

IAG173-01-2013
ANÁLISE DO ENSAIO LABORATORIAL DE DEFORMAÇÃO
PERMANENTE DE MISTURAS DE CONCRETO ASFÁLTICO
MODIFICADAS
ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO DE DEFORMACIÓN
PERMANENTE DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS

Adosindro Joaquim de Almeida
Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC
Florianópolis, Brasil
aduzindo@yahoo.com.br

Leto Momm
Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC
Florianópolis, Brasil

leto.momm@gmail.com

Keyla Junko Shinohara
Universidade Federal de Santa Catarina -UFSC
Florianópolis, Brasil

keylajunko@gmail.com

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

RESUMEN

Este trabajo trata del estudio de deformación permanente en las placas de concreto asfáltico preparadas con la adición de los polímeros (falta mencionar los polímeros usados) y ensayadas en laboratorio. El objetivo es analizar los parámetros granulométricos y la modificación de las mezclas asfálticas. Para eso son formuladas 3 mezclas asfálticas: BBM-3 (Béton Bitumineux Mince classe 3) con adición de PR FLEX 20, BBM-2 (Béton Bitumineux Module Élevé classe 2) con adición de PR PLAST S y GB-4 (Grave Bitume classe 4). Todas las mezclas utilizaron ligante convencional 50/70 y los aditivos son aplicados directamente sobre los granulares durante la mezcla. Para la formulación de las mezclas son definidas dos curvas granulométricas, una curva para las mezclas BBM-3 y GB-4 y otra para la mezcla BBME-2. Las mezclas fueron formuladas de acuerdo con la metodología francesa de formulación de mezclas de concreto asfáltico. A partir del ensayo de la PCG (Prensa de Compactación por Cisallamiento Giratório) fueron determinados los contenidos de ligante asfáltico que atendieron las especificaciones de volumen de vacíos para cada mezcla y escogidos los contenidos de ligante para el ensayo de deformación permanente en el simulador de tráfico LPC (Laboratoire Ponts et Chaussées). A partir de los resultados es posible evidenciar las influencias de la modificación de las mezclas, del aumento del contenido de finos en la granulometría.

RESUMO

Este trabalho trata do estudo de deformação permanente nas placas de concreto asfáltico preparadas com adição dos polímeros e ensaiadas em laboratório. O objetivo é analisar a modificação das misturas asfálticas com *PR PLAST S* e *PR FLEX 20* em duas curvas granulométrica, destinadas para camadas diferentes de pavimento. Para isso são formuladas três misturas asfálticas: BBM-3 (*Béton Bitumineux Mince* classe 3) com adição de *PR FLEX 20*, BBM-2 (*Béton Bitumineux Module Elevé* classe 2) com adição de *PR PLAST S* e GB-4 (*Grave Bitume* classe 4). Todas as misturas utilizaram ligante convencional CAP 50/70 e os aditivos são aplicados diretamente sobre os granulares no momento da usinagem. Para a formulação das misturas são definidas duas curvas granulométricas, uma curva para as misturas BBM-3 e GB-4 e outra curva para a mistura BBME-2. As misturas foram formuladas de acordo com a metodologia francesa de formulação das misturas de concreto asfáltico. A partir do ensaio da PCG (Prensa de Compactação por Cisalhamento Giratória) foram determinados os teores de ligante asfáltico que atenderam as especificações de volume de vazios para cada mistura e escolhidos os teores de ligantes para o ensaio de deformação permanente no simulador de tráfego LPC (*Laboratoire Ponts et Chaussées*). A partir dos resultados são possíveis evidenciar as influências da modificação das misturas, do aumento do teor de fino na granulometria.

INTRODUÇÃO

O objetivo procurado na concepção de pavimento é assegurar aos usuários um bom nível de conforto e de segurança. No intuito de buscar melhor desempenho das misturas de concreto asfáltico que atendam aos objetivos do projeto, os pesquisadores vêm estudando as misturas de concreto asfáltico com adição dos polímeros para assegurar um bom funcionamento do pavimento, que evite a degradação precoce e os defeitos. Dentre todos os defeitos, um dos mais importantes é a deformação permanente sobre a superfície do pavimento, formando as trilhas de roda e degradação acelerada, da superfície e na estrutura de pavimento, colocando em risco os usuários. Em épocas de chuvas, há a ocorrência de formação de lâmina da água ao longo dos trechos nos afundamento das trilhas de roda, tornando-se nula aderência pneu-pavimento, ocasionando os efeitos conhecidos por hidroplanagem e viscoplanagem.

A deformação permanente pode ser originada principalmente pela instabilidade do concreto asfáltico ocasionada pela fluência excessiva da mistura, agravada por temperaturas elevadas, lembrando que as misturas de concreto asfáltico herdaram as características viscoelásticas e termosuscetível do ligante asfáltico. Diferentes mecanismos podem ser a base de formação de deformação permanente na trilha de roda. A sensibilidade dos pavimentos flexíveis para a deformação permanente depende de vários fatores, como: características estruturais do pavimento, granulometria (tipo e tamanho dos granulares), volume de vazios, teor de ligante asfáltico etc (Ali, 2006).

A estabilidade mecânica da mistura de concreto asfáltico é alcançada a partir de uma formulação adequada, da disposição dos granulares na massa e da porcentagem de cimento asfáltico. Em geral as misturas de concreto asfáltico que apresentam deformação permanente em laboratório, dentro dos limites especificados para a camada de concreto asfáltico em particular, no campo não apresentam deformação permanente. (Brosseaud et al., 1997; Momm, 1998).

Existem vários parâmetros que influenciam na deformação permanente, destacando a temperatura, o teor de vazios, a granulometria, o tipo e teor de cimento asfáltico. Para que o

concreto asfáltico tenha desempenho satisfatório quanto a deformação permanente precisa ser formulado com controle da porcentagem de vazios remanescente após a compactação e durante o uso. A deformação permanente tende a crescer na proporção inversa da porcentagem de vazios e na proporção direta da porcentagem de cimento asfáltico na massa (Momm, 1998).

Neste trabalho foram formuladas três misturas com aplicação de dois aditivos poliméricos *PR PLAST S* (base plastômero) e *PR FLEX 20* (junção de plastômeros e elastômeros): *BBM-3 (Béton Bitumineux Mince* classe 3) com adição de *PR FLEX 20*, *BBME-2 (Béton Bitumineux Module Élevé* classe 2) com adição de *PR PLAST S*, e *GB-4 (Grave Bitume* classe 4). Todas as misturas deste trabalho são compostas de ligante convencional 50/70 e os aditivos são adicionados sobre os granulares no momento da usinagem das misturas. Foram definidas duas curvas granulométricas com diâmetro máximo igual a 16mm diferenciando-se nos teores de finos. Os teores de ligante foram calculados com base no módulo de riqueza de cada mistura e a partir do ensaio de PCG (Prensa de compactação por cisalhamento giratória) foram encontradas os teores de ligante que atendem as especificações das misturas tratadas neste artigo. Foram avaliados no ensaio de PCG três teores de ligante para cada mistura, sendo escolhido um teor que melhor satisfaz a condição para o ensaio de deformação permanente, ou seja, que atendam os limites especificados de porcentagem de volumen de vazios.

ENSAIO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE

O ensaio de deformação permanente tem como objetivo verificar a resistência ao acúmulo de deformação devido à passagem repetida de pneu (afundamento na trilha de roda) utilizando-se o equipamento do ensaio de deformação permanente, desenvolvido no LPC (*Laboratoire des Ponts et Chaussées*) da França. O corpo de prova é uma placa paralelepípeda de dimensões 18,00cm de largura, 50,00cm de comprimento e 5,00cm ou 10,00cm de espessura, essa espessura é em função do tipo de mistura asfáltica. Depois de compactar e passar por período de cura, as placas são submetidos ao tráfego de uma roda equipada de pneumático com uma frequência de 1Hz, carga de 5KN e pressão de 6bars, em condição de temperatura severa de 60°C (NF P 98-253-1, 1991). As medições são feitas em 15 pontos diferentes das placas. Após 100, 300, 1000, 3000, 10000 e 30000 ciclos, e obtém-se as médias do afundamento devido ação do carregamento cíclico, sempre em relação às medidas iniciais.

O resultado é expresso na profundidade da deformação produzida pela passagem repetida da roda. É notada em função de número de ciclo, são calculados os resultados em porcentagem a partir da Equação (1).

$$Y = A \left(\frac{N}{1000} \right)^b \quad (1)$$

Onde:

A = profundidade da deformação a 1000 ciclos;

b = inclinação da reta em coordenadas logarítmicas;

N = número de ciclos;

Y = profundidade da deformação a N ciclos.

O ensaio de deformação permanente permite rejeição das misturas que apresentam afundamento de trilha de roda fora do intervalo permitido pela norma para cada tipo de mistura. A rejeição inicia-se com interrupção do ensaio sempre que, após cada série de ciclos, for verificado que o

valor do afundamento médio na trilha de roda tenha atingido 15% em relação à espessura inicial. (LPC, 2007).

CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Caracterização dos Materiais Granulares

Os materiais granulares utilizados nesta pesquisa são de origem granítica, proveniente da região do município de Palhoça/SC. São utilizadas as peneiras de aberturas: 15,9mm; 12,7mm; 9,5mm; 6,5mm; 4,76mm; 2,38mm; 1,19mm; 0,59mm; 0,30mm; 0,15mm e 0,075mm.

Os ensaios de caracterização dos granulares apresentaram resultados satisfatórios conforme apresentado na Tabela 1. As características atenderam as especificações exigidas pelas normas citadas para cada ensaio.

Tabela 1: Resultado de caracterização dos granulares

DESCRIÇÃO DE ENSAIOS	RESULTADO	LIMITES
Los Angeles	20,03%	Máx 40%
Durabilidade	0,95%	Máx 12%
Índice de Forma (média geral)	2,45	Máx 3
Massa Volumétrica Real (MVR)	2,744 g/cm ³	-

Definição da Curva Granulométrica

As curvas granulométricas definidas para pesquisa são de graduação densa. Para a determinação da curva é fixado o tamanho máximo de peneira 15,9mm, lembrando que o tamanho máximo é escolhido em função da espessura da camada a ser colocada no pavimento.

As curvas granulométricas definidas pela pesquisa são calculadas pela Equação (2).

$$p = 100 \cdot \left(\frac{d}{D}\right)^n \quad (2)$$

Onde:

p é a porcentagem que passa na peneira de abertura d;

a é a uma constante igual a 100;

d é menor diâmetro da peneira (mm);

D é o diâmetro máximo de abertura da peneira que passa 100% (mm) e

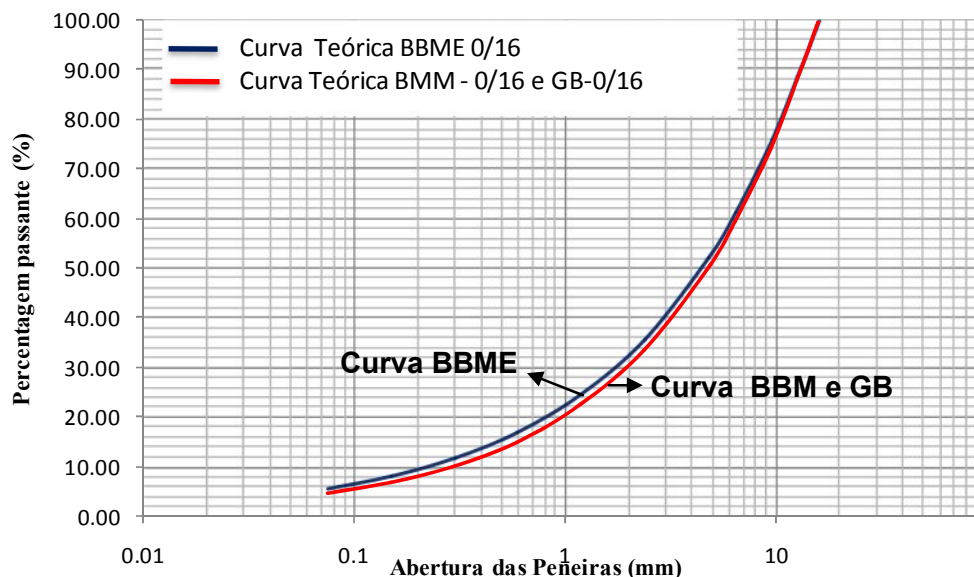
n é expoente da curva granulométrica.

A distribuição granulométrica é mostrada na Tabela 2 e são ilustradas na Figura 1.

Tabela 2: Distribuição granulométrica.

MISTURA <i>Béton Bitumineux Mince e Grave Bitume</i>		MISTURA <i>Béton Bitumineux Module Élevé</i>	
Expoente n da curva granulométrica = 0,54		Expoente n da curva granulométrica = 0,58	
Abertura (mm)	Material Passante (%)	Abertura (mm)	Material Passante (%)
15,9	100,00	15,9	100,00
12,7	87,80	12,7	88,54
9,5	74,22	9,5	75,66
6,45	59,31	6,45	61,35
4,76	49,75	4,76	52,05
2,38	33,30	2,38	35,76
1,19	22,30	1,19	24,57
0,59	14,85	0,59	16,80
0,3	10,04	0,3	11,65
0,15	6,72	0,15	8,00
0,075	4,5	0,075	5,5

Figura 1: Curva granulométrica.



Caracterização dos Ligantes Asfálticos

O ligante asfáltico 50/70 é caracterizado pelos seguintes ensaios: Penetração (DNIT 155/2010-ME); Ponto de amolecimento (DNER-ME 247/94); Viscosidade utilizando o viscosímetro Saybolt-Furol (DNER-ME 004/94) e Densidade relativa (ABNT NBR 6296/2004).

Os resultados dos ensaios de caracterização do ligante asfáltico apresentaram-se satisfatórios, pois estão dentro dos limites especificados do CAP 50/70 conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Resultado de caracterização do ligante asfáltico (CAP).

DESCRIÇÃO DO ENSAIO	RESULTADO	LIMITE
Penetração	65.10 ⁻¹ mm	50 a 70.10 ⁻¹ mm
Ponte de amolecimento	47°C	Mím. 46°C
Densidade	1,029g/cm ³	-

O ensaio de adesividade do ligante aos granulares, foi realizado utilizando o ativador Betudope 100, com adição de 0,5%; 1,0% e 1,5% em relação ao ligante asfáltico. O resultado do ensaio sem adição do ativador de adesividade não foi satisfatório e somente, a partir de 0,5% de adição do ativador, os resultados foram satisfatórios. Para garantir uma boa adesividade na aderência granular-ligante para todas as misturas, foram adotadas de 1,0% do ativador para a pesquisa. A partir do ensaio de viscosidade é possível determinar as temperatura de trabalho, conforme apresenta na Tabela 4.

Tabela 4: Temperaturas de trabalho.

LIGANTE	TEMPERATURAS DE TRABALHO °C			
	MISTURA	COMPACTAÇÃO	LIGANTE	GRANULAR
CAP 50/70+1% Dope	162 à 168	150 à 156	162 à 168	172 a 178

CARACTERÍSTICAS DOS ADITIVOS

Aditivo PR PLAST S

O *PR-PLAST S* é um aditivo do tipo plastômero, composto de poliolefina termoplástica, destinado a melhorar as características mecânicas das misturas asfálticas. A taxa de adição na mistura asfáltica está compreendida entre 0,4% e 0,8% em peso total da mistura asfáltica. Apresenta-se na Tabela 5 as propriedades do *PR PLAST S* e ilustrado o seu aspecto na Figura 2.

Tabela 5: Propriedade física e química do *PR PLAST S*

PROPRIEDADE	VALOR TIPO
Estado físico	Sólido
Aspecto	Granular
Ponto fusão	60°C - 125°C
Densidade	0,4 gr/cm ³ - 1gr/cm ³

Figura 2: Grãos de *PR PLAST S*



Aditivo PR FLEX 20

O *PR FLEX 20* é um aditivo composto basicamente de uma mistura de elastômero e plastômero por um ligante asfáltico especial, em que a composição é de 30% de asfalto e 70% de polímeros. A taxa de adição na mistura está entre 5 à 10% do ligante. Apresenta-se na Tabela 6 as propriedades do *PR FLEX 20* e ilustrado o seu aspecto na Figura 3.

Tabela 6: Propriedade física e química

PROPRIEDADE	VALOR TIPO
Estado físico	Sólido
Aspecto	Granular
Ponto fusão	60°C - 125°C
Densidade	0,98 gr/cm ³ ; 1gr/cm ³

Figura 3: Grãos de *PR PLAST S*



Taxa de Adição dos Aditivos

A taxa utilizada dos aditivos na formulação das misturas asfálticas nesta pesquisa é baseada na média das taxas recomendadas pelo fabricante do aditivo. Na mistura BBME-2 é utilizada a taxa de 0,60% de *PR-PLAST S* sobre a massa da mistura de concreto asfáltico e para a mistura BBM-3 a taxa é de 7,00% de *PR-FLEX 20* sobre a massa do ligante asfáltico.

PREPARAÇÃO E USINAGEM DAS MISTURAS DE CONCRETO ASFÁLTICO

Duas placas são preparadas para cada mistura no ensaio de Deformação Permanente, sendo as misturas BBME-2 e BBM-3 com as dimensões da placa de 50,00cm de comprimento, 18,00cm de largura e 5,00cm de espessura, e quanto à mistura GB-4 possui uma placa com a espessura 100mm.

A compactação de placas é realizada num compactador pneumático de origem francesa desenvolvido no LPC. Este equipamento é pneumático (Figura 4), com pressão regulável acoplado a um macaco hidráulico. A pressão é ajustável em função de energia de compactação desejada. Possui um bloco de comando que permite os ajustes de pressão e de programação das passadas. É utilizada nesta pesquisa a roda lisa de eixo simples conforme ilustra a imagem da Figura 4.

Figura 4: Mesa compactadora de placas



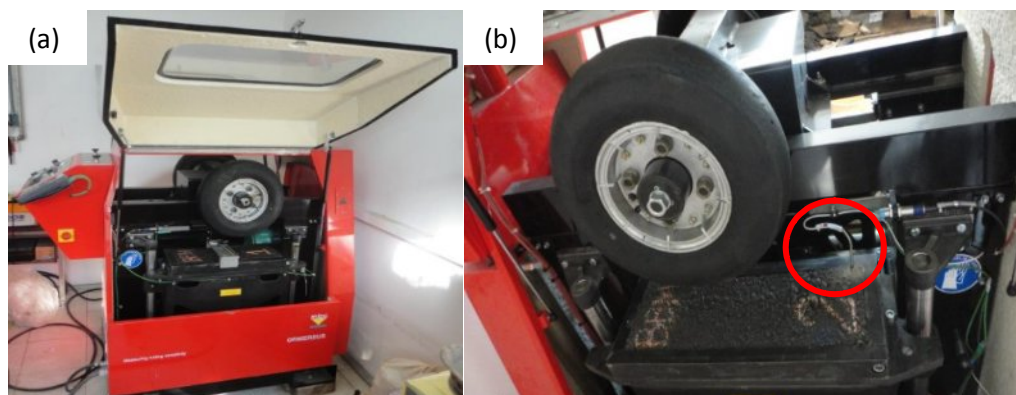
O processo de compactação é realizado de acordo com os critérios da norma NF P 89-250-2, 1991 (*Preparation des mélanges hydrocarbonés – Compactage des plaques*). As posições de passada do pneu são permitidas pelo equipamento em três posições: central (eixo da placa), traseira (eixo lateral), frente (eixo lateral).

Após o período de cura das placas de concreto asfáltico em repouso por um período de duas semanas, inicia-se o ensaio de Deformação Permanente. O ensaio é realizado no equipamento de Deformação Permanente do LPC (Figura 5 a), possibilitando a realização de ensaio de duas placas simultaneamente.

Inicialmente as placas são submetidos a 1.000 ciclos do pneu na condição frio, e é feita a primeira leitura que serve de referência da superfície da placa.

O equipamento, antes do início do ensaio, é condicionado a uma temperatura controlada de 60°C durante 12 horas. A temperatura é controlada através da sonda térmica de monitoramento inserida na placa conforme ilustrada na figura 5 b.

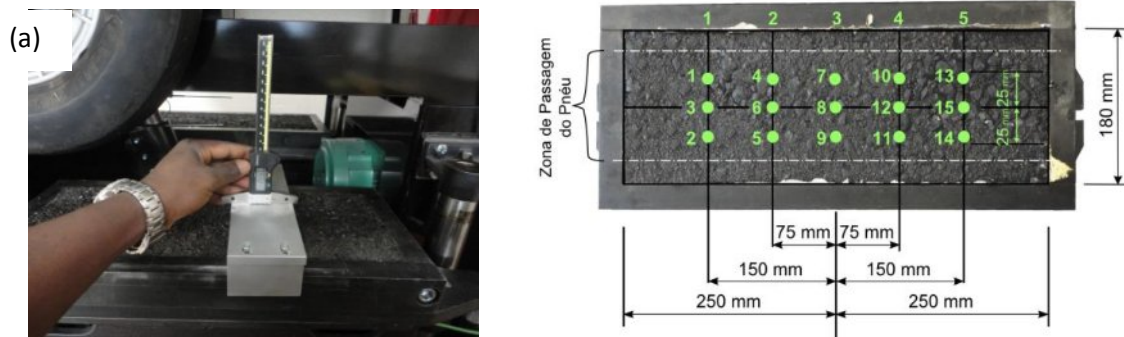
Figura 5: (a) Equipamento do ensaio de Deformação Permanente, (b) Sonda térmica de monitoramento da temperatura.



Depois do período de condicionamento de 12 horas, inicia-se a realização das leituras de passadas repetidas do pneumático. As leituras são realizadas após 100, 300, 700, 1.000, 3.000, 7.000 1.0000 e 30.000 ciclos na superfície de zona de contato do pneu-placa asfáltica. O tempo de recondicionamento é de 2 horas, entre o fim da leitura e do novo período de solicitação.

Na realização da leitura é usado um sistema de régua com paquímetro (Figura 6 a) que medem quinze pontos em toda a placa (Figura 6 b).

Figura 6: (a) Medição da profundidade d (b) ormação, (b) Pontos de leitura do ensaio de Deformação Permanente.



RESULTADO DE ENSAIO DE DEFORMAÇÃO PERMANENTE

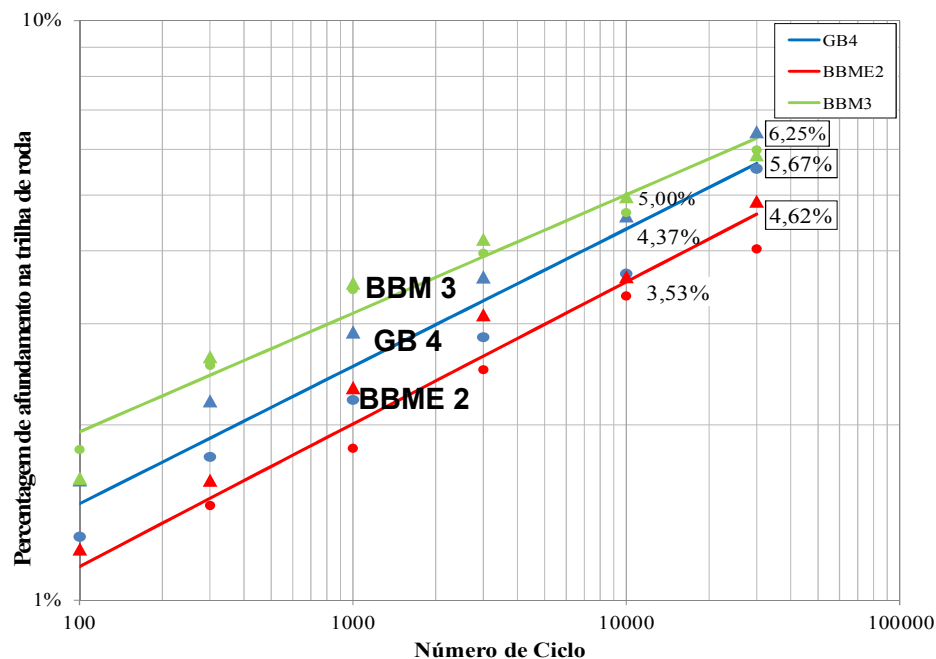
Os resultados do ensaio de Deformação Permanente determinado a partir do cálculo da regressão do par de placas para cada mistura mostram a evolução de afundamento na trilha de roda nas placas para 10.000 ciclos e 30.000 ciclos apresentado na Tabela 7 com os respectivos limites especificados no manual de formulação Francês (LPC, 2007).

Tabela 7: Resultado do ensaio de Deformação Permanente.

Mistura	Teor de ligante (%)	Afundamento Permanente 10.000 ciclos (%)	Afundamento Permanente 30.000 ciclos (%)	Limites Especificados em (%)
BBME-2	4,95	3,53	4,62	$\leq 7,50$
GB-4	4,45	4,37	5,67	$\leq 10,00$
BBM-3	4,70	5,00	6,25	$\leq 10,00$

Os resultados do ensaio de Deformação Permanente obtidos para todas as misturas são ilustrados nos gráficos das Figuras 7 e apresentam a evolução da porcentagem de afundamento da trilha de roda.

Figura 7: Deformação Permanente das misturas GB, BBME e BBM.



Os resultados obtidos são satisfatórios, isto é, o valor de afundamento da trilha de roda para 30.000 ciclos está abaixo de 7,50%, para a mistura BBME-2. Para as misturas GB-4 e BBM-3 os valores de afundamento da trilha de roda para 30.000 ciclos estão abaixo de 10%, logo, as misturas analisadas atendam os limites especificados visto na Tabela 8.

CONCLUSÕES

Os resultados são satisfatórios, pois atendem os limites especificados para todas as misturas. Vale lembrar que de acordo com o manual de formulação francesa, a misturas de concreto asfáltico do tipo GB-4 são destinadas para camadas de estrutura de pavimento com a espessura variando de 8 a 15 cm dependendo da granulometria. Por isso, é recomendado que o ensaio de deformação fosse executado com a placa de 10 cm de espessura. Os resultados foram analisados especificamente, uma vez que cada misturas foram formuladas especificamente.

No gráfico de resultado de afundamento na trilha de roda pode-se perceber que a mistura BBME-2 modificado com PR PLAST S, executado com uma placa de 5 cm, apresenta menor valor na evolução de afundamento de trilha de roda, isto se deve à modificação e a composição granulométrica de 1% de teor de finos a mais em relação às misturas GB-4 e BBM-3.

Quanto às misturas BBM-3 em relação à mistura GB-4 a diferença de afundamento de trilha de roda é de 0,58% em 30.000 ciclos. Tudo indica que, se a placa de ensaio de deformação permanente for da mesma espessura, a mistura BBM-3 modificada com PR FLEX 20 apresentaria menos afundamento para 30.000 ciclos.

Portanto a modificação das misturas de concreto asfáltico com os aditivos PR FLEX 20 e PR PLAST S apresentaram o resultado satisfatório, pois melhoram as características no afundamento de trilha de roda, e também teve a influência de teor de finos (filler), isto é, no menor afundamento na trilha de roda.

REFERÊNCIAS CONSULTADAS

- Ali, B. (2006). Modèle numérique pour comportement mécanique des Chaussées: Application à l'analyse à l'analyse de l'orniérage. Thèse de Docteur Ingénieur, université des sciences et technologies de.
- Association Française de Normalisation. AFNOR NF P 98-253-1. Essais relatifs aux Chaussées: déformation permanente des mélanges hydrocarbonés. Partie 1: Essai d'Orniérage, 1991.
- Brosseaud, Y; Hiernaux, R, (1997). Etude de sensibilité aux déformations permanentes des Symposium Rilem. Lyon 97. pp. 309-316.

- Dongmo-Engeland, B-J. (2005). Caracterisation des deformations d'orniérage des Chaussées, bitumineuses. Thèse de Docteur Ingénieur. Institut National des sciences Appliquées de Lyon. Laboratoire GéoMatériaux du Département Génie Civil et Bâtiment de Ecole Nationale des Travaux Publics de l'État.
- LPC. Manuel LPC d'aide à la formulation des enrobés. Groupe de travail RST "Formulation des enrobés". Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris. 2007.
- Momm, L. (1998). Estudo dos efeitos da granulometria sobre a macrotestura superficial do Concreto asfáltico e seu comportamento mecânico. Tese de Doutorado. São Paulo. 259p.