

## ENSAIOS DE PENETRAÇÃO E PONTO DE AMOLECIMENTO PARA CARACTERIZAÇÃO DE LIGANTES ASFÁLTICOS

Fabio 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** – O modal rodoviário tem a maior participação nos transportes de pessoas e cargas no Brasil. A maioria das rodovias do país tem como tipo de revestimento a pavimentação asfáltica. O pavimento asfáltico apresenta uma mistura de agregados pétreos de diversos tamanhos sendo aglutinados e mantidos unidos com a introdução de um ligante asfáltico (normalmente, o Cimento Asfáltico de Petróleo ou CAP). A presente pesquisa trata da caracterização de cimento asfáltico de petróleo através dos ensaios de penetração e ponto de amolecimento. Ao final dos ensaios foi possível classificar a amostra como um CAP 50/70. Os resultados mostraram a importância da condução dos ensaios de laboratório em ligantes asfálticos fornecendo informações para um melhor entendimento das propriedades dos mesmos.

**Abstract** – The roads have the largest share for transporting people and cargo in Brazil. Most highways in the country have asphalt pavement material as coating. Asphalt pavement presents a mixture of stone aggregates with different sizes, bonded and held together through asphalt binder introduction (usually Petroleum Asphalt Cement or CAP). The actual research presents the characterization of petroleum asphalt cement through penetration and softening point tests. At the end of the tests it was possible to classify the sample as a CAP 50/70. The results show the importance of conducting laboratory tests on asphalt binders meaning to provide information for a better understanding of its properties.

**Palavras-Chave** – Asfaltos; ensaios de laboratório; classificação de cimento asfáltico.

---

<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@gmail.com

<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

Os ligantes asfálticos são empregados como materiais de construção há milhares de anos. Inicialmente eram explorados em jazidas naturais onde o betume era utilizado como material impermeabilizante e combustível. Atualmente, o uso na pavimentação é o mais importante. Na maioria dos países, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento das estradas.

O asfalto utilizado na pavimentação é um ligante betuminoso que provém da destilação do petróleo cru. Quando um asfalto se enquadra em determinada classificação relacionada com suas propriedades físicas ele é denominado de Cimento Asfáltico de Petróleo ou CAP. O asfalto é caracterizado por ser um material semi-sólido, com propriedade termoviscoplastico, impermeável à água e pouco reativo (Bernucci et al., 2008). Para determinação das propriedades dos CAPs são empregados diversos ensaios de caracterização física, entre eles, destacam-se os ensaios de densidade relativa, penetração, viscosidade, ponto de fulgor, ponto de amolecimento, ductilidade e durabilidade. Nesta pesquisa realizaram-se ensaios de penetração e de ponto do amolecimento, em amostras de cimento asfáltico de petróleo moldadas em laboratório. O objetivo principal consistiu em caracterizar fisicamente o ligante asfáltico, de modo a obter um melhor entendimento do comportamento mecânico da amostra visando contribuir para a elaboração de projetos de pavimentação mais seguros e econômicos.

## 2. ENSAIOS EM LIGANTES

O CAP é uma mistura química complexa cuja composição varia com o petróleo e com o processo de produção. Do seu peso molecular, mais de 95% são hidrocarbonetos e 5 a 10% de heteroátomos. Para ser usado na pavimentação deve ser aquecido e, por isso, relações entre suas viscosidades e temperaturas são fundamentais para um bom projeto de pavimentos. A partir de 2005, a Agência Nacional de Petróleo (ANP) indica que as especificações para classificação dos CAPs brasileiros devem ser baseadas nos resultados dos ensaios de penetração de agulha, ponto de amolecimento, viscosidade e durabilidade. Dessa forma, os cimentos asfálticos no Brasil são divididos nos seguintes grupos: CAP 30-45, CAP 50-70, CAP 85-100, e CAP 150-200. Neste item serão apresentados os fundamentos teóricos dos ensaios de laboratórios conduzidos no presente trabalho, bem como a especificação brasileira de cimento asfáltico de petróleo.

### 2.1. Ensaio de Penetração

O ensaio de penetração consiste na medição da profundidade, em décimos de milímetros, que uma agulha padronizada, de 100g, penetra na amostra (com volume definido), durante o tempo de 5s, na temperatura de 25°C. A penetração é utilizada para a classificação dos CAPs no Brasil. Por exemplo, para um CAP/30-45, a agulha padrão deve penetrar na amostra a uma profundidade de 30 a 45 décimos de milímetro (Figura 1). O ensaio de penetração mede a consistência do material (a dureza), de forma que, quanto menor for a penetração da agulha, maior a consistência da amostra analisada, o que reflete em maior resistência ao cisalhamento e no módulo de elasticidade. O ensaio é regido pelo DNIT 155/2010.

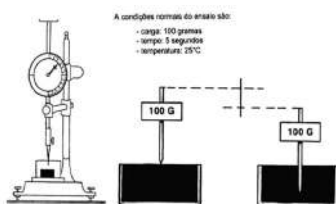


Figura 1. Esquema de funcionamento do ensaio de penetração (Bernucci et al. 2008)

## 2.2. Ensaio de ponto de amolecimento

O ensaio de ponto de amolecimento, conhecido como anel e bola, também é um ensaio que avalia a consistência do asfalto. Porém, ele é voltado para o comportamento do ligante à certa temperatura máxima de serviço, enquanto o ensaio de penetração o avalia na temperatura ambiente. No Brasil, a instrução normativa é a DNIT 131/2010. Neste ensaio, mede-se a temperatura que a amostra de CAP sofre o amolecimento, num processo de escoamento, em condições específicas. A temperatura resultante neste ensaio está relacionada com a máxima temperatura de serviço a que o asfalto pode chegar, ou seja, uma dada temperatura que o asfalto começa a fluir, não apresentando mais condições para manter um desempenho satisfatório do pavimento.

Para realizar o ensaio, moldam-se dois discos de asfalto dentro do molde de anel e, a seguir, posiciona-se duas esferas de aço no seu centro. O conjunto é imerso em água dentro de um copo béquer. A temperatura é elevada a uma razão de 5°C/min (Figura 2). Com o aumento da temperatura da água, ocorre a elevação conjunta da temperatura da amostra de CAP e, com o peso da esfera, a amostra se deforma até encostar-se ao fundo do suporte. Neste exato momento registra-se a temperatura de amolecimento.

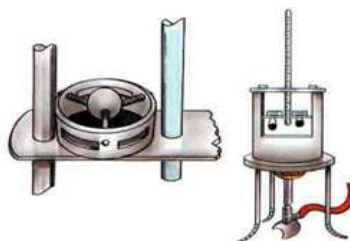


Figura 2. Esquema de funcionamento do ensaio de ponto de amolecimento (Bernucci et al. 2008)

Na Tabela 1 são mostradas as especificações dos cimentos asfálticos brasileiros através de diversos ensaios correntes de laboratório. Após a realização dos ensaios propostos, com base na norma DNIT 095/2006, será feita a classificação do material utilizado nesta pesquisa.

Tabela 1. Especificações dos cimentos asfálticos (DNIT 095/2006).

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES			
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200
Ponto de amolecimento	°C	52	46	43	37
Viscosidade Saybolt Furol	s				
a 135 °C, mín		192	141	110	80
a 150 °C, mín		90	50	43	36
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60
OU					
Viscosidade Brookfield	cP				
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81
a 177 °C, SP 21		76 - 285	57 - 285	28 - 114	28 - 114
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min					
Varição em massa, máx (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50

### 3. MÉTODO DA PESQUISA

A sequência desta pesquisa experimental está descrita nos subitens abaixo e consiste basicamente em: preparar as amostras de CAP, realizar o ensaio de penetração, realizar o ensaio de ponto de amolecimento e, por fim, análise dos resultados.

#### 3.1. Preparação das amostras

O presente estudo foi conduzido no Laboratório de Solos e Tecnologia dos Materiais do Instituto Federal de Santa Catarina/Campus Florianópolis. Após o recebimento das amostras de asfalto, havia a necessidade de proceder a sua classificação de acordo com os ensaios supracitados. Desta forma, as preparações das amostras foram feitas de acordo com os procedimentos das normas NBR 14883/2002 (Petróleo e produtos de petróleo – amostragem manual), DNIT 095/2006 (Cimento asfáltico de petróleo – especificação de material) e, com base nas recomendações da norma DNIT 155/2010 (Material asfáltico – determinação da penetração) e DNIT 131/2010 (Material asfáltico – determinação do ponto de amolecimento – método anel e bola).

Nas imagens a seguir pode-se observar o aquecimento do material em estufa até torná-lo fluido. O aquecimento foi feito com agitação constante para evitar aquecimento localizado e obter-se um material homogêneo, num tempo máximo de 30 minutos. A maior temperatura da estufa nesta etapa foi de 135°C. Após aquecimento, o material foi transferido para cápsula do ensaio de penetração e, no caso do ensaio de amolecimento, para os moldes de anéis (Figura 3).



Figura 3. Moldagem de corpos de prova dos ensaios.

### 3.2. Ensaio de penetração

Respeitando as prescrições da norma DNIT 155/2010, o recipiente do ensaio (cápsula) possuía 35mm de profundidade e as dimensões mínimas conforme penetração prevista para o ligante. Após a colocação da tampa, deixou-se a amostra resfriar em temperatura ambiente e, anteriormente à realização do ensaio propriamente dito, o recipiente foi levado ao banho-maria por 25°C durante noventa minutos. Na Figura 4 mostram-se estes detalhes.



Figura 4. Amostra no banho-maria.

O penetrômetro utilizado estava calibrado de modo a fornecer resultados confiáveis. A haste e a agulha respeitavam as dimensões e massas citadas na norma. Nesta situação a massa total do conjunto de penetração (haste + agulha) foi de 100 gramas. O recipiente com a amostra foi colocado na cuba de transferência e a amostra foi posicionada no penetrômetro de modo que a ponta da agulha ficasse em contato com a mesma, porém, sem exercer pressão. Por fim, com o relógio do penetrômetro zerado, foi liberada a trava do conjunto de penetração por 5 segundos, deixando-se penetrar livremente a agulha na amostra e, anotando-se o valor de penetração lido no relógio do equipamento. Esse procedimento foi repetido por pelo menos três vezes. A seguir são mostradas algumas imagens dessas etapas.



Figura 5. Condução do ensaio de penetração em CAP.

### 3.3. Ensaio de ponto de amolecimento

Com base na norma DNIT 131/12010, respeitou-se o tempo de 240 minutos entre o enchimento dos anéis (Figura 3) e o final do ensaio. Os anéis foram posicionados horizontalmente no suporte, de modo que a sua borda inferior ficasse a 25,4mm da placa de referência e a aproximadamente 15mm do fundo do béquer. Foram colocadas as guias das bolas sobre os anéis e introduzido o conjunto no béquer que foi mantido numa temperatura de 5°C por 15 minutos conforme preconiza a respectiva normativa. Posteriormente, foi colocada uma bola em cada anel e promoveu-se o aquecimento do conjunto numa taxa de 5°C/min. Com o termômetro posicionado entre os anéis foi possível registrar a temperatura de amolecimento no instante em que o material que envolve a bola tocou a placa inferior. Nas Figuras 6 e 7 observa-se etapas do ensaio.



Figura 6. Posicionamento das bolas nos anéis do ensaio.

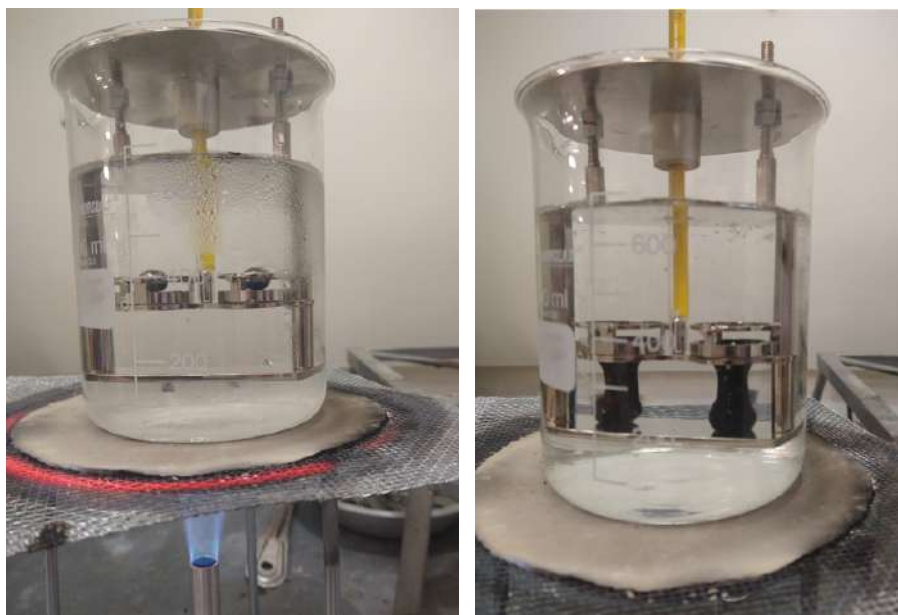


Figura 7. Condução do ensaio de ponto de amolecimento em CAP.

#### 4. RESULTADOS

Após a realização dos ensaios foi possível classificar o CAP com base nas especificações apresentadas na Tabela 1. Para o ensaio de penetração foram feitas leituras da penetração da agulha em décimos de milímetro (0,1 mm). Respeitando-se as diferenças máximas entre o valor mais alto e o mais baixo, calculou-se a média dos valores das penetrações da agulha, com carga de 100 gramas, temperatura de 25°C e acionamento por 5 segundos. As leituras registradas nesta pesquisa encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Resultados do ensaio de penetração.

Determinações	Penetração em décimo de milímetro (0,1 mm)
1	66,5
2	66,1
3	66,2
Média	66,3

A partir dos resultados dos ensaios de penetração classificou-se o ligante analisado nesta pesquisa como CAP 50/70.

No caso dos ensaios de ponto de amolecimento mostra-se na Tabela 3 os valores de temperatura registrados quando o material que envolvia as bolas tocar a placa inferior no fundo do béquer.

Tabela 3. Resultados do ensaio de penetração.

Anéis	Temperatura (°C)
1	49,0
2	49,2

Neste caso, a temperatura de amolecimento do material do estudo é de 49°C. Observando-se o valor obtido e comparando-o com os valores da Tabela 1, verificou-se ter obtido

um valor de temperatura um pouco superior ao indicado. Porém, a referida tabela aponta valores de temperatura de amolecimento para o CAP 30/45 (a próxima classificação com temperatura mais elevada) de 52 °C, enquanto que, para CAP 50/70 indica 46°C. Logo, entende-se que o valor obtido neste trabalho é pouco superior, mas, não atinge o valor necessário para CAP 30/45, ficando-se dentro do intervalo necessário para o material ser classificado como um CAP 50/70. Uma explicação para esta diferença pode estar associada à mudança de propriedades reológicas provocadas pelo tempo de estocagem no laboratório e pela oxidação do ligante devido a exposição ao ar, provocando um envelhecimento e enrijecimento do material. Mesmo assim, fica confirmada a classificação obtida anteriormente na penetração, ou seja, o material é classificado como um CAP 50/70.

Com os resultados obtidos foi possível calcular o Índice de Suscetibilidade Térmica (IST). Este índice é importante porque é desejável que o ligante apresente pequenas variações nas propriedades mecânicas durante as variações das temperaturas de serviços no qual estão submetidos. O IST é determinado conforme equação mostrada abaixo. De acordo com a Tabela 1 apresentada em DNIT 095/2006, o IST dos asfaltos brasileiros deve ficar no intervalo de -1,5 a +0,7. No caso deste trabalho, com os valores obtidos no ensaio de penetração e amolecimento, obteve-se um IST de -0,9, ou seja, trata-se de um cimento asfáltico adequado para uso em pavimentação.

$$IST = \frac{500\log(P) + 20PA - 1951}{120 - 50\log(P) + PA}$$

$$IST = \frac{500\log(63,3) + 20(49) - 1951}{120 - 50\log(63,3) + 49} = -0,90$$

Sendo:

P = penetração em decímetro de milímetros (0,1 mm)

PA = Ponto de amolecimento (°C)

## 5. CONCLUSÕES

Com a condução dos ensaios laboratoriais em amostra de um cimento asfáltico de petróleo foi possível obter sua classificação técnica a partir das especificações prescritas em normativas pertinentes. Com a análise dos dados obtidos na realização do ensaio de penetração chegou-se a classificação de um CAP 50/70. E a partir do ensaio de ponto de amolecimento verificou-se que a temperatura registrada encontra-se dentro do intervalo tolerável para o mesmo CAP 50/70. O índice de suscetibilidade térmica calculado encontra-se dentro do intervalo especificado pela norma DNIT 095/2006

Normalmente os ligantes asfálticos possuem boas propriedades para uso em pavimentação. Porém, houve aumento no fluxo de mercadorias do país e mudanças nas configurações geométricas dos veículos refletindo em maiores cargas aplicadas no revestimento. Esse aumento tem levado a uma deterioração da malha rodoviária brasileira (CNT, 2014)

Esta pesquisa cumpriu o objetivo proposto, e buscou alastrar a compreensão sobre os ligantes asfálticos através da caracterização física de suas propriedades. A realização do presente trabalho envolveu jovens pesquisadores nas etapas dos métodos laboratoriais supracitados e ressalta a importância da investigação dos parâmetros físicos dos materiais asfálticos.

Cita-se que na concepção de estruturas asfálticas, a investigação das propriedades dos ligantes asfálticos é um parâmetro determinante para definição da melhor alternativa ao pavimento quando se refere ao seu comportamento mecânico. Os resultados obtidos irão contribuir para os revestimentos exibirem um melhor desempenho e, que sejam usadas técnicas construtivas mais avançadas aumentando a vida útil dos pavimentos.



## 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.

CNT, Confederação Nacional de Transportes/Plano Nacional de Transportes e Logísticas. Brasília. 725p. 2014

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

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.