

## ASFALTO-BORRACHA: ENSAIOS TÍPICOS PARA CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL ASFÁLTICO

Fábio Krueger da Silva <sup>1</sup>; Maria Eduarda Andrade Ferreira <sup>2</sup>; Fernanda Simoni Schuch <sup>3</sup>; Maria Belen Marin<sup>4</sup>; Ana Karolyna Silveira da Silva<sup>5</sup>

**Resumo** – As rodovias são o maior meio de transporte de pessoas e cargas no Brasil. Cerca de mais da metade das rodovias do país tem condições precárias relacionadas à pavimentação. O asfalto-borracha (AMB), como alternativa ao Cimento Asfáltico de Petróleo, proporciona maior vida útil ao pavimento, reduz barulho e emissões de carbono e é utilizado para rodovias com volume de tráfego muito pesado. A pesquisa realizada determina as características físicas do asfalto modificado por borracha por meio de típicos ensaios de penetração e ponto de amolecimento. A partir dos resultados encontrados verificou-se que os valores obtidos mostram divergências em relação às especificações apresentadas nas normativas não sendo possível realizar a classificação do asfalto borracha. Tal fato foi interpretado como uma falha que ocorreu na etapa de estocagem do material em laboratório. A pesquisa reforça a importância dos ensaios de caracterização física para controle de qualidade indicando a aceitação ou rejeição do material asfáltico.

**Abstract** - Highways are the most popular means of transportation of people and cargo in Brazil. About half of the highways of the country are in precarious conditions in relation to pavement. The "rubber-asphalt" (RA), as an alternative to Petroleum Asphalt Cement, increases the lifespan of the pavement, reduces noise and CO<sub>2</sub> emission and it is used in highways with a heavy volume of traffic. The research informs the characteristics of the rubber modified asphalt through the means of experiments of penetration and mollification point. From the results found, it was verified that the values obtained show divergences in relation to the specifications presented in the regulations, and it is not possible to classify the rubber asphalt. This fact was interpreted as a failure that occurred in the storage stage of the material in the laboratory. The research reinforces the importance of physical characterization tests for quality control, indicating the acceptance or rejection of the asphalt material.

**Palavras-Chave** – Pavimentação; ensaios de laboratório; asfalto-borracha.

---

<sup>1</sup> Eng., Dr, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 3211-6211, fabio.krueger@ifsc.edu.br

<sup>2</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 3211-6211, maria.ea2001@aluno.ifsc.edu.br

<sup>3</sup> Eng<sup>a</sup>. Civil, Dr<sup>a</sup>. Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 3211-6060, fernandass@ifsc.edu.br

<sup>4</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 3211-6060, mariabmaarin@gmail.com

<sup>5</sup> Acad. Eng. Civil, Instituto Federal de Santa Catarina, (48) 3211-6060, anajovitta@gmail.com

## 1. INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, o tráfego terrestre possui elevada dependência na qualidade das vias utilizadas. Com o intuito de melhorar a trafegabilidade das estradas, a pavimentação asfáltica é a forma de revestimento mais utilizada no Brasil e no mundo (Bernucci et al., 2008). O asfalto-borracha foi introduzido no sistema a partir da necessidade de aprimorar as propriedades do Cimento Asfáltico de Petróleo e reduzir problemas ambientais causados pelo modal rodoviário.

A pavimentação asfáltica de rodovias sofre com o mau uso, falta de manutenção e presença de fissuras. Como possível solução para as adversidades citadas anteriormente, o asfalto-borracha ou Asfalto Modificado por Borracha tem a finalidade de melhorar as propriedades dos ligantes comumente utilizados na pavimentação (Rosa et al., 2012). Visando determinar as características presentes em ligantes, são realizados ensaios de caracterização como viscosidade, ductilidade, densidade relativa, ponto de fulgor, entre outros. Na presente pesquisa foram realizados ensaios de ponto de amolecimento e de penetração em amostras de asfalto-borracha moldadas em laboratório. O objetivo principal da pesquisa baseou-se em identificar o ligante utilizado de forma a obter suas propriedades e classificação, a fim de contribuir na melhoria dos ligantes asfálticos tradicionais.

## 2. ENSAIOS EM LIGANTES

A borracha presente nos pneus inservíveis, os quais não possuem mais vida útil e devem ser descartados, é composta por borracha natural, sintética e negro de fumo. A borracha natural confere propriedades elásticas, a sintética, estabilidade térmica e o último, resistência (Oda et. al, 2005). A partir da trituração do material, é possível incorporá-lo ao ligante asfáltico de modo a proporcionar melhoria em suas características. Este material é conhecido como Asfalto Modificado com Borracha (AMB). O processo de caracterização e controle de qualidade do asfalto borracha consta com: ensaio de penetração, ponto de fulgor, recuperação elástica, ponto de amolecimento, viscosidade e extração por refluxo do tipo "soxhlet". Neste item, os fundamentos teóricos dos ensaios realizados na pesquisa serão apresentados, bem como as normas utilizadas em sua execução.

### 2.1. Ensaio de Penetração

O valor de penetração é obtido por meio de um aparelho conhecido como penetrômetro (Figura 1). O ensaio, regido pelo DNIT 155/2010, consta na liberação de uma agulha padronizada, sob uma carga de 100 g, que penetra na amostra a uma temperatura de 25°C pelo período de 5 segundos. Com isso, o valor obtido representa a profundidade de penetração, expressa em décimos de milímetros, pela agulha. Tal ensaio representa a dureza do material, de modo em que menores resultados representam menor penetração e, com isso, maior consistência da amostra, módulo de elasticidade e resistência ao cisalhamento.



Figura 1. Penetrômetro utilizado para a realização do ensaio de penetração.

## 2.2. Ensaio de ponto de amolecimento

O ensaio de ponto de amolecimento (Figura 2), ou anel e bola, visa medir a consistência do asfalto-borracha a partir da temperatura máxima de serviço. O resultado obtido informa a temperatura do ponto de amolecimento da amostra em que o material torna-se fluido, não devendo ser utilizado para a pavimentação. A instrução normativa do ensaio é a DNIT 131/2010. A diferença entre os ensaios de penetração e ponto de amolecimento é o comportamento do ligante em relação à temperatura, sendo o primeiro em temperatura ambiente e o último em altas temperaturas.

A fim de se realizar o ensaio, o material é distribuído em dois discos com dimensões pré definidas pela norma e colocado sobre o conjunto. Duas esferas de aço são posicionadas sobre o material e, logo após, todos os elementos são levados a um copo béquer com água. O conjunto é levado até o fogo e a temperatura do mesmo deve ser elevada em uma razão de 5°C/min. Ao longo do tempo, o asfalto-borracha se deforma devido ao peso da esfera e do calor até o momento em que toca o fundo do suporte. A temperatura obtida neste momento é registrada e tem o nome de temperatura de amolecimento.

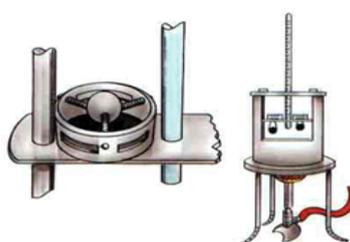


Figura 2. Esquema de funcionamento do ensaio de ponto de amolecimento (Bernucci et al. 2008)

## 3. MÉTODO DA PESQUISA

A sequência da pesquisa realizada está detalhada pelos subitens a seguir e engloba as consecutivas etapas: preparar as amostras de asfalto-borracha, realizar o ensaio de penetração, realizar o ensaio de ponto de amolecimento e analisar os resultados obtidos.

### 3.1. Preparação das amostras

O estudo foi realizado no Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais (LSTM) do Instituto Federal de Santa Catarina/Campus Florianópolis. As amostras de AMB foram doadas há cerca de três anos por uma empresa responsável pela construção de uma importante rodovia federal do estado de Santa Catarina. Desde o recebimento das amostras até a realização da atual pesquisa o material foi acondicionado em latas metálicas sendo acondicionado no depósito do LSTM.

Para a condução dos ensaios propostos a amostra foi preparada em conformidade com as normas NBR 14883/2002 (Petróleo e produtos de petróleo – amostragem manual). O asfalto borracha usado neste trabalho é do tipo terminal blending, ou seja, a incorporação da borracha foi feita pelo processo de via úmida. Assim, a classificação deste material deve ser feita pela norma DNIT 111/2009 (Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo de via úmida). Já os ensaios de caracterização física foram realizados com base nas normas DNIT 155/2010 (Material asfáltico – determinação da penetração) e DNIT 131/2010 (Material asfáltico – determinação do ponto de amolecimento – método anel e bola).

Para isso, o material foi aquecido a temperatura máxima de 135°C na estufa até tornar-se fluido. Durante o processo, o asfalto-borracha sofreu agitação constante por até 30 minutos de maneira a aquecê-lo uniformemente. Por fim, a amostra foi transferida para os moldes do ensaio de amolecimento e para a cápsula utilizada no ensaio de penetração (Figura 3).



Figura 3. Moldagem de corpos de prova dos ensaios.

A referência usada para classificação do asfalto borracha desta pesquisa foi feita com base na tabela apresentada na norma DNIT 111/2009, mostrada na Tabela 1.

Tabela 1. Especificações do asfalto borracha “terminal bleeding” (DNIT 111/2009).

Características	Unid.	Asfalto Borracha	
		Tipo AB 8	Tipo AB 22
Penetração, 100g, 5s, 25°C	0,1mm	30-70	30-70
Ponto de Amolecimento, min, °C	°C	55	57
Viscosidade Brookfield, 175°C, 20rpm, Spindle 3	cP	800-2000	2200-4000
Ponto de Fulgor, min	°C	235	235
Recuperação Elástica Ductilômetro, 25°C, 10 cm, min	%	50	55
Estabilidade à estocagem, máx	°C	9	9
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C:			
- Variação em massa, máx.	%	1	1
- Variação do Ponto de Amolecimento, máx	°C	10	10
- Porcentagem de Penetração Original, mín.	%	55	55
- Porcentagem da Recuperação Elástica Original, 25°C 10cm, mín.	%	100	100

### 3.2. Ensaio de penetração

A cápsula utilizada no ensaio possuía as dimensões de 55 mm x 35 mm, conforme a norma DNIT 155/2010. Logo após o ligante ser colocado no recipiente e protegido com a tampa, o conjunto foi mantido em temperatura ambiente para seu resfriamento. Por fim, a cápsula se manteve durante 90 minutos no banho-maria com a temperatura de 25°C. A etapa está detalhada na Figura 4.

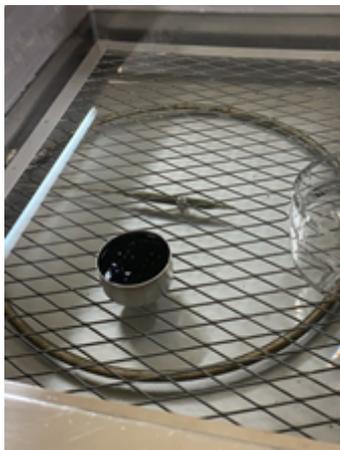


Figura 4. Amostra no banho-maria.

O penetrômetro, calibrado cuidadosamente, foi instalado de forma a possibilitar o movimento da haste sem fricções. Já a agulha e a haste respeitavam as massas e dimensões da norma utilizada. Na realização do ensaio para asfalto-borracha o conjunto de penetração tinha massa total de 100 g. Para realização do ensaio, a cápsula contendo a amostra foi inserida na cuba de transferência e posicionada no penetrômetro. A ponta da agulha estava em contato com o ligante sem exercer pressão no mesmo. Por fim, com o relógio do aparelho zerado, a agulha foi liberada por 5 segundos a fim de penetrar na amostra e o valor da penetração, presente no relógio do aparelho, foi anotado. Observe na Figura 5 o aspecto superficial rugoso da amostra após o ensaio de penetração decorrente da presença de borracha.

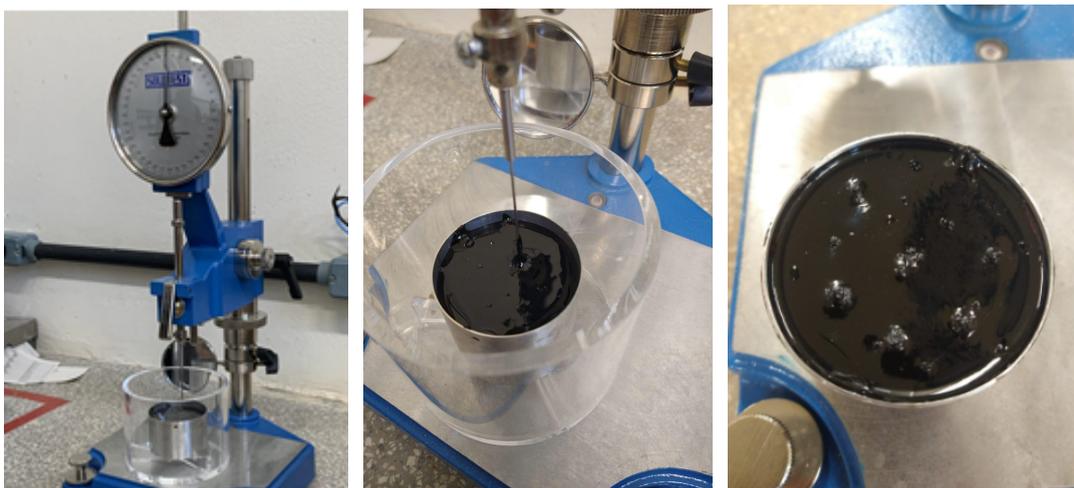


Figura 5. Condução do ensaio de penetração em AMB.

### 3.3. Ensaio de ponto de amolecimento

O ensaio teve duração máxima de 240 minutos, respeitando a norma DNIT 131/2010, entre o enchimento dos anéis até o seu fim. Os anéis, preenchidos com a amostra, foram posicionados no suporte de forma em que sua borda inferior estivesse entre 13 mm a 19 mm do fundo do béquer e 25,4 mm da placa de referência. Logo após, as guias das esferas foram colocadas nos anéis, o

termômetro foi inserido no conjunto e o mesmo foi inserido no béquer. As esferas foram posicionadas no fundo do béquer e o aparelho foi levado a um banho de 5°C por 15 minutos. Posteriormente, as esferas foram colocadas sobre os anéis e o conjunto foi aquecido a uma taxa de 5°C/min. No instante em que o ligante, envolvendo a esfera, tocou a placa inferior, foi registrada a temperatura de amolecimento do material. Essa etapa foi realizada com os dois anéis. É possível visualizar na Figura 6 uma superfície mais rugosa do AMB quando comparada com uma amostra de CAP. Estes pequenos grumos observados são decorrentes da incorporação da borracha. Na Figura 7 percebem-se detalhes do corpo de prova asfáltico sendo deformado pelo peso da esfera e seu posterior deslocamento em direção ao fundo do béquer.



Figura 6. Preparação para o ensaio de ponto de amolecimento em AMB.



Figura 7. Condução do ensaio de ponto de amolecimento em AMB.

#### 4. RESULTADOS

Durante o ensaio de penetração no AMB foram feitas três leituras, respeitando a diferença máxima de valores entre elas, da penetração da agulha em decímetros de milímetro (0,1 mm). Com isso, foi calculada a média dos valores de penetração da agulha na amostra exposta por 5 segundos a uma carga de 100 g. As leituras registradas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do ensaio de penetração.

Determinações	Penetração em décimo de milímetro (0,1mm)
1	75
2	74
3	73
Média	74

Observe que mesmo com cuidados necessários para preparação das amostras e condução do ensaio o valor médio obtido de penetração (0,1 mm) foi de 74. Confrontando-se com os valores especificados na Tabela 1 não foi possível classificar o material como um AMB-8 ou um AMB-22. O valor da penetração obtido nesta pesquisa foi superior e fora do intervalo estipulado pela norma DNIT 111/2009.

A temperatura de amolecimento da amostra, obtida ao toque do material na placa inferior do béquer durante o ensaio de ponto de amolecimento, é exibida na Tabela 3. Conforme exigência normativa, o valor encontrado nos dois anéis deve respeitar a diferença máxima de temperatura de 1°C.

Tabela 3. Resultados do ensaio de penetração.

Anéis	Temperatura (°C)
1	49,0
2	51,0

No caso analisado, a temperatura de amolecimento do asfalto-borracha desta pesquisa é em torno de 50°C. Neste ensaio também não foi possível atingir as temperaturas mínimas estipuladas na norma DNIT 111/2209. O ensaio foi repetido três vezes e os valores encontrados foram similares. Além disso, como é possível observar na Figura 7, houve um comportamento errático dos corpos de prova durante o amolecimento e tocavam a placa inferior do béquer em tempos distintos, com diferenças grandes entre as temperaturas.

Comparando-se os resultados encontrados nos ensaios de classificação propostos com as especificações técnicas apresentadas na Tabela 1, é possível verificar que a amostra não se encaixa nos parâmetros de caracterização. Assim, não foi possível classificar a amostra de asfalto borracha desta pesquisa porque o material utilizado não atendeu às exigências prescritas pelas normas. Recorda-se que este ligante já foi utilizado em pavimentação de obra pública e atendia as especificações de comportamento. Uma possível explicação para as divergências dos resultados obtidos no presente momento deve ter relação com a estocagem do material. Sabe-se que dispositivos para depósito do asfalto borracha devem ser capazes de manter a temperatura próxima da fluidez para o uso e, o controle deve ser feito com sensores especiais de medição de modo a evitar o superaquecimento. Além disso, deve ter agitadores mecânicos para recirculação do ligante asfáltico. E o tempo de estocagem deve ser o menor possível, pois o contato do ligante com ar provoca oxidação, endurecimento e envelhecimento durante a estocagem.

## 5. CONCLUSÕES

Após a realização dos ensaios de penetração e ponto de amolecimento propostos nesta pesquisa não foi possível obter com base na norma DNIT 111/2009 uma classificação técnica adequada para o asfalto borracha empregado no trabalho.

Conclui-se que tal fato ocorreu devido a falha na estocagem do material feita no LSTM. Como dito, o material foi doado por uma empresa de pavimentação há três anos. Desde então o material foi acondicionado em latões metálicos e depositados sem controle de temperatura e agitação constante permanecendo estático no depósito do laboratório. Estes problemas de estocagem do

ligante afetou suas propriedades reológicas de forma que os resultados obtidos nos ensaios ficaram divergentes daqueles apresentados nas normativas para classificação do material. Ressalta-se assim, a relevância do controle de temperatura dos depósitos dos ligantes em usinas asfálticas.

Contudo, entende-se que, paralelamente, esta pesquisa buscou reforçar a importância da realização de ensaios de caracterização física do material. Estes ensaios, além de serem usados para classificação, devem também ser empregados para o controle de qualidade indicando a aceitação ou rejeição do material asfáltico. Além disso, a condução do presente trabalho envolveu jovens pesquisadores nas etapas dos métodos laboratoriais supracitados, procurando despertar o interesse pela pesquisa científica e pela área de conhecimento.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa concedidas ao Instituto Federal de Santa Catarina/Campus Florianópolis.

## REFERÊNCIAS

BERNUCCI, L. B. *“Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros”*. Rio de Janeiro:PETROBRAS:ABEDA, 504f, 2008.

DNIT 095/2006-EM. *Cimento asfáltico de petróleo – Especificação de material*. Rio de Janeiro. 6 páginas. 2006.

DNIT 111/2009-EM. *Pavimentação flexível - Cimento asfáltico modificado por borracha de pneus inservíveis pelo processo de via úmida, do tipo “Terminal Blending” - Especificação de material*. Rio de Janeiro. 6 páginas. 2009.

DNIT 155/2010-ME. *Material asfáltico: Determinação de penetração - Método do ensaio*. Rio de Janeiro. 7 páginas. 2010.

DNIT 131/2010-ME. *Material asfáltico: Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola*. Rio de Janeiro. 76 páginas. 2010.

NBR 14883/2002. *Petróleo e produtos de petróleo – Amostragem manual*. Rio de Janeiro. 26 páginas. 2002.

ODA, Sandra; NASCIMENTO, Luiz Alberto; EDEL, Guilherme. *Aplicação de asfalto borracha na bahia*. 3. Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005.

ROSA, Ana Paula Gonçalves; SANTOS, Roberto Aguiar dos; CRISPIM, Flávio Alessandro; RIVA, Rogério Dias Dalla. *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, novembro, 2012. Disponível em: < [http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art4\\_N20.pdf](http://www.editoradunas.com.br/revistatpec/Art4_N20.pdf) >. Acesso em: 07 abr. 2022.