



## IMPACTO DE DIFERENTES MATRIZES BETUMINOSAS NOS PARÂMETROS VOLUMÉTRICOS E MECÂNICOS DE MISTURAS ASFÁLTICAS DENSAS

*Breno Salgado Barra<sup>1</sup>, Yader Alfonso Guerrero Pérez<sup>2</sup>, Daniel Hastenpflug<sup>3</sup>, Lilian Kethelyn Brum Maciel Rodrigues<sup>4</sup>, Ruan Marcos Xavier<sup>5</sup>*

*<sup>1-5</sup> Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville,  
breno.barra@ufsc.br, yagcivil@gmail.com, daniel.h@ufsc.br,  
lilian\_kethelyn@hotmail.com, ruanmx97@gmail.com*

### RESUMO

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o impacto de diferentes matrizes betuminosas no comportamento mecânico de misturas asfálticas densas. Os agregados utilizados são provenientes de jazida localizada na região metropolitana de Joinville. Os ligantes considerados são Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) classificados por penetração como: 10/20, 30/45 e 50/70. A caracterização dos materiais foi realizada. A curva granulométrica foi calculada pela equação de Fuller-Talbot. Para a dosagem das misturas asfálticas foi utilizada a metodologia Marshall, oficialmente homologada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Com base na campanha experimental realizada, os resultados obtidos indicam que as características intrínsecas de cada ligante asfáltico são preponderantes quanto à influência na dosagem e no desempenho mecânico das misturas asfálticas, em que quanto menor a classificação por penetração dos ligantes betuminosos testados, melhores foram os resultados obtidos quanto às propriedades volumétricas e mecânicas dos materiais. Além disso, verificou-se que o ensaio Marshall mostra-se muito deficiente do ponto de vista técnico como metodologia a ser utilizada na determinação paramétrica dos teores ótimos de dosagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** ligantes asfálticos, metodologia Marshall, dosagem, misturas asfálticas densas.

### ABSTRACT

*The main aim of this paper is to assess the impact of different bituminous matrixes on the mechanical behavior of dense asphalt mixes. The granular fractions are provided from a quarry located in the metropolitan region of Joinville. The bituminous binders are classified by penetration as 10/20, 30/45 and 50/70. The characterization of the materials was carried out. The granulometric curve was formulated with use of Fuller-Talbot's equations. The dosages of the asphalt mixes were determined taking into account the parameters of the Marshall methodology, officially homologated by the Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Based on the experimental campaign carried out, the results obtained indicate that the intrinsic characteristics of each asphalt binder are decisive on the dosage parameters and on the volumetric and mechanical performance of the asphalt mixes, in which the lower the penetration of the asphalt binder, the better the results obtained regarding the mechanical properties of the materials. Furthermore, it was verified that Marshall test is very deficient from technical point of view as a methodology to be used to parametrically determine optimum binder contents.*

**KEYWORDS:** asphalt binders, Marshall methodology, dosage, dense asphalt mixes.



## 1. INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário brasileiro é atualmente o principal meio de transporte no país, tanto para pessoas quanto mercadorias. Sua ampla flexibilidade e acessibilidade traz comodidade aos usuários, garantindo o ir e vir de onde e para onde quiserem. Porém, o crescimento acelerado da demanda das rodovias não foi acompanhado pelos investimentos necessários para sua ampliação, manutenção e aporte tecnológico, resultando em uma malha degradada e tecnicamente defasada em diversas regiões do país (QUINTERO, 2016; BARRA, 2009; MOMM, 1998).

Os pavimentos são, na maior parte das vezes, a principal problemática percebida pelos usuários ao trafegar nas rodovias. Quando mal dimensionados ou dosados, no caso das misturas asfálticas, podem causar desconforto e insegurança, gerando situações mais suscetíveis a acidentes. A má execução ou concepção do projeto das misturas asfálticas reflete diretamente na qualidade da superfície das camadas de revestimento, a partir do surgimento de buracos, fissuras, deformações, entre outros defeitos. Dessa forma, fazem-se necessários estudos mais aprofundados das propriedades físicas e mecânicas das misturas asfálticas, para que se possa então dimensionar pavimentos de melhor qualidade (BERNUCCI *et al.*, 2006; MOTTA, 2011).

No caso das misturas asfálticas, o conjunto de uma matriz granulométrica bem formulada aliada a um ligante betuminoso dosado na proporção correta e com boas características viscoelásticas constituem os componentes principais capazes de resistir aos esforços mecânicos solicitantes ao longo da vida útil dos pavimentos (BARRA, 2005). Quando se tem qualidade, controle e o correto conhecimento das propriedades dos materiais durante a produção das misturas asfálticas, garante-se o bom comportamento mecânico dos pavimentos (ZAGOLIN, 2016).

A metodologia Marshall (DNER-ME 043, 1995) é a utilizada no Brasil para a dosagem de misturas asfálticas, a qual é oficialmente homologada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Neste contexto, a presente pesquisa consiste na avaliação de misturas asfálticas densas formuladas com diferentes matrizes betuminosas, de acordo com os princípios da metodologia Marshall. Manteve-se em cada um dos traços a mesma curva granulométrica e, assim, a análise teve enfoque unicamente na influência de cada tipo de cimento asfáltico de



petróleo utilizado (CAP – 10/20, 30/45 e 50/70) nos parâmetros volumétricos e mecânicos de dosagem.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais pétreos selecionados foram obtidos da britagem de maciço rochoso granítico, em jazida localizada na região metropolitana de Joinville, em que os ensaios de caracterização são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do material pétreo

Ensaio	Norma	Resultados	Limites normativos
Abrasão Los Angeles (%)	DNER-ME 035 (1998)	17,5%	Máximo 50%
Equivalente de areia	DNER-ME 054 (1997)	78,0%	-
Absorção	-	0,5%	-
Adesividade ao ligante betuminoso	DNER-ME 078 (1994)	Má	-
Durabilidade (%)	DNER-ME 089 (1994)	5,30%	Máximo 12%
Índice de Forma	ABNT NBR 7809 (2006)	0,60	Mínimo 0,5
Absorção (%)	DNER-ME 081 (1998)	0,36	-

Fonte: Autores (2020)

Para a composição da curva granulométrica utilizou-se a curva proposta por Barra (2009) (Figura 1), com base no método teórico, também denominado racional, a partir das equações (1) e (2) de Fuller-Talbot, fixando-se os parâmetros característicos da curva granulométrica que se deseja formular (diâmetro máximo ‘D’ – 19,1mm, percentual passante de partículas na malha de menor abertura da série ‘%p<sub>200</sub>’ - 0,075mm) em 6,0%, e expoente de graduação ‘n’ – 0,51), levando em conta a produção de frações individuais correspondentes a cada malha da série de peneiras escolhida pelo projetista, sem a necessidade de utilização de faixa granulométrica.

$$\%p = a.(d/D)^n \quad (1)$$

$$n = \log (\%p_{200}) - \log (100) / \log (0,075/D) \quad (2)$$

Em que ‘a’ é constante, tomada igual a 100 e ‘d’ abertura de uma dada peneira (mm).

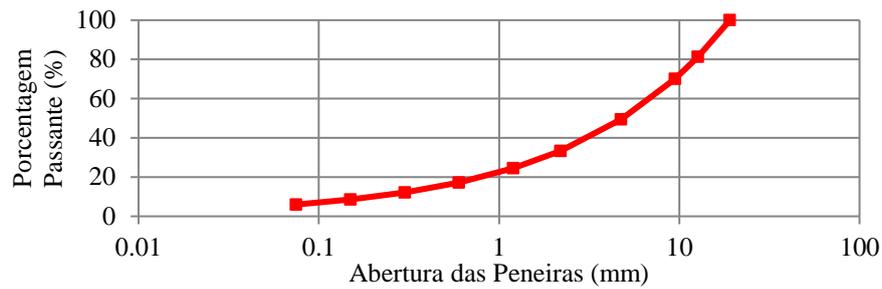


Figura 1 – Curva granulométrica utilizada na formulação das misturas asfálticas

Fonte: Barra (2009)

Os ligantes betuminosos, também denominados Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), utilizados nas formulações das misturas asfálticas possuem as seguintes classificações determinadas no ensaio de penetração (DNIT-ME 155, 2010): 10/20 (0,1mm), 30/45 (0,1mm) e 50/70 (0,1mm), todos em suas formas puras, em que o primeiro foi obtido de refinaria localizada em Araucária/PR, e os demais são provenientes de Paulínia/SP. A Tabela 2 apresenta os dados de caracterização das amostras estudadas, bem como a Figura 2 ilustra as curvas de viscosidade determinadas pelo método Saybolt-Furol (ABNT NBR 14950, 2003).

Tabela 2. Caracterização dos ligantes betuminosos

Ensaio	Ligante Betuminoso				Norma				
	10/20		30/45			50/70			
Penetração (0,1mm)	10		37		52	DNIT-ME 155 (2010)			
Ponto de Amolecimento (°C)	67		53		49	DNIT-ME 131(2010)			
IP Susceptibilidade Térmica	-0,8		-1,2		-1,5	ANP (2005)			
Viscosidade Saybolt-Furol	Temperaturas (°C)		Intervalo		Intervalo	ABNT NBR 14950 (2003)			
	Usinagem		171	177	152		158	148	153
	Compactação		160	165	139		145	137	142

Fonte: Autores (2020)

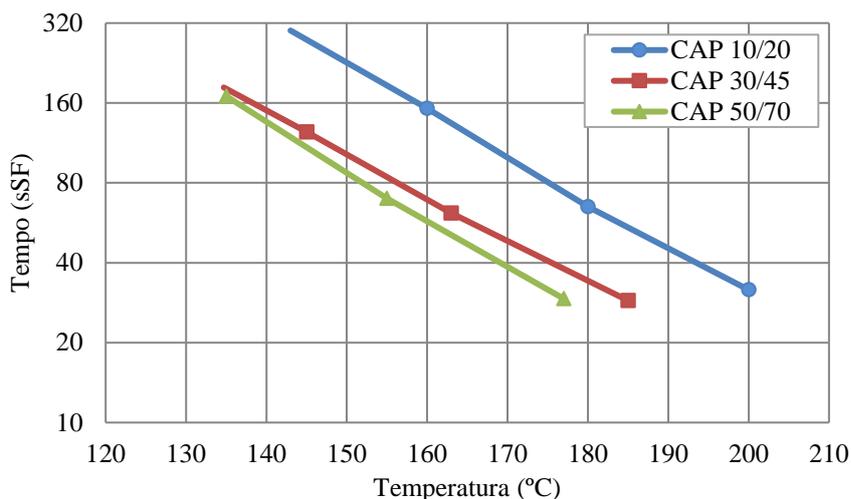


Figura 2 – Curvas de viscosidade dos ligantes betuminosos

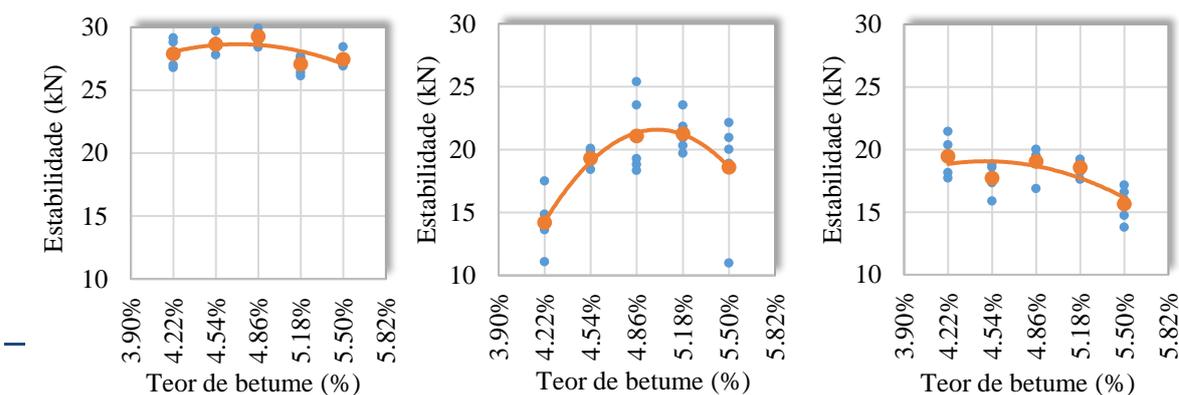
Fonte: Autores (2020)

Os teores ótimos de ligante das misturas asfálticas formuladas foram determinados com base na metodologia Marshall (DNER-ME 043, 1995), em que foram produzidos 25 corpos de prova para cada formulação, subdivididos em 5 unidades para cada teor testado, totalizando 75 corpos de prova analisados durante a pesquisa.

Para cada mistura asfáltica manteve-se a matriz granulométrica e variou-se apenas o tipo de ligante incorporado na formulação, a fim de que apenas esta variável fosse tomada em conta na avaliação dos resultados, em que os seguintes teores de betume foram testados em todos os casos, tendo como parâmetro o estudo desenvolvido por Barra (2009), a partir da utilização da mesma curva granulométrica: 4,22%, 4,54%, 4,86%, 5,18 % e 5,50%.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos estão compilados nos gráficos ilustrados no transcurso da Figura 3, em que à esquerda encontram-se os valores correspondentes ao CAP 10/20, ao centro o CAP 30/45, e à direita o CAP 50/70.



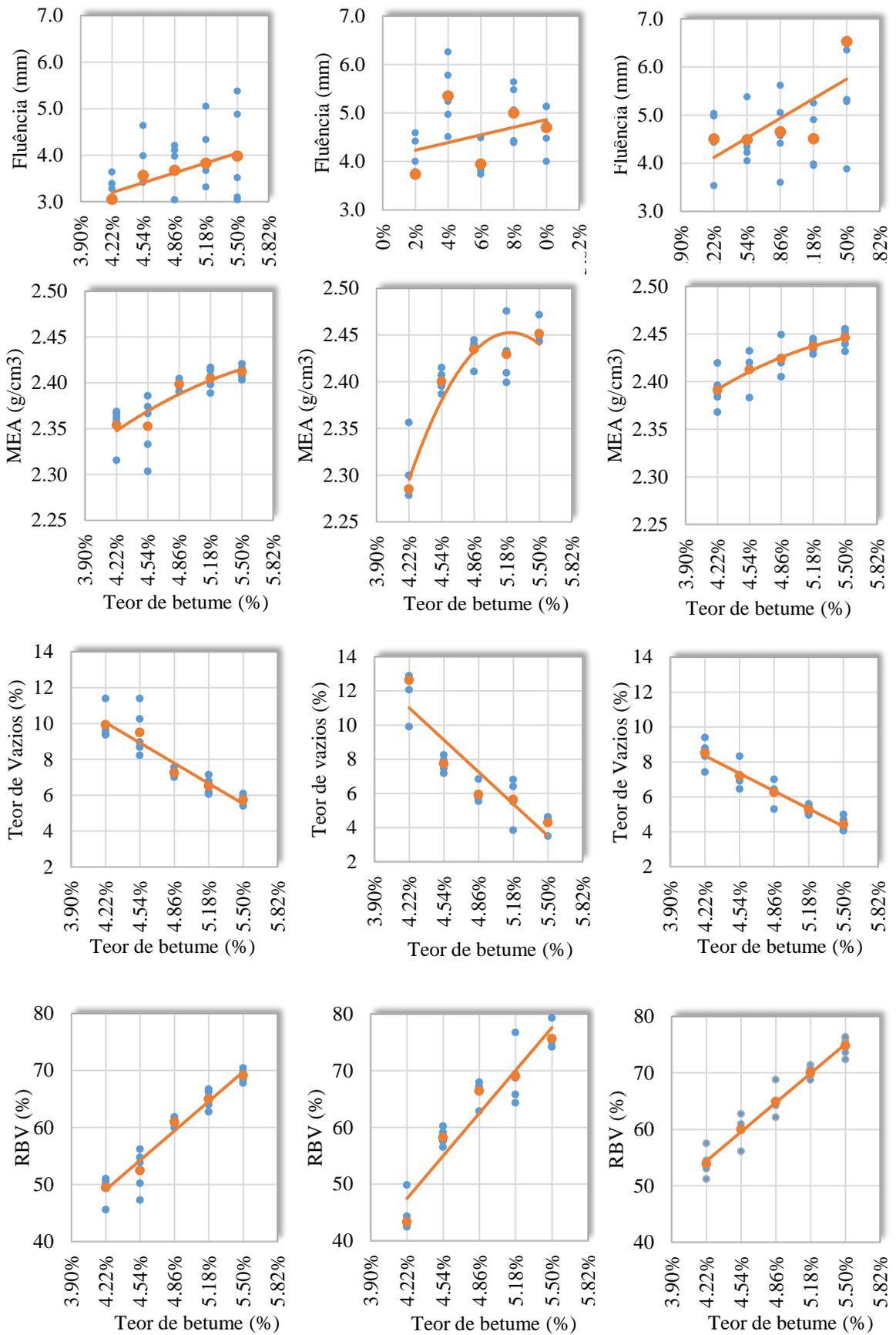


Figura 3 – Resultados dos parâmetros da dosagem Marshall para as formulações com:  
(esquerda) CAP 10/20, (centro) CAP 30/45 e (direita) CAP 50/70

Fonte: Autores (2020)

A curva de estabilidade do CAP 10/20 mostra valores máximos que tendem à faixa de teores de 4,54% a 5,18%. No entanto, durante o processo de produção das misturas, pôde-se perceber que aquela com 5,18% mostrou-se demasiadamente brilhosa, sendo um indicativo da presença de excesso de ligante.

Analisando-se a evolução do parâmetro de fluência, observa-se que pelo fato de ser uma reta de caráter crescente, tem-se que quanto menos ligante presente na mistura menor será este valor, denotando caráter menos deformável à formulação, a princípio, o que é desejável para pavimentos asfálticos.

Todavia, o teor de vazios encontrado para 4,54% de CAP 10/20 mostra-se muito próximo de 9%, considerado elevado para misturas densas. Dessa forma, optou-se pela adoção do teor ótimo de ligante como sendo 4,86%, onde a fluência observada é pouco superior àquela encontrada para 4,54% (3,7 mm e 3,6 mm, respectivamente), ao passo que o teor de vazios encontra-se próximo a 7,0%, o qual é tido como limítrofe para misturas densas, de acordo com DNIT (2006).

Já para as misturas formuladas a partir do CAP 30/45 tem-se, em um primeiro momento, durante a análise dos gráficos, o teor ótimo de 4,86% como a melhor escolha a ser feita, pois a estabilidade se aproxima do valor máximo, a fluência está em torno de 4,0 mm e o teor de vazios situado em torno de 6,0%. Fato este corroborado durante o procedimento de mistura do ligante com a matriz granular, em que pôde-se observar um bom envolvimento dos grãos, com boa trabalhabilidade, ao contrário da situação que compreendeu o teor de 4,54%, tendo sido percebido um procedimento de envolvimento dos grãos bastante trabalhoso, apresentando falhas de recobrimento em alguns pontos, indicando insuficiência de ligante na dosagem. Para os teores mais elevados, verificou-se além de um brilho excessivo na superfície, o escorrimento de ligante, denotando dosagem excessiva.

No caso do CAP 50/70, os comportamentos das curvas observadas nos gráficos apontam para um teor ótimo de 4,54%, onde se tem o valor máximo na curva de estabilidade, fluência com tendência ao valor de 4,6 mm e teor de vazios próximo a 7,0%.

Como efeito de comparação, Búrigo (2015) em sua pesquisa com misturas formuladas a partir de amostras dosadas com CAP 50/70, utilizando igual curva granulométrica à deste



trabalho, porém, variando a natureza dos agregados (rocha diabásica), obteve resultados finais que apontaram também o teor ótimo de ligante de 4,54%.

Para as formulações com CAP 30/45, o estudo desenvolvido por Eing (2018) utilizando a mesma curva granulométrica, natureza de materiais granulares (gnáissicos) e ligante betuminoso ao desta pesquisa, corroborou também o teor ótimo de 4,86%.

Neste contexto, a Tabela 3 a seguir resume os parâmetros físicos e mecânicos da metodologia Marshall para a determinação do teor ótimo de cada formulação testada.

Tabela 3 – Parâmetros de análise do ensaio Marshall

<b>Tipo de CAP</b>	<b>Estabilidade (kN)</b>	<b>Fluência (mm)</b>	<b>MEA (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Teor de Vazios (%)</b>	<b>RBV (%)</b>	<b>Teor Ótimo de Betume (%)</b>
10/20	29,29	3,7	2,398	7,3	61,0	4,86
30/45	19,31	4,0	2,400	6,0	58,2	4,86
50/70	17,72	4,6	2,412	7,2	60,0	4,54

Fonte: Autores (2020)

Ao realizar-se a comparação dos comportamentos mecânicos das misturas, dados os referidos teores ótimos de ligante determinados, pode-se perceber a influência exercida pelas suas propriedades. A estabilidade tem valores muito superiores nas amostras formuladas a partir do CAP 10/20. Esse fato pode ser explicado devido a sua elevada rigidez, motivada pela importante viscosidade que possui (Figura 2), situação confirmada pelos baixos valores apresentados de penetração e elevado ponto de amolecimento anel e bola, quando comparado aos demais tipos testados (Tabela 2), contribuindo decisivamente para maior resistência aos esforços solicitantes.

Em relação à característica de deformabilidade dos materiais, relacionados à fluência, observa-se que as formulações com o CAP 10/20 possuem menores níveis que aquelas dosadas com o CAP 30/45, que por sua vez deformam menos que as concebidas a partir do CAP 50/70. Esta tendência pode ser comprovada, além dos comparativos quanto às propriedades apresentadas na Tabela 2, pela observação da Figura 4, que apresenta corpos de prova dosados com o teor ótimo de ligante determinado nas análises realizadas, logo após o procedimento de ruptura, onde a formulação preparada com CAP 10/20 mostra-se com formato circular mais preservado que os demais.



Figura 4 – Corpos de prova após rompimento na prensa Marshall: (esquerda) CAP 10/20, (centro) CAP 30/45 e (direita) CAP 50/70

Fonte: Autores (2020)

Os gráficos da Figura 3 evidenciam ainda que a viscosidade tem forte influência sobre os vazios presentes nas misturas. Ligantes mais viscosos, como o CAP 10/20 e 30/45 tendem a apresentar maior dificuldade no envolvimento das partículas granulares, quando comparados ao CAP 50/70 no decorrer do processo de mistura durante a usinagem para um mesmo teor de ligante, influenciando assim diretamente as propriedades de teor de vazios e massa específica aparente (MEA). Esse fato corrobora com a escolha dos teores ótimos de ligante, em que o valor determinado para a mistura dosada com CAP 10/20 e CAP 30/45 (4,86%) é superior ao escolhido para o CAP 50/70 (4,54%), a fim de que possa garantir o completo envolvimento dos agregados.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa comprovam que o ligante betuminoso a ser utilizado na formulação de misturas asfálticas tem influência decisiva nas propriedades físicas e mecânicas destes materiais e, conseqüentemente, na determinação dos teores ótimos em cada caso, demonstrando que o trabalho atingiu o seu objetivo principal.

Desta forma, verifica-se que as misturas asfálticas herdam, de fato, o comportamento viscoelástico do ligante betuminoso que contêm, e de forma particular a cada matriz utilizada em sua formulação.

É importante ressaltar também que os resultados da metodologia Marshall não traduzem fielmente as condições de trabalho observadas na prática, sendo consequência da ausência de sensibilidade e empirismo do método quanto à análise acurada do comportamento viscoelástico das misturas asfálticas, onde o modo de compactação e ruptura dos corpos de prova e as condições operacionais do processo exercem são importantes na escolha do teor ótimo de trabalho, induzindo na maior parte das situações à indicação de quantidades maiores que as necessárias, devendo-se ter atenção por parte do operador quanto



à observação do aspecto do material nos procedimentos de mistura o que exige experiência e perspicácia, fatores randômicos e que não permitem uma determinação acurada pela referida metodologia.

Assim, sugere-se para pesquisas futuras que as mesmas formulações concebidas para esta pesquisa tenham seus resultados comparados com ensaios de estreita relação campo/laboratório, encontrados na metodologia francesa, por exemplo, a fim de que se estabeleçam análises em condições mais próximas às situações observadas na prática.

## REFERÊNCIAS

ABNT NBR 7809, **Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ABNT NBR 14950. **Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol**, 2003. Associação Brasileira de Normas Técnicas.

ANP, **Especificações de Produtos Derivados de Petróleo**. Resolução nº 19, 2005. Agência Nacional do Petróleo. Rio de Janeiro, RJ.

BARRA, B. S., **Avaliação da ação da água no módulo complexo e na fadiga de misturas asfálticas densas**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 329 p., 2009. Florianópolis, SC, Brasil.

BARRA, B. S., **Avaliação do desempenho mecânico de misturas asfálticas densas utilizando materiais do estado do pará com o emprego de pó calcário**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 177 p., 2005. Florianópolis, SC, Brasil.

BERNUCCI, L. L. B.; CERATTI, J. A. P.; MOTTA, L. M. G. da; SOARES, J. B., **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª. Ed., 2006. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA.

BÚRIGO, A.S., **Influência da formulação de esqueletos minerais no comportamento mecânico de misturas de concreto asfáltico**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 74 p., 2015. Joinville, SC, Brasil.

DNER-ME 043/95, **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**, 1995. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 089/94, **Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.



DNER-ME 035/98, **Agregado – determinação da Abrasão “Los Angeles”**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 054/97, **Equivalente de areia**, 1997. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 078/94, **Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 081/98, **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT, **Manual de Pavimentação**. Publicação IPR – 719, 2006. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ME 155/2010, **Material asfáltico - Determinação da penetração**, 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ME 131/2010, **Materiais asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola**, 2010. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

EING, M. A., **Análise da incorporação de cinza volante e pesada em dosagens de misturas asfálticas densas**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Catarina. 71 p., 2018. Joinville, SC.

MOMM, L., **Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotextura superficial do concreto asfáltico e seu comportamento mecânico**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Engenharia de Transportes (PTR) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), 289 p., 1998. São Paulo, SP, Brasil.

MOTTA, R. dos S., **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e de consumo energético**. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). 229 p., 2011. São Paulo, SP, Brasil.

QUINTERO, C. F. Q., **Influência da temperatura e da consistência do ligante na fadiga e no módulo complexo de misturas asfálticas**. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), 264 p., 2019. Florianópolis, SC, Brasil.

ZAGOLIN, P. A., **Influência do tipo de ligante betuminoso na dosagem e no comportamento mecânico de misturas asfálticas densas**. Relatório Final PIBIC/UFSC Voluntário, 54 p., 2016. Joinville, SC, Brasil.