



MISTURAS ASFÁLTICAS DO TIPO PMF E CA: UMA AVALIAÇÃO PARAMÉTRICA COMPARATIVA

Breno Salgado Barra¹, Yader Alfonso Guerrero Pérez², Alexandre Mikowski³, Marcelo Heidemann⁴, Helena Paula Nierwinski⁵

*¹⁻⁵ Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Campus Joinville,
breno.barra@ufsc.br, yagcivil@gmail.com, alexandre.mikowski@ufsc.br,
marcelo.heidemann@ufsc.br, helena.paula@ufsc.br*

RESUMO

O objetivo deste trabalho é avaliar comparativamente os parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas e semidensas do tipo Pré Misturado a Frio (PMF), em relação a uma formulação densa de referência em Concreto Asfáltico (CA), baseada em pesquisa previamente realizada. Para tanto, foram caracterizados os materiais usados nas misturas PMF, como as frações pétreas gnáissicas e Emulsão a Asfáltica de Petróleo (EAP) RL-1C. A composição granulométrica de todas as misturas foi concebida a partir do método racional, com o uso da equação de Füller-Talbot. A determinação dos parâmetros de dosagem foi estabelecida pela metodologia Marshall. Os resultados obtidos indicam, para PMF, que as misturas semidensas tiveram caracterização mecânica ligeiramente melhor quando comparadas às densas, enquanto a estabilidade das misturas CA de referência são de 3,0 a 2,7 vezes maior, quando comparado às misturas densa e semidensa, respectivamente, do tipo PMF. Ainda, notou-se forte influência do período de ruptura da emulsão asfáltica no método de compactação utilizado, refletindo nos resultados do ensaio. As misturas PMF são viáveis para utilização em obras de pavimentação, porém devem ser utilizadas considerando tráfegos pouco volumosos e intensos.

PALAVRAS-CHAVE: concreto asfáltico, Marshall, parâmetros de dosagem, PMF.

ABSTRACT

The main aim of this paper is to comparatively assess dosage parameters of dense and semi-dense cold asphalt mixes, in relation to a dense hot asphalt mix formulation taken as reference, based on former research. For cold asphalt mixes, they were characterized crushed gneissic rock particles provided by a quarry placed in the metropolitan region of Joinville/SC, as well as the asphaltic emulsion RL-1C supplied by distributor from Curitiba/PR. The granulometric formulation of all mixes were conceived through rational methodology, with use of Füller-Talbot equation. Dosage parameters were determined by the Marshall method. The results obtained indicate, for cold asphalt mixes, that semi-dense gradations had performances slightly better than those denses, whereas the stability of hot asphalt mixes were from 2,7 to 3,0 times higher, when compared to the dense and semi-dense cold asphalt mixes. Furthermore, it was noted a strong influence of the emulsion rupture time with regards the compaction mode used, influencing on the test results. Finally, cold asphalt mixes are feasible for being used in pavement works, however, they must be designed considering traffic with low volumes and intensities.

KEYWORDS: asphalt concrete, Marshall, dosage parameters, cold asphalt mix.



1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Confederação Nacional dos Transportes (CNT, 2019), apesar da importância do modal rodoviário para a economia do Brasil, as rodovias somam 1.720.756 km, e desses, apenas 12,3% são pavimentadas. Entre os principais tipos de camadas asfálticas utilizadas no Brasil estão o Concreto Asfáltico (CA) e o Pré-Misturado a Frio (PMF).

O PMF é produto, em usina, de granulares minerais – graúdo e miúdo – e asfalto diluído ou emulsão asfáltica, espalhado e comprimido a frio e as misturas de CA são produtos da mistura convenientemente proporcionada de granulares de vários tamanhos e cimento asfáltico de petróleo (CAP). Os materiais devem ser aquecidos em temperatura previamente definidas, em função das características de viscosidade do ligante betuminoso (SENÇO, 200; BERNUCCI *et al.*, 2010).

Quando comparado ao CA, o PMF possui inúmeras vantagens, como menor custo dos equipamentos, a possibilidade de armazenamento da mistura e o menor impacto ambiental do processo produtivo. O menor custo se dá por não ser empregado energia para aquecimento dos materiais, bem como pela emulsão asfáltica de petróleo (EAP) possuir valor comercial inferior ao CAP (SANTOS, 2002).

Apesar de possuir vantagem ambiental e financeira, em estudo comparativo realizado por Guimarães e Loures (2015), foi observado que o PMF possui uma grande variabilidade no comportamento mecânico das formulações concebidas, concluindo-se pela sua viabilidade apenas para solicitações de tráfego leve a médio.

Dado o exposto, este trabalho consiste na realização de uma análise dos parâmetros de dosagem de misturas asfálticas densas e semidensas do tipo PMF, em laboratório, a partir da metodologia Marshall, para fins de contribuição quanto ao tema relacionado à viabilidade técnica de sua utilização, em comparação com uma mistura densa em CA convencionalmente utilizada em obras de pavimentação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material pétreo utilizado neste trabalho é oriundo de jazida localizada na zona de transição do Complexo Granulítico Santa Catarina e o Granito Pirai (MEURER, 2015), mais



especificamente na região metropolitana de Joinville/SC. Os resultados de caracterização deste material são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Caracterização do agregado pétreo
Fonte: Autores (2020)

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	-

Cabe ressaltar a má adesividade da matriz granular com o ligante betuminoso, em razão de ambos os materiais possuírem carga elétrica predominantemente eletronegativa (SIROMA, 2018). Para solucionar este problema, geralmente são utilizados melhoradores de adesividade nas misturas asfálticas. No entanto, nesta pesquisa não foi utilizado nenhum tipo de aditivo ou adição com esta finalidade, para assim poder verificar o real efeito do potencial de aplicação dos materiais em suas condições naturais de uso.

Para a moldagem dos corpos de prova das misturas pré-misturadas a frio (PMF) foi utilizada a Emulsão Asfáltica Catiônica RL-1C, oriunda de distribuidora localizada em Curitiba/PR, cuja caracterização é apresentada na Tabela 3, enquanto a mistura asfáltica densa de referência estudada por Eing (2018), denominada convencional, foi formulada com ligante asfáltico 30/45 em sua forma pura, proveniente de refinaria com sede em Paulínia/PR (Tabela 2).

Tabela 2 – Resultado dos ensaios de caracterização da emulsão asfáltica RL-1C (EING, 2018)

Ensaio	Unidade	Métodos de ensaio (referências apud EING, 2018)	Características	
			Resultados	Limites
Ponto de amolecimento	°C	ABNT NBR 6560	53,5	52 (mín.)
Penetração, 100g, 5s, 25°C	0,1mm	ABNT NBR 6576	34	30-45
Viscosidade Saybolt-Furol	135°C	ABNT NBR 14950	220	192 (mín)
	150°C		92	90 (mín)
	177°C		58	40-150



Tabela 3 – Resultado dos ensaios de caracterização da emulsão asfáltica RL-1C

Ensaio	Métodos de Ensaio	Resultados	Limites normativos
Resíduo Asfáltico % (m/m)	ABNT NBR 14376 (2007)	60,9	Mínimo 60,0
Viscosidade Saybolt Furol, 25°C (ssf)	ABNT NBR 14491 (2007)	16,0	Máximo 90,0
Peneiramento, retido na peneira 0,84mm % (m/m)	ABNT NBR 14393 (2006)	0,0	Máximo 0,1
Sedimentação, 5 dias, diferença do resíduo entre topo e fundo % (m/m)	ABNT NBR 6570 (2016)	2,3	Máximo 5,0
Carga de Partícula	ABNT NBR 6567 (2015)	Positiva	Positiva
Mistura com Cimento (%)	ABNT NBR 6297 (2012)	1,8	Máximo 2,0

Fonte: Autores (2020)

A utilização de emulsão asfáltica catiônica RL-1C para esta pesquisa foi definida a partir de estudo conduzido por Santana (1992), em que recomenda a emulsão de ruptura lenta para misturas PMF com graduação densa e semidensa, devido à presença não negligenciável do teor de finos na composição granulométrica.

Para esta pesquisa, as curvas granulométricas foram formuladas pelo método racional, baseado na equação de Fuller-Talbot. O método permite a determinação de curvas granulométricas bem definidas e com preenchimento gradual dos vazios formados pelas partículas de maior dimensão, baseando-se na fixação dos diâmetros máximo e do percentual passante na menor abertura de malha da série de peneiras utilizadas na composição da mistura (Equação 1).

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

Em que ‘%p’ é o percentual em peso que passa na peneira de menor diâmetro da curva; ‘a’ é constante, tomada igual a 100; ‘d’ abertura de uma dada peneira (mm); ‘D’ diâmetro máximo, abertura em que passa 100% das frações; ‘n’ expoente indicador da graduação da curva granulométrica (nesta pesquisa $n = 0,51$ para as curvas densas e $n = 0,58$ para a curva semi-densa).

As curvas granulométricas utilizadas são apresentadas na Figura 1, tendo recebido as seguintes nomenclaturas: curva teórica densa (CT densa), curva teórica semidensa (CT semidensa) e curva teórica convencional (CT convencional), esta última proveniente de

pesquisa realizada por Eing (2018) e tomada como referência no trabalho para a composição das misturas asfálticas usinadas a quente (CA).

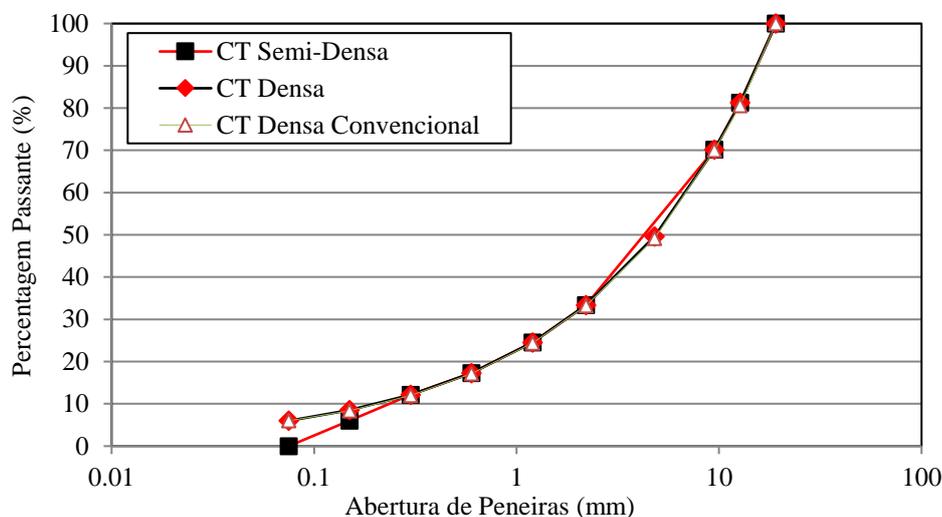


Figura 1 – Curvas granulométricas formuladas

Fonte: Autores (2020)

É importante escalerecer que as misturas CT convencional e CT densa foram formuladas com a mesma curva granulométrica, alterando apenas o tipo de ligante betuminoso utilizado na dosagem, sendo CAP 30/45 e emulsão asfáltica RL-1C, respectivamente. No caso da mistura CT semidensa, a curva granulométrica possui distinções, em relação à CT densa, a saber: brecha no intervalo de frações 2,2/9,5mm e 0% de finos passante na peneira de abertura 0,075mm e 6,0% na peneira 0,15mm.

O procedimento da metodologia Marshall foi adotado para o estudo da dosagem das misturas asfálticas a frio (DNER-ME 107/94), em razão de ser oficialmente homologado no Brasil pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), e também para permitir a comparação dos resultados obtidos pelas dosagens do PMF com os obtidos para a mistura convencional a quente tomada como referência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O período de ruptura da emulsão asfáltica para as misturas estudadas foi definido pela análise visual da coloração das misturas, que evoluíram de marrom para preto, ao passo que a ruptura acontecia, fato que ocorreu em até 120h após a moldagem dos corpos de prova. A especificação de serviço DNIT-ES 153 (2010) estabelece os limites para o teor de vazios (%V), estabilidade mínima e fluência para as misturas a frio (Tabela 4).

Tabela 4 – Parâmetros de verificação das dosagens de misturas PMF

Percentagem de Vazios (%)	5 a 30
Estabilidade mínima (kgf)	250 (75 golpes)
Fluência (mm)	2,0 a 4,5

Fonte: DNIT-ES 153 (2010)

As Figuras 2 e 3 ilustram os resultados obtidos nos ensaios Marshall, em que os pontos em vermelho indicam os valores médios obtidos a cada caso.

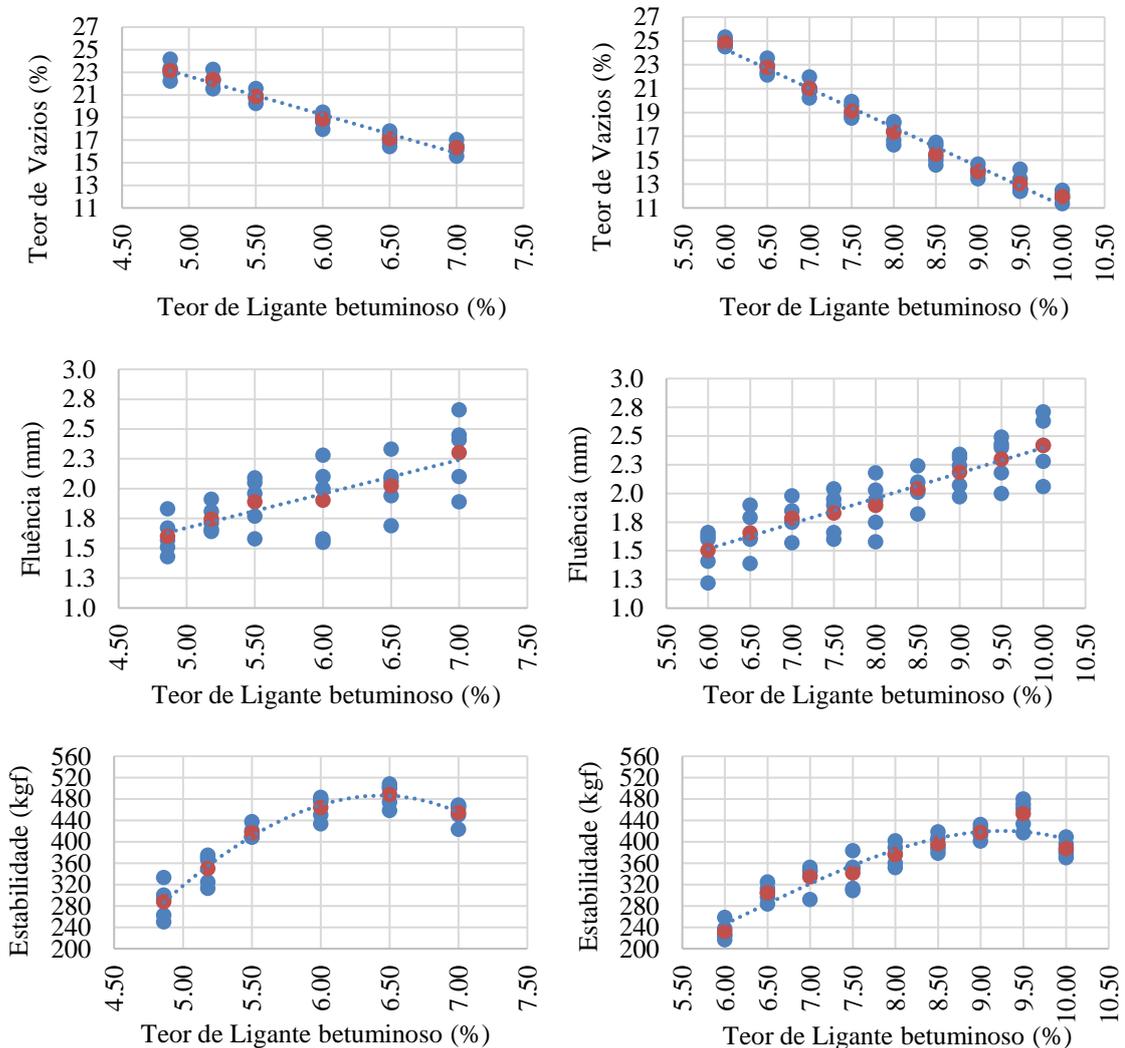


Figura 2 – Parâmetros de dosagem das misturas PMF CT semidensa (esquerda) e CT densa (direita)

Fonte: Autores (2020)

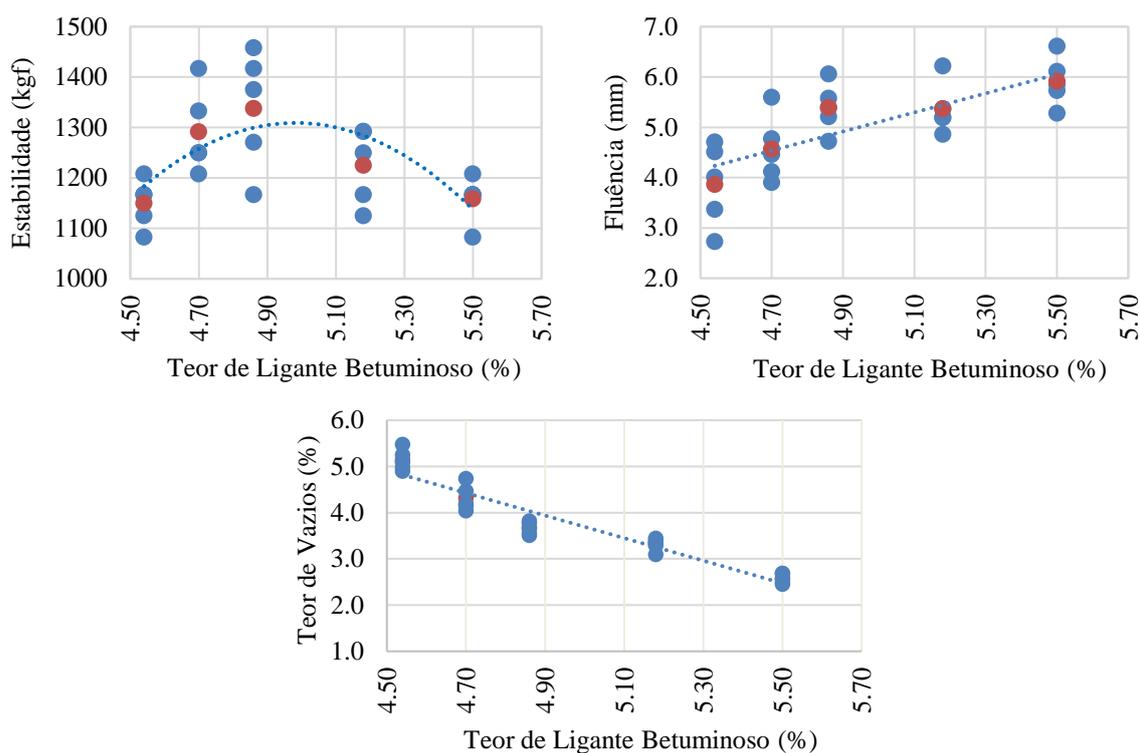


Figura 3 – Parâmetros de dosagem da misturas a quente CT convencional

Fonte: Eing (2018)

A partir da análise dos gráficos das figuras 2 e 3, foram determinados os teores ótimos de ligante, o teor de vazios, a estabilidade e fluência Marshall para as misturas estudadas, e comparados com a mistura convencional de referência em CA. Os resultados estão resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Compilação da média dos resultados obtidos nos ensaios Marshall

Parâmetros de Dosagem	PMF		CT Convencional (Eing, 2018)
	CT Semidensa	CT Densa	
Estabilidade (kgf)	500	450	1350
Fluência (mm)	2,10 a 2,15	2,25	5,50
Teor de vazios (%)	17,0 a 18,0	13,0	3,70
Teor ótimo de ligante betuminoso (%)	6,50	9,50	4,86

Fonte: Autores (2020)



Com base na análise dos gráficos das Figuras 2 e 3, e na compilação dos resultados apresentados na Tabela 5, tem-se que os teores ótimos de ligante betuminoso para as misturas PMF CT semidensa e CT densa são 6,50% e 9,50%, respectivamente. Vale ressaltar que os teores foram definidos não somente pela análise gráfica, mas também observando aspectos complementares como a trabalhabilidade no ato da mistura, integridade dos corpos de prova em relação à desagregação após o procedimento de desmoldagem e quantidade de ligante absorvida pelo papel-filtro após a compactação. Quanto à mistura a quente CT convencional, o teor de ligante definido por Eing (2018) foi de 4,86%.

Ainda, ao comparar os limites normativos da Tabela 4 com os dados da Figura 2, tem-se que os teores de 4,86% a 5,50% da mistura CT semidensa, apresentaram valores de fluência menores que o mínimo estabelecido por norma (DNIT-ES 153, 2010), e por esta razão foram desconsiderados como prováveis teores ótimos nas análises efetuadas.

Analisando os teores de vazios das misturas PMF, nota-se que nos primeiros teores de dosagem das misturas densas os valores são maiores, se comparado aos primeiros teores dosados para as misturas semidensas, pois em observações durante a pesquisa, verificou-se que a quantidade de emulsão utilizada inicialmente nas misturas densas foi insuficiente para promover o envolvimento completo dos granulares.

Portanto, os teores de vazios encontrados estão relacionados aos próprios vazios do granular mineral e não aos vazios resultantes da mistura asfáltica, devido o intertravamento das partículas ser mais proeminente que o efeito do envolvimento pela emulsão asfáltica, em razão dos baixos teores iniciais utilizados. A insuficiência de emulsão asfáltica nesses teores refletiu na trabalhabilidade da mistura, resultando em um aspecto “esfarelado”, e também nos resultados de fluência.

Ao aproximar-se dos teores ótimos de trabalho, a condição de vazios das misturas apresenta os valores esperados, ou seja, menores teores de vazios nas misturas densas e maiores nas misturas semidensas. Em geral, todos os teores de ligante betuminoso apresentaram teores de vazios dentro da faixa de trabalho preconizado na norma DNIT-ES 153 (2010), para ambas as misturas PMF (Tabelas 4 e 5).

De acordo com Santana (1992), ao apresentar limites classificatórios para os PMFs quanto ao teor de vazios, alerta que há grande evolução destes valores no decorrer da ruptura, estabelecendo o intervalo de 9,0% a 15,0%, para as misturas densas e de 15,0% a 22,0% para



as semidensas, ou seja, os resultados obtidos nesta pesquisa compreendem também esta parametrização (Tabela 5).

Uma observação importante deve ser feita a respeito dos teores de vazios, que de acordo com os resultados obtidos apresentaram valores elevados, tanto nas misturas semidensas como nas densas, quando comparados aos valores da mistura convencional estudada por Eing (2018). Este fato se deve à natureza do ligante utilizado nesta pesquisa, a emulsão asfáltica, apresentar menor viscosidade que o ligante convencional (CAP). Por esta razão, há maior dificuldade no preenchimento dos vazios da composição granulométrica e, por consequência, há necessidade de maior aporte de teores de emulsão, a fim e que se propicie bom envolvimento dos granulares minerais no ato da mistura. Esta constatação fica evidente quando comparados os resultados das misturas densas, pois tanto o PMF quanto a de referência possuem a mesma distribuição granulométrica (Figura 1).

Além da viscosidade do ligante, o processo de ruptura da emulsão asfáltica influencia nos teores de vazios resultantes das misturas, uma vez que se dá pela evaporação da água presente em sua composição, no contato com a superfície do granular mineral. Neste contexto, foi observado durante esta pesquisa que houve perda de massa das amostras, em razão da evaporação da água, durante o período de 48h até 120h nos teores das misturas densas, o que contribuiu para o aumento dos vazios nas misturas PMF semidensas e densas.

Vale ressaltar que os altos teores de vazios obtidos não caracterizam as misturas PMF como drenantes, pois, não são significativos para que se estabeleça este tipo de classificação, em razão de estarem abaixo de 18%, conforme preconiza a norma DNER-ES 386 (1999).

Análise em vias pavimentadas com PMF denso utilizando emulsão asfáltica catiônica RL-1C concluíram que após a evaporação da água e com a compactação executada pelo tráfego de veículos, o teor de vazios diminuiu, atingindo valores próximos aos de misturas a quente (SANTOS, 2002).

Em relação aos resultados referentes à estabilidade e fluência, nas misturas PMF semidensas notou-se valores ligeiramente maiores que nas misturas PMF densas, comparando os mesmos teores de ligante. Este resultado é justificado, pois a ruptura por compressão diametral, como é o caso da metodologia Marshall, favorece misturas que possuam granulometria mais robusta em sua composição, ou seja, no processo de ruptura



por compressão, as composições com maior predominância de granulares graúdos oferecem maior resistência à ruptura e menor deslocamento em relação à fluência.

Ainda, referente à estabilidade dos teores ótimos das misturas PMF, os resultados obtidos são da ordem de até três vezes menos aos determinados por Eing (2018) para a mistura a quente CA convencional, sendo que esta última apresenta teor de vazios em 3,7% e fluência 5,5 mm (Tabela 5), em razão da maior viscosidade do CAP 30/45 em relação à emulsão RL-1C (Tabelas 1 e 2).

5. CONCLUSÕES

Os resultados da presente pesquisa comprovam e corroboram com as tendências já existentes sobre a utilização do PMF em obras de pavimentação asfáltica, ou seja, de acordo com os resultados obtidos, as misturas asfálticas a frio formuladas com emulsão asfáltica, em que pese atenderem às especificações normativas de trabalho do DNIT, nos teores ótimos, e poderem ser utilizadas como camadas de base e de revestimento em estruturas de pavimentos, possuem grande defasagem de resistência quando comparadas com as misturas a quente convencionais.

Nesta pesquisa, por exemplo, as misturas a frio obtiveram valores de estabilidade da ordem de três vezes menor quando comparados com a mistura a quente de referência.

Deve-se, portanto, em razão de todos os indicadores analisados neste trabalho, tomar precaução ao especificar misturas do tipo PMF para obras de pavimentação, devendo serem preferencialmente utilizadas em ocasiões de tráfego com pouco volume, aliado à intensidade minorada das cargas solicitantes.



REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 7809, **Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 14736, **Emulsões asfálticas – determinação do resíduo asfáltico por evaporação – método expedito**, 2007. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 14491, **Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol**, 2007. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 14393. **Emulsões asfálticas - Determinação da peneiração**, 2006. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 6570, **Ligantes asfálticos - Determinação da sedimentação e estabilidade à estocagem de emulsões asfálticas**, 2016. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 6567, **Ligantes asfálticos - Emulsões asfálticas - Determinação da carga de partícula**, 2015. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT NBR 6297, **Emulsão asfáltica de ruptura lenta - Determinação da ruptura - Método da mistura com cimento**, 2012. Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- BERNUCCI, L. L. B., CERATTI, J. A. P, MOTTA, L. M. G. da, SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3ª. ed., 504 p. Rio de Janeiro: Petrobrás: ABEDA, 2010.
- CNT, **Anuário CNT dos Transportes: Estatísticas consolidadas – 2019**. Confederação Nacional dos Transportes. Brasília, DF. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2019/>. Acesso em setembro de 2020.
- DNER-ME 35/98, **Agregado – determinação da Abrasão “Los Angeles”**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER-ME 54/97, **Equivalente de areia**, 1997. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER-ME 78/94, **Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.
- DNER-ME 89/94, **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 81/98, **Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**, 1998. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.



DNER-ES 386/99, **Pavimentação - pré-misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito**, 1999. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNER-ME 107/94, **Misturas betuminosas a frio com emulsão asfáltica – ensaio Marshall**, 1994. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, RJ.

DNIT-ES 153/2010. **Pavimentação asfáltica - Pré misturado a frio com emulsão catiônica convencional**, 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.

GUIMARÃES, A. C. R.; LOURES, R. de C. B. A., **Utilização de misturas asfálticas usinadas à frio**. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da ANPET, Ouro Preto, MG. Anais... pp. 1-10, 2015, Rio de Janeiro, RJ.

MEURER, P., **Caracterização de Materiais Rochosos do Norte de Santa Catarina para fins de Aplicação em Obras de Pavimentação**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 92 p., 2015, Joinville/SC.

SANTANA, H., **Manual de pré-misturado a frio**. Instituto Brasileiro de Petróleo - Comissão de asfalto. 298 p., 1992. Rio de Janeiro, RJ.

SANTOS, M. A. dos, **Avaliação do comportamento mecânico de misturas betuminosas a frio via ensaios de laboratórios**. Dissertação de Mestrado PPGEC da Universidade Federal de Viçosa (UFV). 84 p., 2002, Viçosa, MG.

SENÇO, W. de. **Manual de técnicas de pavimentação**. São Paulo: PINI, 2001. v. 2.

SIROMA, R. S. **Avaliação da deformação permanente em misturas asfálticas densas formuladas com areia descartada de fundição (ADF)**. Dissertação de Mestrado Pós-ECM Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). 196 p., 2018, Joinville, SC.