

IAG141-01-2013
AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO E REOLÓGICO DE
MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS
EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO Y REOLÓGICO
DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS

Yader Alfonso Guerrero Pérez
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
yagcivil@gmail.com

Leto Momm
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
Leto.momm@gmail.com

Breno Barra
Universidade Federal de Santa Catarina
Joinville, Brasil
brenobarra@gmail.com

Keyla Junko Shinohara
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil
keylajunko@gmail.com

Adosindro Joaquín de Almeida
Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Brasil

Resumo

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a ação dos aditivos para a elaboração das misturas asfálticas mornas, no módulo complexo e na fadiga. A distribuição granulométrica que compõe o esqueleto mineral é uma curva granulométrica densa composta com a equação de Talbot. A análise das misturas desta pesquisa está fundamentada na formulação e normalização francesa. Este estudo se fundamenta no estudo das misturas asfálticas mornas com o uso dos aditivos REDISET, CECABASE RT e ZEÓLITAS, comparados com uma mistura convencional (CAP 50/70), mediante a realização dos ensaios: Duriez, que estuda o comportamento na água da mistura asfáltica; Prensa de compactação por Cisalhamento Giratório (PCG) que estuda a habilidade à compactação; *Ornierage*, que estuda a resistência à formação de trilha de roda; Módulo complexo, que estuda a reologia da mistura asfáltica, e; Fadiga, que estuda o comportamento mecânico para avaliar a vida útil. Finalmente, para cada mistura asfáltica analisada foi realizado um dimensionamento hipotético que utiliza os princípios conceptivos franceses que aborda a sua vez o comportamento mecânico e reológico dentro das suas análises. Com este trabalho pode se quantificar o nível de afetação da mistura pelo uso dos aditivos para a produção de misturas mornas. Estes resultados são facilmente apreciados no dimensionamento hipotético onde são evidenciadas as diferenças entre as espessuras com o uso dos mesmos

parâmetros de base. No dimensionamento realizado para cada uma das misturas estudadas (procedimento que incorpora os resultados dos ensaios de fadiga e de módulo) se encontram resultados similares para as deformações tanto na fibra inferior da camada asfáltica como no topo da plataforma de fundação nas misturas analisadas.

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es evaluar la acción de los aditivos para la elaboración de las mezclas asfálticas tibias, en el módulo complejo y en la fatiga. La distribución granulométrica que compone el esqueleto mineral es una curva granulométrica densa compuesta con la ecuación de Talbot. El análisis de las mezclas de esta pesquisa está fundamentado en la formulación y normalización francesa. El objetivo de este trabajo se fundamenta en el estudio de las mezclas asfálticas tibias con el uso de los aditivos REDISET, CECABASE RT e ZEÓLITAS, comparados con una mezcla convencional (CAP 50/70), mediante la realización de los ensayos: Duriez que estudia el comportamiento en el agua de la mezcla asfáltica; Prensa de compactación por cizallamiento giratorio (PCG) que estudia la habilidad a la compactación; *Ornierage* que estudia la resistencia a la formación de ahuellamiento; módulo complejo que estudia la reología de la mezcla asfáltica, y; fatiga que estudia el comportamiento mecánico para evaluar la vida útil. Finalmente, para cada mezcla asfáltica analizada fue realizado un dimensionamiento hipotético que utiliza los principios conceptivos franceses que abordan a su vez el comportamiento mecánico y reológico dentro de sus análisis. Con este trabajo puede cuantificarse el nivel de afectación de la mezcla por el uso de los aditivos para la producción de mezclas tibias. Estos resultados son fácilmente apreciados en el dimensionamiento hipotético, donde son evidenciadas las diferencias entre los espesores con el uso de los mismos parámetros de base. En el dimensionamiento realizado para cada una de las mezclas estudiadas (procedimiento que incorpora los resultados de los ensayos de fatiga y de módulo) se encuentran resultados similares para las deformaciones tanto en la fibra inferior de la capa asfáltica como en el tope de la plataforma de fundación en las mezclas analizadas.

INTRODUÇÃO

As tecnologias dos asfaltos mornos podem ser constituídas modificando tanto o ligante asfáltico como o processo de usinagem, mas todas as tecnologias buscam alcançar trabalhabilidade da mistura a temperaturas menores. Contudo, toda modificação introduzida na preparação das misturas asfálticas acarreta alteração no comportamento mecânico do material, e estes efeitos devem ser cuidadosamente estudados para avaliar a sua viabilidade técnica e econômica.

O estudo das misturas asfálticas mornas realiza-se com a utilização do primeiro protótipo brasileiro da máquina de fadiga e de módulo complexo (FADECOM I) do Laboratório de Pavimentação da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

METODOLOGIA E PROCEDIMENTO LABORATORIAL

O concreto asfáltico é uma mistura, basicamente, de dois tipos de materiais; o ligante asfáltico e a matriz granular. Os granulares utilizados na pesquisa são do tipo granítico. A curva granulométrica utilizada foi calculada com a ajuda da fórmula de Talbot.

O Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) 50/70 foi fornecido pela refinaria REPLAN. Após a caracterização do ligante puro utilizado na mistura asfáltica convencional, procede-se a modificação com os produtos; CECABASE RT (0,4% em peso do ligante), e REDISSET (2% em peso do ligante), adotando uma redução de temperatura de 20°C. Sendo que para a mistura asfáltica convencional a temperatura de usinagem é de 155°C e a de compactação de 145°C.

Para o desenvolvimento desta pesquisa, foram estudados no ensaio de duriez 3 teores, 4,5%, 4,8% e 5,1% de ligante asfáltico, e para os ensaios subsequentes foi definido um teor de 4,8% .

Nesta pesquisa são analisadas 4 misturas asfálticas diferentes, uma mistura asfáltica convencional (referência), uma mistura asfáltica modificada por REDISSET, uma mistura asfáltica modificada por CECABASE, e finalmente uma mistura asfáltica produzida com Zeólitas naturais. Sendo assim, o processo de elaboração das misturas asfálticas pode ser classificado em dois procedimentos; no primeiro processo, se podem enquadrar as misturas asfálticas modificadas por CECABASE, REDISSET (com o ligante previamente modificado), e a mistura convencional. No segundo processo de fabricação se enquadra a mistura asfáltica morna produzida com zeólitas naturais, para isto, prepara-se as zeólitas na quantidade de 0,3% em peso da mistura asfáltica e se adiciona 21% de umidade e são adicionadas durante o processo de usinagem na mistura asfáltica.

Os ensaios são realizados na seguinte ordem; os ensaios de Duriez e os ensaios da Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratório (primeiro nível), *ornierage* (segundo nível), módulo complexo (terceiro nível) e fadiga (quarto nível).

RESULTADOS

Ensaio de duriez (AFNOR NF P 98-251-1 (1995))

Este ensaio testa o comportamento na água da mistura asfáltica. Durante o ensaio, os corpos de prova analisados são divididos em 3 grupos; um grupo de 5 corpos de prova é submetido a condicionamento a seco a 18°C e umidade controlada, outro grupo de 5 corpos de prova é submetido a condicionamento na água a 18°C (previa realização da limpeza de poros), e o terceiro grupo de 2 corpos de prova é submetido à pesagem hidrostática. Após o período de condicionamento é efetuado o rompimento a compressão simples dos corpos de prova. A tabela 1 resume os resultados do rompimento dos corpos de prova, condicionados a seco (R) e condicionados na água (r) e o valor da relação (r/R).

Tabela 1 – Resumo dos resultados para a resistência a compressão simples do ensaio de Duriez.

TEOR	CONVENCIONAL					ZEÓLITAS				
	ÁGUA		SECO		r/R	ÁGUA		SECO		r/R
	Res. Comp (MPa)	MVA	SECO	MVA		Res. Comp (MPa)	MVA	SECO	MVA	
4,5	8,885	2,274	9,339	2,262	0,95	6,590	2,267	8,623	2,249	0,76
4,8	9,575	2,271	10,007	2,255	0,96	7,786	2,292	9,743	2,275	0,80
5,1	9,414	2,274	9,521	2,258	0,99	8,066	2,298	9,159	2,289	0,88
TEOR	REDISET					CECABASE RT				
	ÁGUA		SECO		r/R	ÁGUA		SECO		r/R
	Res. Comp (MPa)	MVA	SECO	MVA		Res. Comp (MPa)	MVA	SECO	MVA	
4,5	8,655	2,286	8,260	2,270	1,05	8,214	2,279	9,934	2,264	0,83
4,8	8,546	2,296	8,524	2,279	1,00	8,316	2,295	10,232	2,284	0,81
5,1	9,631	2,319	9,431	2,305	1,02	9,361	2,317	10,875	2,301	0,86

As especificações francesas para o ensaio de Duriez estabelecem como valor mínimo da relação (r/R) o valor de 0,70 para as misturas asfálticas tipo *Béton Bitumineux Semi-Grenu* (BB-BSG) (NF EM 13108-1). Observa-se que todos os valores de teores de todas as misturas asfálticas são superiores ao limite.

Ensaio da PCG (AFNOR 98-252, 1999)

Este ensaio testa a habilidade à compactação da mistura asfáltica através de uma compactação lenta e isotérmica sob baixa compressão estática, executada por um movimento giratório de uma face em torno do eixo de simetria aplicando um ângulo α . O teor de betume para a realização dos testes é de 4,8% de betume. A massa do corpo de prova foi calculada para obtenção de um corpo de prova de 150mm de altura com 0% de vazios após a realização do ensaio. Os resultados obtidos para ensaio em cada uma das misturas estão apresentados na figura 1. A tabela 2 apresenta os limites normativos para uma mistura asfáltica tipo EB-BBSG segundo a norma NF EN 13108-1, comparativamente com os resultados obtidos nos ensaios em cada uma das misturas asfálticas estudadas.

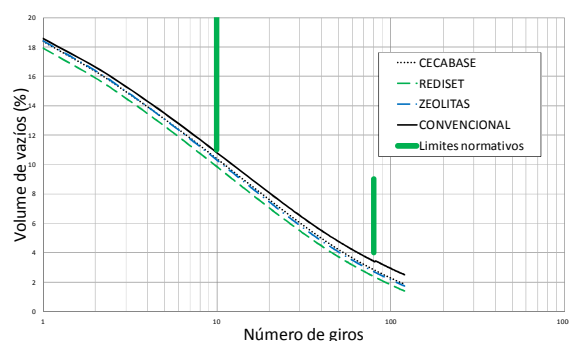


Figura 1 – Representação gráfica dos ensaios da PCG

Tabela 2 – Resumo dos resultados obtidos no ensaio da PCG e limites normativos

No. Giros	%v LIMITE (NF EM 13108-1)		Convencional	CECABASE	REDISET	ZEÓLITA
	Mín.	Máx.				
10	11	--	10,8	10,4	9,7	10,3
80	4	9	3,4	2,8	2,3	2,7

A evolução da percentagem de vazios para todas as misturas estudadas acusa um excesso de ligante asfáltico, por conseguinte, o teor ótimo de trabalho é inferior ao adotado (4,8%).

Da análise dos resultados para o ensaio da PCG nas misturas asfálticas mornas, comparativamente com a mistura asfáltica convencional, pode-se sugerir que estas misturas poderiam admitir uma maior diminuição das temperaturas de trabalho por quanto a percentagem

de vazios ao longo do ensaio se apresenta menor para as misturas asfálticas mornas, em relação à mistura asfáltica com CAP convencional.

Sendo que existem diversos tipos de misturas asfálticas na normatividade francesa, as características físicas apresentadas por as misturas presentes neste estudo poderiam ser enquadradas dentro do tipo EB-BBSG. Porém, nenhuma das misturas ensaiadas apresenta valores enquadrados nos padrões da norma, no entanto, optou-se dar continuidade com a bateria experimental pelos seguintes motivos: A PCG utilizada (SERVOPAC) não é conhecida a equivalência dos testes realizados utilizando a PCG (SERVOPAC) com a máquina da metodologia francesa; Não houve disponibilidade da máquina francesa para uso; Sendo o objetivo deste trabalho em estudar o comportamento mecânico e reológico de misturas mornas de maneira comparativa com a mistura asfáltica convencional, o resultado comparativo mantém-se válido.

Ensaio de Deformação Permanente (NF P 98 253-1, 1993)

O ensaio de Deformação Permanente testa a resistência à formação de trilha de roda da mistura asfáltica. Para o estudo, é realizado com um teor de 4,8% de betume. As placas são moldadas em número de 8 placas, sendo 2 placas para cada uma das 4 misturas referentes a este estudo, com as dimensões de 180mm de largura, 500mm de comprimento e 50mm de espessura.

Após a pesagem hidrostática e um período de repouso de 15 dias após o processo de compactação das placas, procede-se à realização do ensaio de deformação permanente propriamente dito.

A figura 2 ilustra os afundamentos de cada uma das misturas.

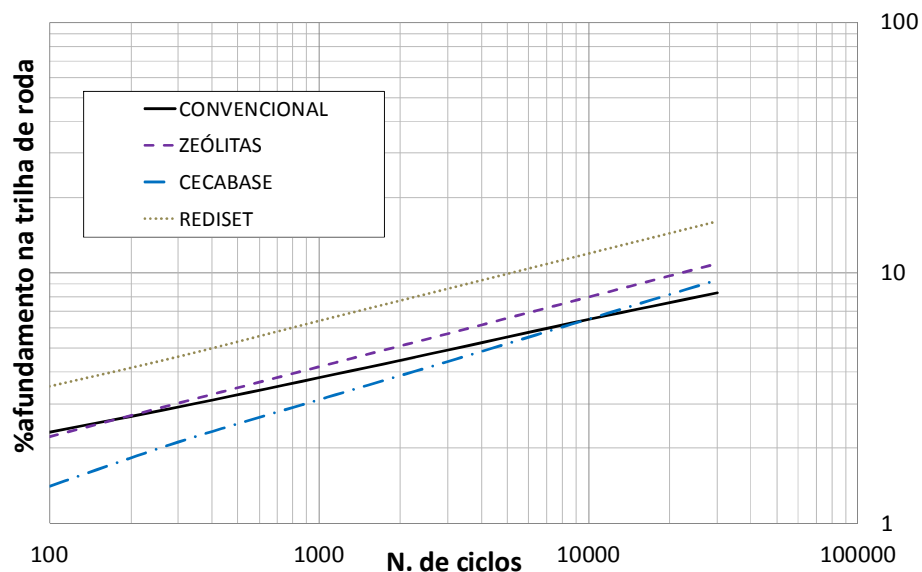


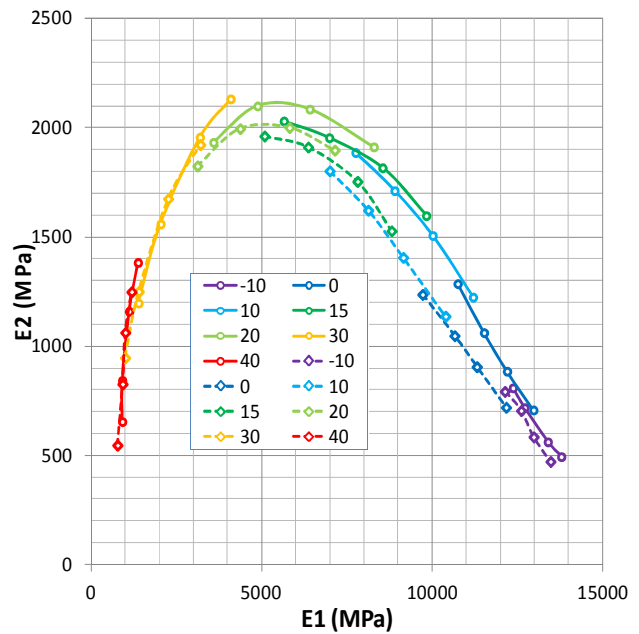
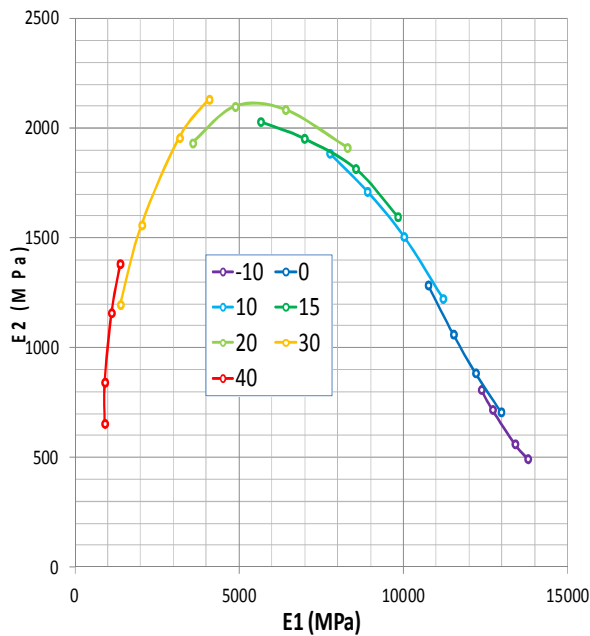
Figura 2 – Resultados do ensaio de deformação permanente para as misturas asfálticas estudadas.

Se as misturas analisadas durante este estudo fossem consideradas como do tipo EB-BBSG, a norma francesa NF EN13108-1 estabelece limites de afundamento para 30000 ciclos de solicitação: de 10% para a classe 1; 7,5% para a classe 2; e 5% para a classe 3. Desta forma, a mistura convencional e a modificada com CECABASE se enquadram nos requisitos para a classe 1.

Ensaio de Módulo Complexo (NF P 98 260-2, 1992)

O ensaio de módulo complexo testa o comportamento reológico da mistura asfáltica ante diferentes frequências de solicitação e temperaturas de condicionamento. No ensaio de módulo complexo são utilizados 4 corpos de prova por mistura analisada. Durante o ensaio as misturas asfálticas analisadas foram testadas a -10°C , 0°C , 10°C , 15°C , 20°C , 30°C e 40°C e para cada temperatura os corpos de prova foram testados a uma frequência de 1Hz, 3 Hz, 10 Hz e 30Hz. A deformação escolhida para o ensaio é de 40×10^{-6} , este valor assegura que durante o ensaio o corpo de prova não entre no fenômeno da fadiga e que este material visco elástico possa ser analisado na ordem da linearidade. Entre os diferentes gráficos representativos do comportamento reológico determinados no ensaio de módulo complexo, foi escolhido o plano Cole-Cole que representa de forma independente as parcelas elásticas e viscosas presentes na norma do módulo.

Para todas as misturas mornas, os gráficos no plano COLE-COLE apresentam um comparativo com a mistura asfáltica convencional (linha contínua) com a mistura asfáltica morna (linha tracejada).



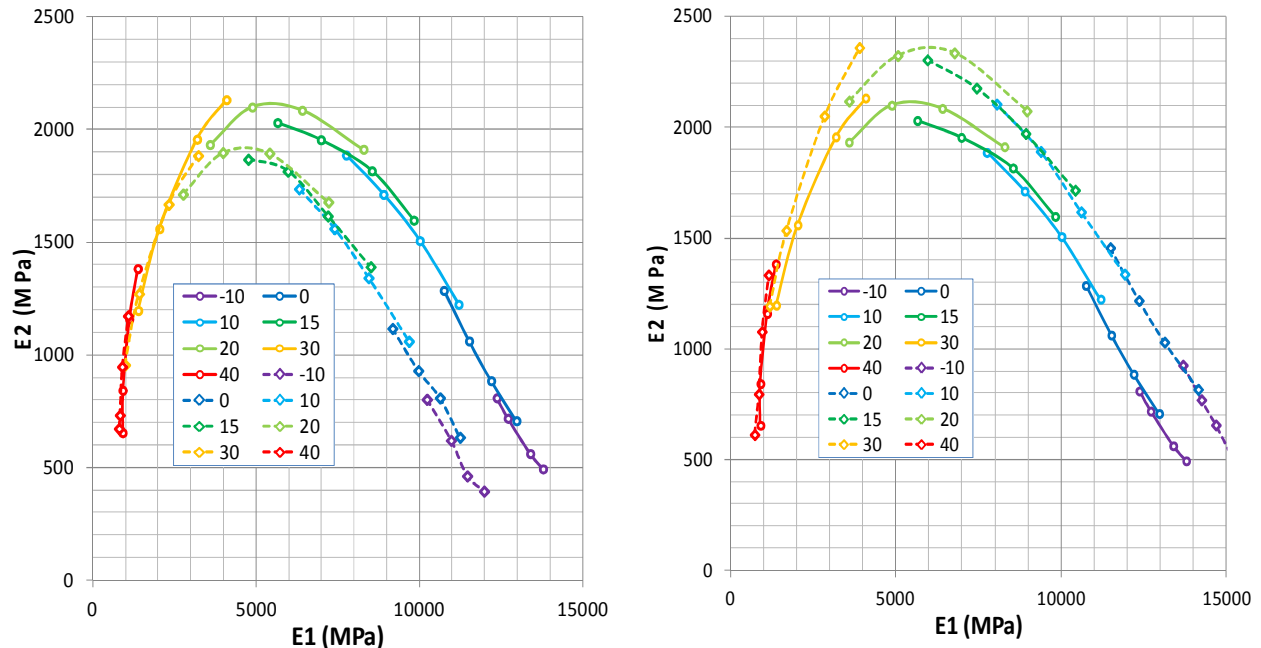


Figura 3 – Plano COLE-COLE da mistura asfáltica convencional (a), morna com CECABASE (b), morna com REDISET (c) e morna com ZEÓLITAS (D)

Os resultados experimentais obtidos com o ensaio de módulo complexo são aplicados no modelo de comportamento reológico de Huet Sayegh (1965), para o seu uso na realização do dimensionamento da estrutura de pavimento (tabela 3 e figura 4).

Tabela 3 - Valores do modelo de Huet-Sayegh para as misturas asfálticas analisadas

	Convencional	Zeólitas	Cecabase	Rediset
Eo (Mpa)	181,911	175,869	192,277	190,898
Einf (Mpa)	15400,323	17023,223	15675,800	13498,121
Delta	1,603	1,350	1,030	0,978
k	0,570	0,212	0,163	0,181
h	0,177	0,705	0,593	0,652
Tau	0,856	0,063	0,052	0,102
A0	3,549	1,124	1,247	1,237
A1	-0,263	-0,281	-0,314	-0,314
A2	0,001	0,001	0,002	0,002

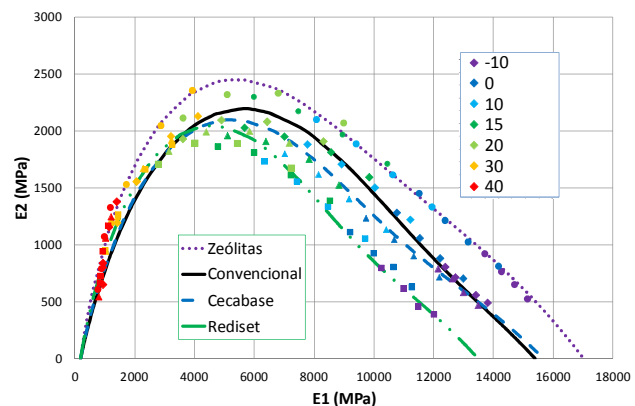


Figura 4 – Modelo de Huet-Sayegh com os resultados experimentais no plano Cole-Cole para as misturas analisadas.

Ensaio de fadiga (AFNOR NF P 98-261-1, 1993)

O ensaio de fadiga é realizado a flexão alternada em modo contínuo em corpos de prova trapezoidais, e procura avaliar a vida em útil da mistura asfáltica impondo uma deformação a

uma frequência de 25Hz e uma temperatura de 10°C. A partir da triagem realizada na seleção de corpos de prova para o ensaio de módulo complexo são selecionados também os corpos de prova utilizados para o ensaio de fadiga, seguindo os princípios de seleção estabelecidos na norma. Cada uma das 4 curvas de fadiga realizadas, possui três níveis de deformação, nas quais procurou-se homogeneizar as deformações impostas nos corpos de prova, estabelecendo os mesmos níveis de deformação para cada uma delas. Sendo assim, foram estabelecidas as deformações a 120µdef, 150µdef e 180µdef. A Tabela 4 e Figura 6 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de fadiga.

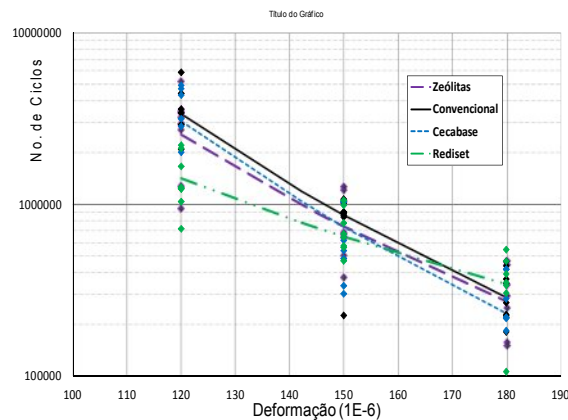


Tabela 4 – Resultados das curvas de fadiga

Y=A*Def^B				
Variável	Zeólitas	Convencional	Cecabase	Rediset
A:	7,19E+17	1,45E+19	5,36E+19	2,48E+13
B:	-5,508	-6,078	-6,37	-3,485
E6:	142,15	146,35	142,98	132,32
ΔE6	6,861	5,716	6,095	9,459
Desv. Pad. Res.:	0,0783	0,1025	0,1089	0,0314
r2:	0,7972	0,8608	0,8607	0,6948

Figura 6 – Resultados das curvas de fadiga

DIMENSIONAMENTO DE UMA ESTRUTURA DE PAVIMENTOS SIMULADA

A análise da estrutura de pavimento hipotético realizada aplicou o método Francês de dimensionamento de pavimentos, utilizando as ferramentas Vicoanalyse e Viscoroute 2.0, desenvolvidos pelo *Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux* (IFSTTAR), em parceria com a École Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC) (GUIDE TECHNIQUE, 1994)..

Considerando as misturas estudadas como do tipo *Betón Betumineux Semi-Grenus* (BBSG) classe 3, por apresentar valores da norma do módulo a 15°C de condicionamento térmico e 10Hz de solicitação superiores a 7000MPa, assim como uma deformação para um milhão de ciclos (ξ6) superior a 100µdef nas condições do ensaio de fadiga (10°C de temperatura e 25Hz de solicitação).

Para o dimensionamento dos pavimentos foram escolhidos: Tráfegos do tipo T3 (TC3); Volume médio diário anual (VMDA ou MJA) de 150; Taxa de crescimento anual de 3,8%; Período de projeto inicial de 20 anos; entre outros.

A estrutura do pavimento analisada inicialmente foi estipulada em 3 camadas; 7cm de Mistura asfáltica (valor mínimo para as misturas do tipo BBSG); 25cm de Brita Graduada Simples (BGS) ou Granulares Não tratados (GNT) classe E3, categoria B: Módulo=450MPa; E a plataforma de Fundação (PF), módulo = 150MPa.

A partir do processamento dos dados de tráfego e da análise da estrutura do pavimento utilizando a metodologia francesa de dimensionamento de pavimentos , a tabela 5 resume os resultados para a estrutura inicialmente proposta.

Tabela 5 - Resumo dos resultados obtidos nos cálculos (7cm de espessura)

MISTURA	ξxx a 7cm (1e-6)			Deformação Admissível	ξzz a 32cm	
	Deformação Admissível	Deformação calculada Coordenadas (0, 0)	Deformação calculada Coordenadas (0, 18,75)		Deformação calculada Coordenadas (0, 0)	Deformação calculada Coordenadas (0, 18,75)
Convencional	153,37	80,92	68,41	515	266,64	229,9
Cecabase	150,02	82,87	68,51		284,21	242,55
Rediset	133,97	82,64	67,97		287,12	244,61
Zeólitas	149,53	82,82	68,29		282,22	241,04

Os níveis de deformação calculados são inferiores aos admissíveis, razão pela qual a espessura de 7cm é apta para todas as misturas nas condições especificadas para o dimensionamento, no entanto, os níveis de deformação obtidos na fibra inferior da camada de revestimento e no topo da plataforma de fundação são significativamente inferiores aos valores admissíveis calculados, sendo assim, se aprecia que a estrutura se encontra superdimensionada e podem ser feitos ajustes para diminuir as espessuras ou modificar os materiais utilizados.

Para uma situação de tráfego severo do tipo classe TC5, por exemplo, utilizando base de brita graduada (o que não é recomendável em razão da intensidade do tráfego), os resultados obtidos são apresentados na tabela 6, com uma espessura do revestimento de 9cm.

Com a espessura de 9cm atinge os resultados admissíveis de deformações para a mistura asfáltica convencional, no entanto, para a misturas asfálticas mornas ainda precisa de uma espessura maior (10cm). Apesar de que neste caso as deformações admissíveis estão dentro do limite para as camadas asfálticas, não estão para as deformações de compressão no topo do subleito. Desta forma, as misturas asfálticas mornas precisam de uma espessura maior (1cm) com a finalidade de atingir os requerimentos estabelecidos na normatividade francesa no referente às deformações no topo da plataforma de fundação.

Tabela 6 - Resumo dos resultados obtidos nos cálculos (9cm de espessura)

MISTURA	ξxx a 7cm (1e-6)			Deformação admissível	ξzz a 30cm (1e-6)	
	Deformação admissível	Deformação Calculada Coordenadas (0,0)	Deformação Calculada Coordenadas (0,18.75)		Deformação Calculada Coordenadas (0,0)	Deformação Calculada Coordenadas (0,18.75)
Convencional	125,81	81,32	70,25	394,58	389,67	343,47
Cecabase	124,18	89,39	75,94		428,66	373,95
Rediset	94,84	90,72	76,75		435,3	379,09
Zeólitas	120,17	88,32	75,2		424,72	370,79

CONCLUSÕES

O ensaio da PCG que testa a habilidade à compactação pode ser utilizado para definir a redução das temperaturas das misturas asfálticas mornas, em relação à mistura asfáltica convencional.

No ensaio de deformação permanente as misturas apresentaram um comportamento diferente, porém, aos 30.000 ciclos de solicitação, a mistura morna com Cecabase apresentou valores similares aos obtidos com a mistura convencional, embora a suscetibilidade à formação de trilha de roda apresentada pela mistura seja maior.

Ainda que os resultados para a norma do módulo aparentem valores similares nas misturas do estudo, os melhores indicadores do comportamento reológico são observados no módulo imaginário (parte viscosa) e no módulo elástico, para cada temperatura de ensaio e frequência de solicitação (plano Cole – Cole), onde são identificadas diferenças mais significativas.

A mistura morna com Cecabase apresentou um comportamento mais similar ao obtido com a mistura de referência no referente ao ensaio de módulo complexo.

Os valores da deformação para um milhão de ciclos das misturas asfálticas mornas elaboradas com zeólitas e com Cecabase são próximos à deformação da mistura asfáltica convencional (146,35).

Considerando que uma redução na parcela viscosa apresentada no plano Cole-Cole nas condições de condicionamento do ensaio de fadiga (10°C e 25Hz) geralmente acarreta um aumento na vida em fadiga, quando comparadas com a mistura asfáltica convencional, as misturas mornas modificadas com Cecabase e com Rediset não apresentaram esse padrão de comportamento.

Embora tenham sido encontradas diferenças comportamentais nos ensaios de módulo e de fadiga, nas condições adotadas para o dimensionamento de pavimentos, não foram encontradas diferenças significativas nas análises das deformações nos critérios de avaliação dos pavimentos para as misturas referentes a esta pesquisa.

Para as situações de tráfego leve, levando em conta as condições dos testes realizados nesta pesquisa, a utilização ou não de agentes modificadores representa um fator vantajoso, pois o comportamento mecânico das misturas asfálticas tornou-se equivalente para fins de dimensionamento das estruturas. Para tráfego severo (TC5), a mistura convencional teria um desempenho mecânico satisfatório com 9cm, enquanto que as estruturas de pavimento que contêm as misturas mornas necessitariam de uma camada asfáltica com 10cm de espessura.

REFERÊNCIAS

BARRA, B.S (2009). Avaliação da Ação da Água no Módulo Complexo e na Fadiga de Misturas Asfálticas Densas. Tese Doutorado apresentada à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis (2009).

MOMM, L. (1998), Estudo dos Efeitos da Granulometria Sobre a Macrotextura Superficial do Concreto Asfáltico e Seu Comportamento Mecânico. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP). São Paulo (SP).

OTTO, G. G. Misturas asfálticas mornas: verificação da fadiga e do módulo complexo. 2009. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2009.

GUERRERO, Y. A (2013) Avaliação do Desempenho Mecânico e Reológico de Misturas Asfálticas Mornas. Tese de Doutorado apresentada à universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Florianópolis (2013)

MANUEL LPC (2007), Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. Groupe de Travail RST "Formulation des enrobés". Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris, France.

AFNOR NF P 98-251-1 (1995), Essais Relatifs aux Chaussées - Préparation des Mélanges Hydrocarbonés. Essai de Duriez. Association Française de Normalisation, AFNOR.

AFNOR NF P 98-252 (1999), Essais Relatifs aux Chaussées: Essai à la presse à cisaillement giratoire PCG, Association Française de Normalisation, AFNOR.

AFNOR NF P 98-253-1 (1993), Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage. Association Française de Normalisation, AFNOR.

AFNOR NF P 98-260-2 (1992), Essais Relatifs aux Chaussées, Mesure des Caractéristiques Rhéologiques des Mélanges Hydrocarbonés - Partie 2 : Détermination du Module Complexe par Flexion Sinusoïdale, Association Française de Normalisation, AFNOR.

AFNOR NF P 98-261-1 (1993). Détermination de la résistance em fatigue des Mélanges Hydrocarbonés: Partie 1: Essai par flexion à amplitude de fleche constante. Paris, França. Norme Européenne, Association Française de Normalisation, AFNOR.

AFNOR NF EN 13108-1 (2007), Mélanges Bitumineux: Specification des Matériaux – Enrobés Bitumineux. Norme Européenne, Association Française de Normalisation, AFNOR.

SAYEGH, G. (1965), Contribution à l'étude des propriétés viscoélastiques des bitumes purs et des bétons bitumineux. Thèse de Docteur Ingénieur. Faculté des Sciences de Paris.