

## ANÁLISE DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DRENANTES UTILIZANDO LIGANTES ASFÁLTICOS MODIFICADOS

**Emmanuelle Stefânia Holdefer Garcia**

**Vanesa Mária Kolodziej**

**Liseane Padilha Thives**

**Glicério Trichês**

Universidade Federal de Santa Catarina  
Departamento de Engenharia Civil

### RESUMO

Neste artigo foram avaliadas em laboratório as propriedades drenantes e de resistência mecânica de duas misturas asfálticas drenantes. Com igual curva granulométrica aberta e diâmetro máximo de agregado de 9,5 mm, as misturas apresentam dois tipos de ligantes asfálticos modificados, borracha moída de pneus e polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS). Foram realizados ensaios de desgaste, dano por umidade induzida, deformação permanente e permeabilidade (permeâmetro de carga variável). O teor de ligante da mistura borracha foi de 5% e da mistura SBS de 6%. Ambas apresentaram volume de vazios acima de 18%, vazios comunicantes acima de 10%, desgaste Cantabro e o dano por umidade induzida interiores a 20% e deformação permanente inferior a 10%. A velocidade de escoamento foi superior a 0,12 cm/s nas duas misturas. Ao final, tem-se que as duas misturas satisfazem as condições submetidas nos ensaios e os dois tipos de ligante podem ser utilizados em misturas asfálticas drenantes.

### ABSTRACT

In this article the drainage and mechanical strength properties of two drainage asphalt mixtures were evaluated in the laboratory. With the same open granulometric curve and maximum aggregate diameter of 9.5 mm, the mixtures have two types of modified asphaltic binders, tire rubber milled and styrene-butadiene-styrene (SBS) polymer. Tests of Cantabro, damage by induced humidity, rutting and permeability (variable load permeameter) were performed. The binder content of the rubber mixture was 5% and the SBS mixture was 6%. Both presented volume of voids above 18%, voids interconnected above 10%, Cantabro and damage by induced humidity at 20% and rutting less than 10%. The flow rate was greater than 0.12 cm/s in the two mixtures. At the end, the two mixtures are found to satisfy the conditions submitted in the tests and the two types of binder can be used in porous asphalt mixtures.

### 1. INTRODUÇÃO

O revestimento superficial é uma camada fundamental de qualquer tipo de solução de pavimento devido ao fato que ele oferece diferentes características funcionais tais como atrito, textura, baixo ruído, redução da projeção da água (splash), refletividade, drenagem, resistência química, etc. Esse desempenho deve estar vinculado a um nível satisfatório de resistência mecânica (PIARC, 2013).

A presença de água na superfície das rodovias acarreta problemas de segurança aos usuários pela perda de aderência do pneu/pavimento, o risco de hidroplanagem e viscoplanagem e diminuição da visibilidade, o que produz um aumento no número de acidentes de tráfego nos dias chuvosos. A utilização de revestimentos asfálticos drenantes reduz consideravelmente o número de acidentes de trânsito porque eles têm uma porcentagem elevada de vazios comunicantes, o que permite que a água se infiltre por entre seus poros produzindo a drenagem da superfície de rolamento. Ao mesmo tempo, essa porcentagem elevada de vazios e vazios comunicantes pode reduzir a resistência mecânica desse tipo de revestimentos, por isso são utilizados ligantes modificados (PORTO, 1999).

Com o objetivo de melhorar as propriedades mecânicas neste trabalho foram utilizados ligantes asfálticos modificados com borracha moída de pneus e polímero Estireno-Butadieno-

Estireno (SBS). Os mesmos são adicionados visando melhorar o desempenho dos pavimentos quanto à deformação permanente, desagregação e dano por umidade induzida. As misturas drenantes com ligantes modificados são mais resistentes à ação da água do que os com ligantes convencionais.

Este trabalho tem como objetivo avaliar e comparar o desempenho mecânico por meio de ensaios de laboratório de duas misturas com diferentes tipos de ligantes asfálticos modificados visando otimizar o desenho das misturas asfálticas drenantes.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Os revestimentos asfálticos drenantes são os que apresentam melhores características drenantes porque eles têm uma porcentagem elevada de vazios comunicantes, o que permite que a água se infiltre por entre seus poros produzindo a drenagem da superfície de rolamento (LEFEBVRE, 1993).

As principais vantagens dos revestimentos drenantes são (Lefebvre, 1993; Oliveira 2003; e Guimarães, 2012): segurança e conforto na condução no período de precipitação pela elevada aderência dos pneus; melhoria da visibilidade devido à redução da projeção de água formada atrás dos veículos; redução da reflexão luminosa principalmente à noite eliminando o fenômeno de espelhamento e melhorando visualização da sinalização horizontal; melhoria do ambiente sonoro por redução do ruído provocado ao nível da interface pneu/pavimento; reduz fenômenos de hidroplanagem e viscoplanagem; rápida evacuação da água nas deformações evitando que ela fique acumulada nas trilhas de roda sobre a superfície do pavimento.

Dentre as desvantagens dos revestimentos drenantes estão: contribuição estrutural pouco significativa; colmatção e perda de permeabilidade; envelhecimento precoce do ligante asfáltico; perda de coesão da mistura e conseqüentemente desprendimento de agregados. A utilização de ligantes modificados é atribuída por conferirem à mistura drenante maior resistência à oxidação e boa adesividade entre os agregados, mesmo com elevada porcentagem do volume de vazios (PORTO, 1999).

Os polímeros mais amplamente utilizados na modificação de asfaltos para fins rodoviários são os elastômeros que contribuem de forma mais substancial para as melhorias das propriedades elásticas e da coesão tendo como principal o Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) (SOTO, 1997). Nos elastômeros SBS o estireno confere ao asfalto viscosidade importante em temperaturas elevadas enquanto que o butadieno confere ao ligante uma grande elasticidade em uma larga faixa de temperaturas, mais particularmente em baixas temperaturas. Assim os polímeros SBS diminuem a susceptibilidade térmica do ligante, sobretudo à fragilidade no frio e aumentam a coesão, melhorando os concretos drenantes quanto aos arrancamentos e cisalhamento (SERFASS, 1997).

As vantagens previstas em função da incorporação de borracha de pneus usados a um cimento asfáltico são: redução do envelhecimento, aumento da flexibilidade, aumento do ponto de amolecimento, o que significa um aumento da resistência ao acúmulo de deformação permanente nas trilhas de roda e proporcionam misturas asfálticas mais resistentes às variações de temperatura (RUTH B.E. et al., 1997).

A porcentagem de inserção destes modificadores deve ser cautelosa pois, os ligantes asfálticos modificados por polímero ou por borracha podem reduzir a permeabilidade das misturas

devido à elevada viscosidade. No estudo de (Lu, Q.; Fu, P.C. & Harvey, J. T., 2009), o asfalto-borracha apresentava 1/3 da permeabilidade da mistura com ligante convencional. Em misturas com ligantes modificados existe um menor volume de vazios comunicantes que em misturas abertas com ligantes convencionais.

Os dois tipos de permeômetros, em geral, utilizados para a avaliação de misturas abertas: os permeômetros de carga hidráulica variável e os permeômetros de carga hidráulica constante. Com o objetivo de avaliar a característica de permeabilidade das misturas, foi desenvolvido em 1988 o permeômetro LCS (Laboratorio Escuela de Caminos de Santander). Este equipamento é um permeômetro de carga variável que permite avaliar in situ, a permeabilidade da camada, a partir do tempo que um determinado volume de água demora a infiltrar-se no pavimento. O procedimento de ensaio é descrito na norma espanhola NLT 327/00 (CEDEX, 2000).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

O programa experimental proposto trata da avaliação de desempenho de duas misturas asfálticas drenantes utilizando diferentes tipos de ligantes asfálticos. As misturas foram desenvolvidas seguindo a mesma granulometria e procedência dos agregados, os ligantes asfálticos utilizados são modificados por borracha e por polímero SBS. Em ambas as misturas foram realizados ensaios de caracterização e de desempenho, a Figura 1 apresenta o fluxograma das etapas do programa experimental.

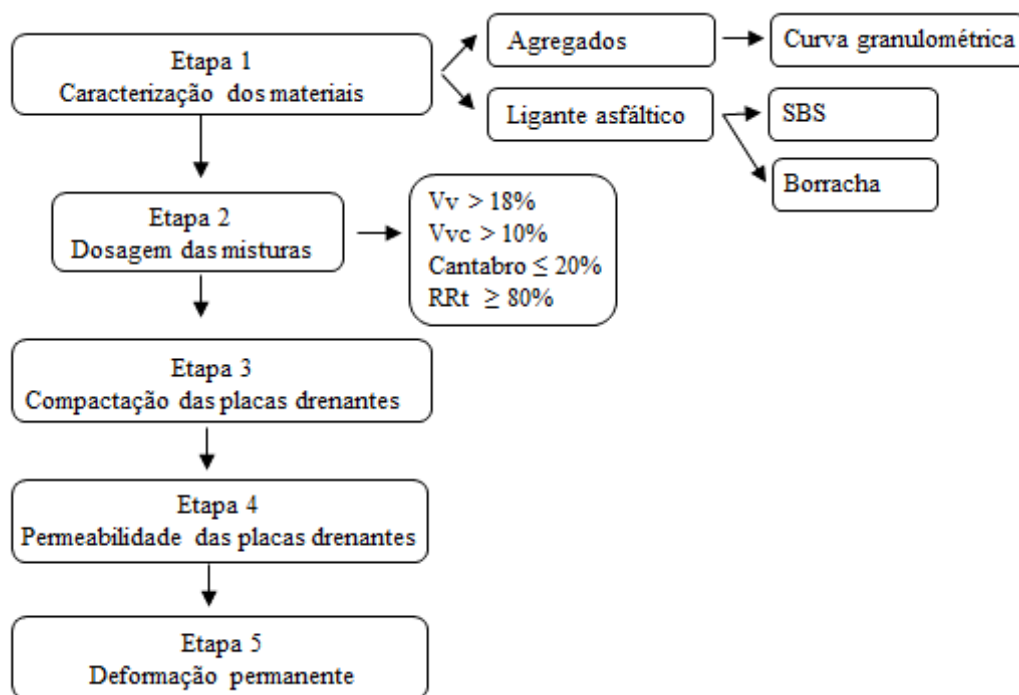


Figura 1: Fluxograma do programa experimental

#### 3.1. Etapa 1: Caracterização dos materiais

Os agregados utilizados são provenientes da região sul do Brasil, são de natureza granítica, apresentam boa forma e resistência quanto ao desgaste e abrasão. Após caracterização dos agregados por meio de ensaios convencionais foi determinada a curva granulométrica.

Como forma de avaliação da diferença entre os resultados obtidos foram utilizados dois tipos

de ligantes, sendo um modificado com 15% de borracha de pneus inservíveis do tipo terminal *blend* e outro modificado com polímero Estireno-Butadieno-Estireno (SBS). Os ligantes asfálticos foram caracterizados através de ensaios convencionais prescritos nas normas brasileiras.

### 3.2. Etapa 2: Dosagem da mistura asfáltica

Na segunda etapa foi feita a dosagem das misturas asfálticas, para determinação dos teores de projeto. As misturas foram dosadas de acordo com a metodologia ASTM D7064 (2013). Foram utilizados moldes cilíndricos metálicos com dimensões de 100 mm x 63,5 mm. Os parâmetros utilizados como critério de dosagem foram: (i) volume de vazios  $\geq 18\%$  (DNER - ME 117, 1994), (ii) volume de vazios comunicantes  $\geq 10\%$  (AFNOR-NF-P-98-254-2, 1993), (iii) perda de massa máximo de 20% (DNER-ME 383, 1999) e (iv) resistência retida a tração  $\geq 80\%$  (AASHTO T283, 2011).

### 3.3. Etapa 3: Compactação das placas drenantes

As placas drenantes foram compactadas na mesa compactadora desenvolvida pelo *French Central Laboratory of Roads and Bridges (LCPC)*, atual *IFSTTAR (French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks)*- A compactação seguiu a norma AFNOR NF 98-250-2 (1991), utilizando moldes retangulares com dimensões de 50 x 18 x 5 cm. A sequência de compactação seguiu a recomendada pela especificação francesa para misturas drenantes, entretanto, com a introdução, sobre a mistura, de uma chapa metálica com dimensões de 50 x 18 x 5 cm em passagens intercaladas do pneu na compactadora. As placas foram compactadas até que a densidade aparente determinada na dosagem fosse atingida. Com espessura de 50 mm, usualmente adotadas para revestimentos drenantes, foram compactadas 4 placas drenantes, duas para cada tipo de mistura asfáltica drenante.

### 3.4. Etapa 4: Permeabilidade das placas drenantes

Após compactação e resfriamento das placas, foram determinados os parâmetros de volume de vazios e de vazios comunicantes seguindo as normas DNER - ME 117 (1994) e AFNOR-NF- P-98-254-2 (1993). A verificação dos critérios determinados na dosagem teve o objetivo de assegurar que as misturas aplicadas em campo correspondam aos projetos desenvolvidos em laboratório, tanto em permeabilidade como em resistência mecânica.

O permeâmetro espanhol normatizado pela LCS norma NLT – 327/00 (CEDEX, 2000) de carga variável foi usado para medir a permeabilidade das misturas é mostrado na Figura 2.



**Figura 2:** Fluxograma do programa experimental

Neste ensaio é cronometrado o tempo necessário para a percolação de uma coluna de água pela placa de mistura asfáltica. A permeabilidade das misturas foi determinada em função do tempo de escoamento do volume de água conhecido conforme a Equação 1:

$$Lnk = 7,624 - 1,348LnT \quad (1)$$

em que  $k$ : coeficiente de permeabilidade [cm/s];  
 $T$ : tempo de percolação [s].

O NCAT (*National Center of Asphalt Technology*) sugere como valor mínimo de permeabilidade de 0,12 cm/s (ALVAREZ. et al, 2006). Quanto maior a permeabilidade da mistura, maior a capacidade do revestimento em drenar água sobre a rodovia, melhorando fatores de segurança. Altas permeabilidades também estão associadas a redução do mecanismo de bombeamento do ar e com uma maior absorção acústica (LU, Q; FU, P.C. & HARVEY, J. T., 2009).

### 3.5. Etapa 5: Ensaio de deformação permanente

O equipamento utilizado em laboratório para avaliação da resistência à deformação permanente foi o simulador de tráfego francês *Ornièreur* de acordo com a norma francesa AFNOR NF P 98-253-1 (1993). Neste ensaio, um eixo simples de roda simples com carga vertical de 5 KN e pressão de 0,6 MPa, aplica sobre a placa asfáltica carregamento em movimento longitudinal em ciclos de 1 Hz.

O afundamento na trilha de roda é medido em quinze pontos a determinados número de ciclos, com o auxílio de paquímetro digital. A localização dos pontos está prescrita na norma francesa e as leituras são realizadas nos seguintes ciclos: 1.000, 3.000, 5.000, 10.000, 20.000 e 30.000.

## 4. RESULTADO

### 4.1. Caracterização dos materiais

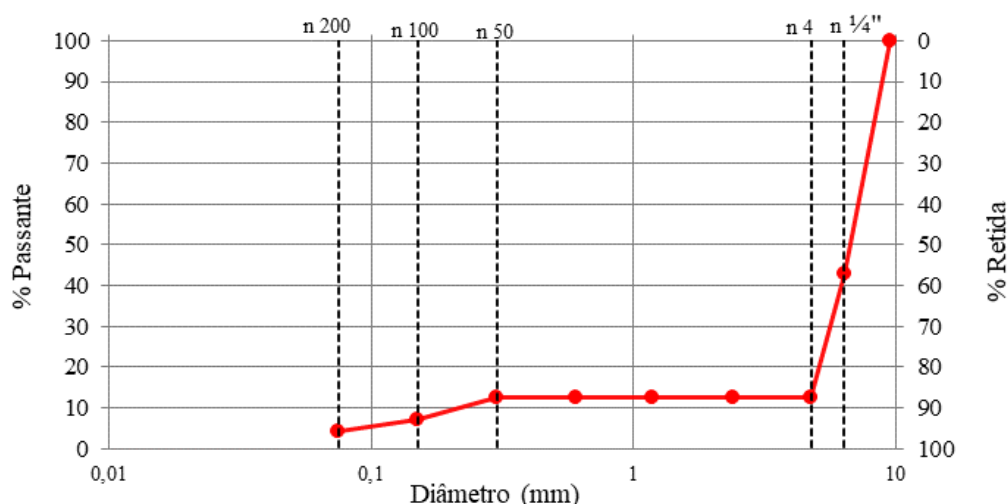
Os resultados dos ensaios convencionais de caracterização dos agregados são apresentados na Tabela 1. Os agregados atenderam as especificações normativas sendo indicados para o uso em misturas asfálticas abertas. No ensaio de adesividade, a mistura utilizando ligante

modificado por SBS apresentou pequeno deslocamento de partículas e assim, 0,3% de dope foi adicionado.

**Tabela 1:** Normas e resultados para caracterização dos agregados

Ensaio	Norma	Limites	Resultado
Absorção do agregado graúdo (%)	DNER-ME 081/1998	-	0,47
Avaliação da durabilidade (%)	DNER-ME 089-1994	12 (max)	2,80
Abrão Los Angeles (%)	DNER-ME 035-1998	30 (max)	21,47
Partículas máximas não cúbicas (%)	ABNT 5564/2011	NBR 10 (máx.)	9,00

A curva granulométrica utilizada foi a desenvolvida por Guimarães (2012), e está ilustrada na Figura 3.



**Figura 3:** Curva granulométrica utilizada nas duas misturas. Fonte: Guimarães (2012)

A Tabela 2 apresenta os resultados de caracterização dos ligantes, bem como as temperaturas de trabalho.

**Tabela 2:** Propriedades e temperaturas dos ligantes

Qualidade	Borracha		SBS	
	Norma	Resultado	Norma	Resultado
Penetração, 100g, 5 s, 25°C (0,1mm)	NBR 6576	49,0	DNIT-ME 155	52,4
Ponto de Amolecimento (°C)	NBR 6560	57,0	DNIT-ME 131	69,5
Recuperação Elástica, 10cm, 25°C (%)	NBR 15086	66,0	NBR 15086	86,0
Temperaturas utilizadas				
Aquecimento do ligante (°C)	-	170,0	-	160,0
Ideal de mistura (°C)	-	175,0	-	165,0
Mínima de compactação (°C)	-	150,0	-	145,0

#### 4.2. Dosagem das misturas

Neste estudo, a dosagem das duas misturas asfálticas drenantes seguiu recomendações da



norma ASTM D7064 (2013) e quatro teores de ligante foram utilizados em cada mistura para determinação do teor de ligante de projeto. As porcentagens de ligantes variaram de 4,5 a 6,0 %. Os corpos de prova foram compactados no compactador giratório SUPERPAVE utilizando cilindros metálicos com dimensões de 100 mm x 63,5 mm, o número de giros utilizado foi de 50.

Os parâmetros utilizados para determinação do volume de vazios foram: (i) volume de vazios > 18%, (ii) volume de vazios comunicantes > 10%, (iii) perda de massa no ensaio Cantabro < 20% e (iv) dano por umidade induzida < 20%.

Para a mistura utilizando ligante modificado com borracha o teor de projeto foi de 5,0% e nas misturas com ligante SBS foi de 6,0%. A Tabela 3 apresenta os valores obtidos em cada mistura no teor de ligante de projeto.

**Tabela 3:** Resultados de dosagem da mistura

Parâmetros	Norma	Teor de ligante das misturas	
		Borracha (5,0%)	SBS (6,0%)
Gmm (g/cm <sup>3</sup> )	AASHTO T209 (2015) AASHTO T209 (2015)	2,499	2,417
Gmb (g/cm <sup>3</sup> )		1,895	1,857
Vv (%)	ASTM D7064 (2013)	24,18	23,18
Vvc (%)	NF-P-98-254-2 (1993)	16,23	17,37
Cântabro (%)	ASTM D7064 (2013)	17,45	17,94
RRt (%)	ASTM D7064 (2013)	82,00	89,39

#### 4.3. Compactação das placas drenantes

Após a compactação das quatro placas drenantes, duas por mistura, foram determinados o volume de vazios e de vazios comunicantes das placas. Os procedimentos foram realizados de acordo com as normas DNER-ME 117 (1994) e AFNOR-NF-P-98-254-2 (1993). Para impermeabilização foi utilizada fita adesiva e parafina, a Figura 4 apresenta os procedimentos utilizados para estas determinações, sendo a impermeabilização da placa com fita e parafina (a) e o procedimento para determinação do volume de vazios comunicantes (b).



(a)



(b)

**Figura 4:** Determinação do volume de vazios e vazios comunicantes das placas

A Tabela 4 apresenta os resultados de caracterização das placas de misturas drenantes na

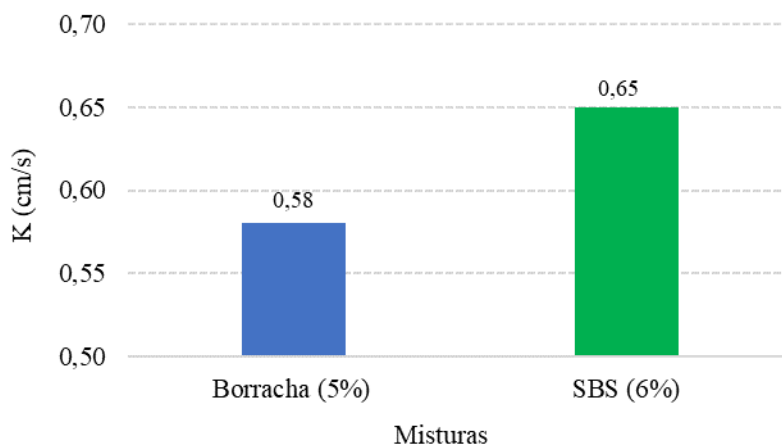
porcentagem do teor de ligante de projeto, sendo: (i) espessura média da placa, (ii) massa específica aparente -  $G_{mb}$ , (iii) porcentagem de volume de vazios -  $V_v$  e (iv) volume de vazios comunicantes -  $V_{vc}$ .

**Tabela 4:** Parâmetros de dosagem das placas drenantes

Parâmetros	Placas	
	Borracha (5,0%)	SBS (6,0%)
Espessura média (mm)	50,10	51,78
$V_v$ (%)	22,96	23,38
$V_{vc}$ (%)	13,95	17,66

#### 4.4. Permeabilidade das placas drenantes

No ensaio de permeabilidade foi utilizada a norma NLT 367/00 (2000) e água limpa em duas placas para cada mistura. As determinações do coeficiente de permeabilidade foram realizadas colocando-se o tubo em três posições (borda esquerda, centro e borda direita) de cada placa, com pelo menos duas repetições de medição em cada posição. Como resultado, obteve-se os valores médios das placas com ligante modificado com borracha e com SBS, de 14,06 e 13,00 segundos e 0,58 e 0,65 cm/s, para tempo médio de percolação e coeficiente de permeabilidade, respectivamente. A Figura 5 apresenta os resultados para as misturas.



**Figura 5:** Coeficiente de permeabilidade das duas misturas

Da análise dos resultados obtidos, pode-se inferir que a mistura com SBS apresentou a maior permeabilidade, atingindo um valor de 0,65 cm/s e que a mistura com borracha teve valores de permeabilidade de 0,58 cm/s. A presença de uma maior porcentagem de volume de vazios comunicantes na mistura com SBS permite a passagem de uma quantidade maior de água pelo interior da mesma.

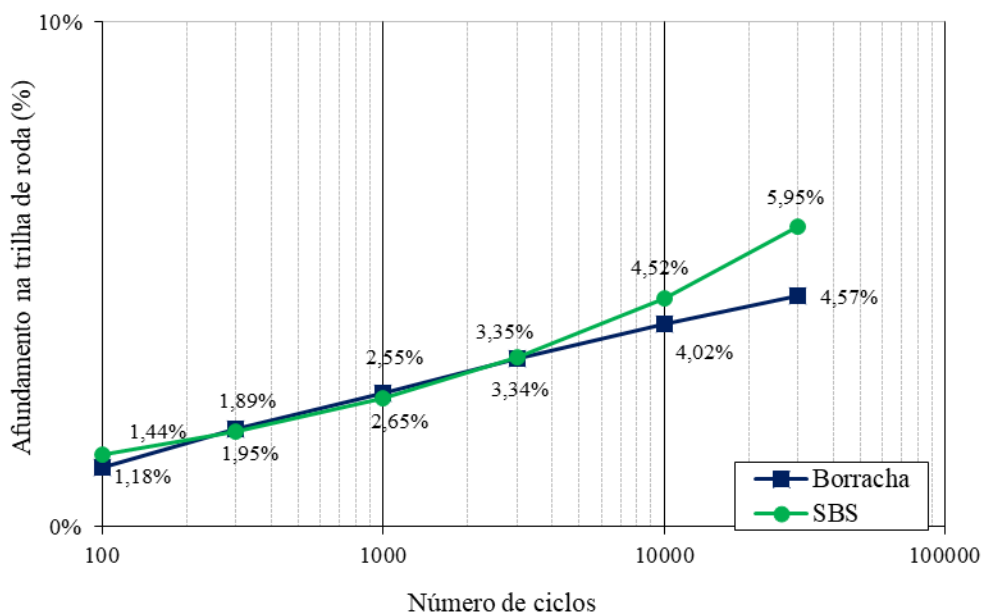
Os valores de coeficiente de permeabilidade para todas as misturas superaram o valor mínimo de 0,12 cm/s sugerido pelo NCAT (*National Center of Asphalt Technology*) segundo Alvarez. *et al.* (2006) para a nova geração de misturas abertas, demonstrando que todas as misturas avaliadas têm um desempenho satisfatório em relação à permeabilidade.

#### 4.5. Deformação permanente

Os resultados da deformação das placas para as misturas utilizando ligante com borracha e SBS estão mostrados na Figura 6. Como resultado os valores de porcentagem de afundamento



da trilha de rodas da mistura com ligante borracha estão apresentados na cor azul e os com SBS na cor verde.



**Figura 6:** Afundamento da trilha de roda das placas das duas misturas

Segundo o LCPC (2007) o limite de afundamento em relação à altura inicial de cada placa é de 10%. As misturas produzidas apresentaram bom desempenho à deformação permanente, visto que satisfazem as exigências normativas. Os valores médios observados nas duas misturas foram inferiores ao limite máximo de afundamento proposto. A mistura com ligante asfáltico com borracha apresentou maior resistência a deformação permanente em comparação com a mistura com SBS. O menor afundamento das placas com ligante borracha pode ser relacionado com o volume de vazios e de vazios comunicantes que foi inferior ao das placas com ligante SBS. Com menor porcentagem de vazios a mistura torna-se mais intertravada, o que pode representar maior resistência.

### 3. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou a avaliação e comparação do desempenho de duas misturas asfálticas drenantes com diferentes ligantes asfálticos modificados. Os ensaios conduzidos nas misturas para avaliar suas propriedades foram a determinação da porcentagem de volume de vazios, de vazios comunicantes, o desgaste Cântabro, o dano por umidade induzida, a permeabilidade e a deformação permanente. Com relação à porcentagem de vazios, as duas misturas estudadas (borracha e SBS) satisfazem a recomendação de um volume de vazios superior a 18% e a porcentagem de vazios comunicantes superior a 10%.

A mistura com ligante tipo borracha (5%) e a mistura com SBS (6%) exibiram valores semelhantes de volume de vazios e de vazios comunicantes. No que diz respeito aos resultados do ensaio de desgaste Cântabro, a mistura com SBS apresentou perda por desgaste inferior a 20% somente com o teor de ligante de 6,0%, enquanto a mistura com borracha com o teor de ligante de 5%. Em relação ao dano provocado pela umidade, todas as misturas demonstraram ter uma resistência satisfatória na presença de umidade, com valores de RRT superiores a 80% que é o valor mínimo exigido em norma.

A permeabilidade da mistura com 6% de ligante SBS foi superior a mistura com 5% de ligante com borracha, atingindo um valor de 0,65 cm/s. Todas as placas ensaiadas à deformação permanente exibiram resultados inferiores a 10%, mas as placas da mistura utilizando ligante do tipo borracha apresentou menor afundamento da trilha de rodas que as placas da mistura com SBS.

Segundo os resultados dos ensaios, as duas misturas satisfazem todos os parâmetros exigidos pelas normas para um desempenho satisfatório das misturas drenantes. A mistura com ligante asfáltico modificado com borracha, entretanto necessita de um teor de ligante menor para satisfazer as normas. Assim, ambos os tipos de ligante asfálticos são indicados para misturas asfálticas drenantes.

#### **Agradecimentos**

Os autores agradecem à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de estudos durante o desenvolvimento da pesquisa e pelo financiamento do programa de pós-graduação e à Rede Temática de Tecnologia do Asfalto, da Petrobrás pelos investimentos feitos no Laboratório de Pavimentação da UFSC.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- AASHTO T 283 – Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage. Test standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing. Washington, D. C., 2011.
- AFNOR. (1993). NF P 98-254-2 – Mesure de propriétés liées à la perméabilité des matériaux des mélanges hydrocarbonés, partie 2. França: Association Française de Normalisation.
- ALVAREZ, A. E., Martin, A. E., Estakhri, C. K., Button, J. W., Glover, C. J., & Jung, S. H. (2006). Synthesis of current practice on the design, construction, and maintenance of porous friction courses. Texas. EUA: Texas Transportation Institute.
- ASTM. (2013). D7064, Standard practice for open-graded friction course (OGFC) mix design. Pensilvânia. EUA: American Society for Testing and Materials.
- CEDEX. (2000). NLT-32700, Permeabilidad in situ de pavimentos drenantes con el permeámetro LCS.
- DNER – ME 117: Misturas betuminosas a quente – determinação da densidade aparente. Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 1994.
- DNER – ME 383: Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cantabro. Método de Ensaio. Rio de Janeiro. 1999.
- GUIMARÃES, J. M. F. (2012). Concreto asfáltico drenante em asfaltos modificados por polímero SBS e borracha moída de pneus. Florianópolis. Brasil: Dissertação de Mestrado.
- LEFEBVRE, G. (1993). Porous Asphalt. Comité technique AIPCR des routes souples comité technique aipcr des caractéristiques de surface. Bélgica.
- LU, Q.; FU, P.C.; & HARVEY, J. T. (2009) Laboratory Evaluation of the Noise and Durability Properties of Asphalt Surface Mixes. Research Report: UCPRC-RR-2009-07 University of California Pavement Research Center UC Davis, UC Berkeley. EEUU.
- NF P 98-253-1 – Essais Relatifs Aux Chaussées, Déformation Permanente des Mélanges Hydrocarbonés. AFNOR, 1993.
- OLIVEIRA, C. G. M. (2003). Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante. Dissertação de mestrado em Geotecnia. Universidade de Brasília.
- PIARC (World Road Association). (2013). Quiet Pavement Technologies. Technical Committee D.2 Road Pavements.
- PORTO, H. G., (1999). Pavimentos Drenantes. Editora D & Z, São Paulo, 105p.
- RUTH B.E. et al. (1997). Recycling of asphalt mixtures containing crumb rubber. Final Report. FL/DOT/MO D510717. Florida: University of Florida. Florida Department of Transportation.
- SERFASS, J. P. (1997). Enrobés Drainants au Bitume-Elastomère. Formulation, Bruit et Adhérence. Congreso Europeo de Mezclas Drenantes. Madrid.
- SOTO, J. A. (1997). Estudio en Laboratorio de Mezclas Drenantes. Congreso Europeo de Mezclas Drenantes. Madrid.