) tipo de ruptura do corpo-de-prova (Figura 4).

4. RESULTADO E DISCUSSÕES

Para o processo de fabricação da massa asfáltica, a composição utilizada para incorporação de polímeros, borracha moída de pneus com granulometria de diâmetro variando de 1,5 mm a 3,0 mm, brita 6/12 e brita 4/10 e alguns aditivos especiais foi o CAP 50/70, conforme a composição a seguir:

Foram usados pra fazer os corpos de prova a porcentagem de 30% de brita 1, 30% de brita 0, 38% de pó de brita, e 2% de fíler (foi usado o cimento). Em cima desse valor de agregado foi utilizado 5% do valor total em betume.

Isso em unidade de medida peso deu: 360 g de brita 1, 360 g de brita 0, 456 g de pó de brita, e 24 g de fíler, mais a adição de 5% de betume, e a borracha variando de acordo com o percentual adotado entre 0%, 10%, 15% e 20% em relação ao betume.

Tabela 1 – Composições de corpo de prova.

| Corpo de prova | Brita 1 (%) | Brita 0 (%) | Pó de Brita (%) | Filer (cimento) (%) | Betume (%) | Borracha (%) |
|----------------|-------------|-------------|-----------------|---------------------|------------|--------------|
| 1 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 0 |
| 2 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 0 |
| 3 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 0 |
| 4 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 10 |
| 5 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 10 |
| 6 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 10 |
| 7 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 15 |
| 8 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 15 |
| 9 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 15 |
| 10 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 20 |
| 11 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 20 |
| 12 | 30 | 30 | 38 | 2 | 5 | 20 |

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

A balança usada no teste foi de 5 g até 20 kg.

Tabela 2 – Densidade aparente

| Corpo de Prova | Peso ao Ar (g) | Peso Imerso (g) | $P_{ar} - P_i$ | Densidade aparente |
|----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------|
| 1 | 1205 | 715 | 490 | 2,459 |
| 2 | 1010 | 585 | 425 | 2,376 |
| 3 | 995 | 580 | 415 | 2,398 |
| 4 | 895 | 510 | 385 | 2,325 |
| 5 | 1010 | 590 | 420 | 2,405 |
| 6 | 1200 | 695 | 505 | 2,376 |
| 7 | 1240 | 720 | 520 | 2,385 |
| 8 | 1245 | 720 | 525 | 2,371 |
| 9 | 1270 | 725 | 545 | 2,330 |
| 10 | 1270 | 720 | 550 | 2,309 |
| 11 | 1255 | 715 | 540 | 2,324 |
| 12 | 1270 | 720 | 550 | 2,309 |

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Nesse caso, a densidade aparente foi calculada utilizando-se a equação 1:

$$d = \frac{P_{ar}}{P_{ar} - P_i}$$

Pode-se verificar que aumentando o percentual de borracha, a densidade aparente do corpo de prova diminui.

Tabela 3 – Desvio padrão

| % de Borracha | Densidade média | Desvio padrão |
|----------------------|------------------------|----------------------|
| 0 | 2,411 | 0,043 |
| 10 | 2,369 | 0,041 |
| 15 | 2,362 | 0,029 |
| 20 | 2,314 | 0,009 |

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

Segundo a ISO 3534-1, o desvio padrão foi calculado utilizando a seguinte equação 2:

$$s = \sqrt{\frac{\Sigma(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Já a densidade média, foi calculada por meio da equação 3:

$$M = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Tabela 4 - Resistencia a compressão

| Corpo de prova | Borracha (%) | Resultado (Mpa) | Tipo de Ruptura | Data de moldagem | Idade dos CP (sem.) |
|----------------|--------------|-----------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 1 | 0 | 0,284 | Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 2 | 0 | 0,293 | Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 3 | 0 | 0,302 | Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 4 | 10 | 0,404 | Cônica e Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 5 | 10 | 0,387 | Cônica e Bipartida | 23/08/18 | 64 |
| 6 | 10 | 0,394 | Cônica e Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 7 | 15 | 0,438 | Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 8 | 15 | 0,475 | Cônica e Bipartida | 23/08/18 | 64 |
| 9 | 15 | 0,488 | Cônica | 23/08/18 | 64 |
| 10 | 20 | 0,552 | Cônica e Cisalhada | 23/08/18 | 64 |
| 11 | 20 | 0,514 | Cônica | 23/08/18 | 64 |
| 12 | 20 | 0,507 | Cisalhada | 23/08/18 | 64 |

Fonte: elaborada pelos autores (2019)

5. CONCLUSÃO

O trabalho se propôs avaliar o comportamento de misturas asfálticas produzidas para aplicação em vias por meio de ensaios laboratoriais, em que foi possível comprovar que a utilização do asfalto borracha reciclada garante melhorias nas propriedades do asfalto.

As misturas analisadas apresentaram resultados satisfatórios. O desempenho obteve aumento no ponto de amolecimento chegando a um índice de 65,10 °C, uma redução na penetração a 52 °C e suportando uma carga de ate 0,552 Mpa, garantindo ao asfalto maior resistência, deformação e durabilidade, que pode chegar a ser 10 vezes maior que o asfalto convencional.

Em análise, o asfalto-borracha vem se comportando como os pneus, bastante

flexível e elástico, permitindo que se movimente com as cargas dos veículos. Esses movimentos fazem com que não sejam geradas as trincas, ficando um pavimento mais resistente e durável. Nas observações e testes apresentados, o asfalto-borracha demonstrou ser um material com bons resultados e viável para aplicação. Em contrapartida, tem-se a desvantagem do custo da matéria prima pronta e do controle tecnológico mais apurado para a produção.

Com a adição do pó de pneu ao asfalto convencional, conseguimos um aumento significativo da sua durabilidade, vida útil, devido à obtenção de um ligante betuminoso com excelentes propriedades elastoméricas, com alta viscosidade a altas temperaturas e com excelente viscosidade a baixas temperaturas. Além dessas melhorias nos revestimentos asfálticos, ajuda na diminuição da problemática ambiental dos depósitos de pneus inservíveis que vem preocupando autoridades de diversas partes do país.

Em virtude da falta de incentivos fiscais e do seu alto custo inicial, o Asfalto Borracha ainda não é um pavimento utilizado em grande escala no Brasil, em relação ao mundo. Com a tecnologia usada no asfalto borracha, é possível unir situações que viabilizam a economia-social e ambiental, além da qualidade nos transportes. Uma pavimentação de qualidade permite aos usuários um tráfego seguro, confortável e fluente.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS (ABEDA). **Manual básico de emulsões asfálticas**. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. **NBR 5739**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Terminologia e classificação de pavimentação. **NBR 7207**. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Vocabulários e símbolos. Parte 1: Termos estatísticos gerais e termos usados em probabilidade. **NBR ISO 3534-1**. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Agregados – Determinação da composição granulométrica. **NBR 7217**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Amostragem de agregados. **NBR 7216**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA DE PNEUMÁTICOS. **Reciclanip**. Disponível em: http://www.reciclanip.com.br/?cont=formas_de_destinacao_paraondevaospneusinserviveis. Acesso em: 02 jun. 2017.

BALBO, J.T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 558p., 2007.

BERTOLLO, S. A. M., **Avaliação laboratorial de misturas asfálticas densas modificadas com borracha reciclada de pneus**. Escola de engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo – USP, 2002.

BRAKEL, M. V. Os desafios das políticas de consumo sustentável. **Cadernos de Debate Projeto Brasil Sustentável e Democrático**, n.2. Rio de Janeiro, FASE, 1999.

CATAPRETA, C. A. A.; ZAMBIASI, C. A.; LOYOLA, L. A. J. Uso da borracha de pneus na pavimentação como uma alternativa ecologicamente viável. **VII Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Campina Grande – PB, 2016.

DI GIULIO, G. **Vantagens ambientais e econômicas no uso de borracha em asfalto**. *Inovação Uniemp*, v.3, n.3, pp. 12-15, 2007.

DI GIULIO, G. **Inovação Uniemp** v.3 n. 3 Campinas. Disponível em: <http://inovacao.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1808-23942007000300008&lng=&nrm=iso>. Acesso em: 06 jun. 2017.

DRUMOND, B. H. G. **Utilização de resíduos de borracha em pavimentações asfálticas ecológicas**. Especialização em Construção Civil. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, 2012.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GRECA ASFALTOS. **Estudo comparativo do desempenho de um asfalto-borracha**. P 76. 1° ed. 2006. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.aspx>>. Acessado em: 01 jun. 2017.

GUIMARÃES NETO, G. L. **Estudo Comparativo entre a Pavimentação Flexível e Rígida**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade da Amazônia, Belém, 2011. Disponível em: < <http://livrozilla.com/doc/794724/estudo-comparativo-entre-a-pavimentacao-flexivel>> Acessado em: 09 abr. 2018.

LAGARINHOS, C. A. F.; TENÓRIO, J. A. S. Tecnologias utilizadas para a reutilização, reciclagem e valorização energética de pneus no Brasil. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 18, n. 2, p. 106 – 118, 2008.

LEÃO, L. F. C. **Do Pneu à Estrada – Benefícios da utilização de borracha granulada em obras públicas**. Boletim Técnico SiNiCESP. São Paulo, Edição nº 8, 2013.

MORILHA JR., A.; GRECA, M. R. **Asfalto-borracha ECOFLEX - Apresentação do Asfalto-borracha**. Cuiabá, 2007. Disponível em: <<http://www.grecaasfaltos.com.br>> Acessado em: 03. abr.2018.

ODA, S.; FERNANDES JÚNIOR., J. L. **Borracha de pneus como modificador de cimentos asfálticos para uso em obras de pavimentação**. Maringá, v. 23, n. 6, p. 1589-1599, 2001.

PINTO, S., PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Copiarte: Rio de Janeiro, 269p., 2002.

RAMOS, I. **Asfalto – borracha – 26/06/2017**. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <<http://www.corsapdfgo.eco.br/2017/06/26/asfalto-borracha-26062017>> Acessado em: 26.jun.2019.

SPECHT, L. P. **Avaliação de misturas asfálticas com incorporação de borracha reciclada de pneus**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, 2004.

ZATARIN, A. P. M., SILVA, A. L. F., ANEMAM, L. S., BARROS, M. R., CHRISOSTOMO, W. Viabilidade da pavimentação com asfalto-borracha. **Gest. Sust. Ambient.**, v. 5, n. 2, p. 649-674, 2017.