

IAG206-01-2013
CARACTERIZAÇÃO DE MISTURAS ASFÁLTICAS DE ALTA
REFLETÂNCIA SOLAR VISANDO A MITIGAÇÃO DA ILHA DE CALOR
URBANO

Eng. Joe Villena¹, Msc – joevillena@gmail.com
Dr. Glicério Trichês² – glicério.triches@ufsc.br
Dr. Deivis Luis Marinoski² – deivis.marinoski@ufsc.br
Dr. Roberto Lamberts² – roberto.lamberts@ufsc.br
Eng. João Victor Staub de Melo¹, Msc – joao.victor@posgrad.ufsc.br
Eng. Ramon Mendes Knabben¹, Msc – ramon.knabben@posgrad.ufsc.br
Dr. Saulo Güths² - saulo.g@ufsc.br
Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Florianópolis, Brasil

1Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - UFSC

² Professor da Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil – UFSC

Resumen

La búsqueda de medidas que contemplen el concepto de sustentabilidad de las actividades humanas ha llevado a implementar soluciones constructivas que contribuyen para mitigar las llamadas “Islas de Calor Urbano” (ICU). Una de las mejores opciones para combatir este fenómeno consiste en aumentar la reflectividad solar de los materiales utilizados. En el área de la pavimentación, esta tecnología aun es incipiente. El presente artículo tiene como objetivo la caracterización de capas asfálticas de alta reflectividad para mitigar la Isla de Calor Urbano. Para esta caracterización, fueron elaboradas placas de mezclas asfálticas coloreadas con pigmentos, con la finalidad de incrementar la reflectividad solar de las mismas. Ensayos de reflectividad solar realizados en campo a través del procedimiento basado en la norma ASTM E 1918 muestran que las mezclas asfálticas pigmentadas reflejan mejor la luz que las mezclas sin pigmentos. Adicionalmente, medidas de temperatura superficial e interna en las mezclas, mostraron que las mezclas pigmentadas alcanzan menores temperaturas durante el día y, por este motivo, almacenan menos energía, lo que puede contribuir para la reducción del efecto de la Isla de Calor Urbano. El hecho de que las temperaturas internas de las mezclas pigmentadas sean menores puede incrementar la vida útil de las mezclas asfálticas cuando se toma el parámetro de deformación permanente como criterio de evaluación.

Resumo

A busca por medidas que contemplem o conceito de sustentabilidade das atividades humanas tem levado a implementar soluções construtivas que tem contribuído para a mitigação das chamadas “Ilhas de Calor Urbano” (ICU). Uma das melhores opções para combater este fenômeno consiste em incrementar a refletância solar dos materiais utilizados. Na área da pavimentação, esta tecnologia ainda é incipiente. O presente artigo tem como objetivo a caracterização de

revestimentos asfálticos de alta refletância para mitigação da Ilha de Calor Urbano. Para esta caracterização, foram moldadas placas de revestimento de mistura asfáltica coloridas com pigmentos, com a finalidade de incrementar a refletância solar das mesmas. Ensaios de refletância solar realizados em campo através do procedimento baseado na norma ASTM E 1918 mostram que as misturas asfálticas pigmentadas refletem melhor a luz do que as misturas sem adição de pigmentos. Adicionalmente, medidas de temperatura superficial e interna às misturas, mostraram que as misturas pigmentadas atingem menores temperaturas durante o dia e, portanto, armazenam menos energia, o que pode contribuir para a redução do efeito da Ilha de Calor Urbano. O fato das temperaturas internas nas misturas pigmentadas serem menores pode incrementar a vida útil da mistura asfáltica quanto o seu desempenho à deformação permanente.

INTRODUÇÃO

Durante os dias quentes e, sobretudo, na época de verão, as grandes metrópoles se vêm afetadas pelo fenômeno da Ilha de Calor Urbano (ICU). Este fenômeno pode causar um incremento da temperatura das cidades, em relação às áreas rurais, em até 5,2 °C (Akbari et al; 1996). O desenvolvimento da Ilha de Calor pode ser atribuído a um grande número de fatores incluídos: a) o emprego de materiais de construção de alta capacidade calorífica. b) a baixa refletividade solar dos revestimentos tais como as misturas asfálticas e o concreto de cimento, c) transferência de calor turbulenta reduzida e perda do calor radiativo de onda longa devido à geometria de cânion urbano, d) redução da perda de calor latente pela evaporação devido à substituição das superfícies naturais verdes com superfícies secas e, e) às emissões de calor antropogênico dentro da atmosfera urbana.

As superfícies urbanas escuras como as misturas asfálticas, absorvem a energia solar durante o dia e durante as horas frias do dia ou à noite a irradiam para o meio ambiente sob a forma de calor. As principais consequências do aumento da temperatura nas zonas urbanas são: a) o desconforto, b) o aumento do consumo de energia para refrigeração de ambientes (Taha; 1997), e, c) a formação de ozônio troposférico, o qual é um gás de efeito estufa relacionado ao fenômeno de aquecimento global (Stathopoulou et al; 2008).

A prática mais utilizada para mitigar a Ilha de Calor urbana engloba o aumento da área de vegetação, inclusive de telhados refletivos, e a mudança de cor das superfícies para cores mais claras, que consigam refletir mais efetivamente a luz solar, tanto a visível como a invisível (geralmente a infravermelha) (Pomerantz et al; 2003). A investigação de materiais mais refletivos tem originado uma nova tendência mundial de pesquisas e tecnologias neste setor. Estes materiais, denominados de materiais frios (cool materials), incluem as coberturas de edificações e os pavimentos com alta refletância solar (cool pavements). Todos os materiais frios contribuem para o aumento da refletância solar urbana e são considerados uma das técnicas mais promissoras para diminuir o aquecimento nas cidades. É possível perceber que quando estas superfícies são expostas à radiação solar apresentam uma menor temperatura superficial se comparadas com superfícies similares com menor refletância solar. (Santamouris et al., 2011).

A luz visível (comprimento de onda entre 0,4 a 0,7 μm) contém 43% da energia do espectro de irradiância solar global (0,3 a 2,5 μm). O restante chega à superfície terrestre como radiação infravermelha próxima (0,7 a 2,5 μm , 52%) ou radiação ultravioleta (0,3 a 0,4 μm , 5%). A medida quantitativa da refletividade solar total de uma superfície é chamada de refletância solar.

De forma simples, a refletância solar de um material é definido como a razão entre a luz solar refletida e a luz solar incidente. Uma superfície refletiva perfeita terá uma refletância solar igual a 100% e, uma superfície não refletiva terá um valor igual a 0% (Pomerantz et al; 2003).

Uma opção para incrementar a refletância dos revestimentos asfálticos é mudar a coloração mediante o uso de pigmentos para conseguir uma reflexão mais eficiente da radiação solar. O uso destes pigmentos pode diminuir a temperatura do ar, retardar a formação do ozônio troposférico e mitigar o fenômeno de Ilha de Calor Urbano. Este efeito tem sido amplamente pesquisado nos Estados Unidos da América, Europa, Ásia e no Mediterrâneo (Levinson et al; 2007).

Estes pigmentos, derivados de óxidos metálicos mistos, refletem os comprimentos de onda da região infravermelha e, também, uma parcela da luz visível, seletivamente. Os pigmentos são muito estáveis, quimicamente inertes e estáveis a altas temperaturas (Malshe e Bendiganavale; 2008). Estas características os tornam aptos para serem usados nas misturas asfálticas, onde os materiais são submetidos a altas temperaturas, na ordem dos 170 °C, durante o processo de usinagem.

O presente estudo tem como objetivo caracterizar revestimentos asfálticos com potencial de alta refletância solar mediante a incorporação de pigmentos (derivados de óxidos metálicos mistos) visando a mitigação da Ilha de Calor Urbana. Para tanto, foram moldadas misturas asfálticas com pigmentos de diversas cores. A avaliação dos materiais foi conduzida através da medição de refletância solar, da temperatura interna e superficial, e da resistência à deformação permanente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Ligante

Foram utilizados dois tipos de ligante; um ligante CAP 50/60 convencional de cor preta e um ligante vegetal de cor albina. As características dos ligantes são mostradas na Tabela 1.

Tabela 1: Características físicas dos ligantes

Ligante	Massa específica, g/cm ³	Penetração, 25°, 5s, 100g, 1/10 mm	Ponto de amolecimento, °C	Viscosidade a 135 °C, cP
CAP 50/60	1,00	51	54	340
Albino	0,99	57	50,3	265

Agregados

Três tipos de agregados, de origem granítica, foram utilizados nesta pesquisa: pó de pedra, M. E. 2,711 g/cm³; pedrisco, M. E. 2,748 g/cm³; e, brita ¾", M. E. 2,766 g/cm³. A granulometria utilizada para a moldagem das misturas asfálticas se encaixou dentro dos pontos de controle recomendados pela metodologia SUPERPAVE (SHRP-A-407, 1994) e dentro da Faixa C do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes do Brasil (DNIT 031/2006-ES). A granulometria das misturas asfálticas é mostrada na Figura 1.

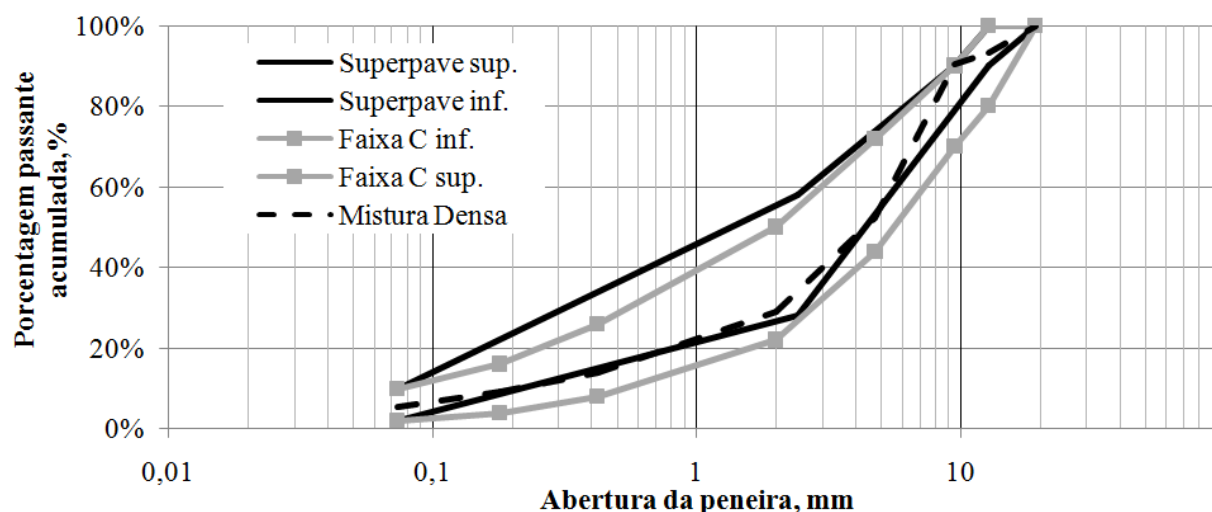


Figura 1: Granulometria das misturas asfálticas

Pigmentos

Os pigmentos que dão cor às misturas asfálticas são derivado de óxidos metálicos mistos. Estes possuem cor escura, mas com alta refletância da radiação infravermelha (NIR por suas siglas em inglês). Foram utilizados quatro pigmentos nas cores amarela, verde e vermelha. Três deles, Amarelo, Verde e Vermelho “A” tem forma de pó de tamanho nanométrico e o último, Vermelho “B”, tem forma granular, visível ao olho nu, e tamanho milimétrico. A diferença entre a forma e o tamanho deste último pigmento é consequência da sua composição, 80% de pigmento em pó e 20% de resinas. As principais características dos pigmentos são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos pigmentos

Pigmento	Colour Index	Denominação química	Forma	Tamanho nm	Densidade específica, g/cm ³
Amarelo	Pigment yellow 42	Hidróxido de ferro	Acicular (pó)	-	4,00
Verde	Pigmente green 17	Óxido de cromo	Esférica (pó)	300	5,20
Vermelho A	Pigment red 101	Óxido de ferro sintético	Esférica (pó)	120	5,00
Vermelho B	Não especificado pelo fabricante	Óxido de ferro (80%) e resinas (20%)	Cilíndrica (pó)	3x1 mm	2,35

Viscosidade dos ligantes

Com a finalidade de avaliar a influência dos pigmentos nos ligantes asfálticos, foram realizados ensaios de viscosidade. Esta propriedade foi medida mediante o ensaio de viscosidade com o viscosímetro Brookfield (ASTM D4402/D4402M; 2013). A composição das amostras utilizadas neste ensaio foi estabelecida no ensaio de compactação na Prensa de Compactação Giratória (PCG) e é mostrada na Tabela 3.

Tabela 3: Composição das amostras para o ensaio de viscosidade

Nomenclatura da amostra		Amarelo-Albino	Amarelo	Verde	Vermelho A	Vermelho B	Referência
Proporção	CAP 50/60 convencional	-	4,9	4,9	4,9	4,5	5,1
	Ligante albino	7,3	-	-	-	-	-
	Pigmento	4	4	4	4	2,4	-

Dosagem da mistura

Inicialmente foi feita a dosagem para a mistura asfáltica de Referência com CAP 50/70, sem adição de pigmento, mediante a metodologia SUPERPAVE (SHRP-A-407, 1994) para um tráfego de nível médio. A mistura sem pigmento serviu de base para a dosagem das misturas pigmentadas. Nestas misturas, foi incorporado uma porcentagem de pigmento entre 4 e 2,4% dependendo do tipo do pigmento utilizado. A granulometria das misturas não foi alterada, somente o teor e tipo de ligante. As misturas com CAP 50/70 atingiram um volume de vazios de 4% mediante compactação aos 100 giros na Prensa de Compactação Giratória (PCG) (SHRP-A-407, 1994). A mistura de CAP 50/70 com pigmento Amarelo não foi estudada devido a que, no seu lugar, foi escolhida a mistura Amarelo-Albino que apresenta uma melhor coloração e, em consequência, uma maior refletância solar. Na Tabela 4 são mostrados o tipo e a porcentagem, em massa, de materiais utilizados para a elaboração das misturas.

Tabela 4: Composição das misturas asfálticas

Nomenclatura da mistura	Tipo de pigmento	Ligante Albino	Proporção dos materiais, %		
			Ligante CAP 50/70	Agregado mineral	Pigmento
Referência	-	-	5,1	94,9	-
Amarelo-Albino	Amarelo	7,3	-	88,7	4
Verde	Verde	-	4,9	91,1	4
Vermelho A	Vermelho A	-	4,9	91,1	4
Vermelho B	Vermelho B	-	4,5	93,1	2,4

Para cada mistura foram moldadas 12 placas, na Mesa Compactadora de Placas do LCPC segundo a Norma NF P 98-250-2 (AFNOR, 1991a). As placas têm 5x18x50 cm de dimensão e foram, posteriormente, utilizadas nos ensaios de refletância em campo, temperatura em campo e deformação permanente.

Ensaio de refletância solar

O ensaio de refletância solar consiste em medir a radiação solar incidente em uma superfície plana e medir a correspondente radiação que é refletida por esse material; esta medição se realiza com o uso de piranômetros. As medições de refletância foram realizadas seguindo o procedimento E1918A proposto por Akbari et al. (2008) que permite o uso de superfícies com dimensões, de aproximadamente 1 m². Este procedimento está baseado na norma ASTM E1918 (2006). Para realizar as medições de refletância solar nas misturas asfálticas, as 12 placas, de

cada tipo de mistura, moldadas em laboratório foram colocadas no campo formando um retângulo de 100x108 cm. A Figura 3 mostra o piranômetro utilizado nas medições e as placas de mistura Vermelho A durante a medição.



Figura 3: Piranômetro e mistura asfáltica Vermelho A durante o ensaio de refletância em campo

Medição da temperatura das misturas em campo

As medições de temperatura em campo foram realizadas tanto na superfície como no interior das misturas. Para a medição da temperatura na superfície, foi utilizado um termômetro digital infravermelho. Para a medição da temperatura no interior dos pavimentos, foi colocado um termistor a 1 cm de profundidade. Dados sobre a radiação incidente, em W/m^2 , foram registrados mediante o uso do piranômetro utilizado para o ensaio de refletância em campo. Os ensaios de temperatura foram realizados no dia 2 de maio de 2013 entre as 10h e as 16h; as medições foram realizadas com intervalo de 1 hora. No dia das medições, as condições climáticas, céu sem nuvens, favoreceram a realização dos ensaios.

Ensaio de deformação permanente

Para avaliar a influência dos pigmentos na vida útil das misturas asfálticas, foi realizado o ensaio de deformação permanente conforme a Norma AFNOR NF P 98-253-1 (1993). O ensaio deve ser realizado a uma temperatura padrão de 60°C; no entanto, neste estudo foi realizado o ensaio a 60°C no caso da mistura de Referência e a temperaturas variáveis segundo as temperaturas medidas em campo para as misturas pigmentadas. Desta forma, se a mistura de Referência foi ensaiada a 60°C, a mistura Verde foi ensaiada a 56,8°C (3,2°C a menos), a Vermelho A a 57,7°C (2,3°C a menos) e a Vermelho B a 56,3°C (3,7°C a menos).

RESULTADOS

Influência dos pigmentos na viscosidade dos ligantes

Os resultados da Figura 2 mostram que a adição de pigmentos incrementa a viscosidade do ligante, CAP 50/70 ou albino, modificando também as temperaturas de usinagem e compactação das misturas asfálticas. A alta viscosidade torna o ligante mais duro, afetando, em consequência, a trabalhabilidade da mistura durante a compactação e a resistência mecânica das misturas

pigmentadas. Este efeito pode ser apreciado com maior detalhe nos resultados obtidos para o ensaio de deformação permanente.

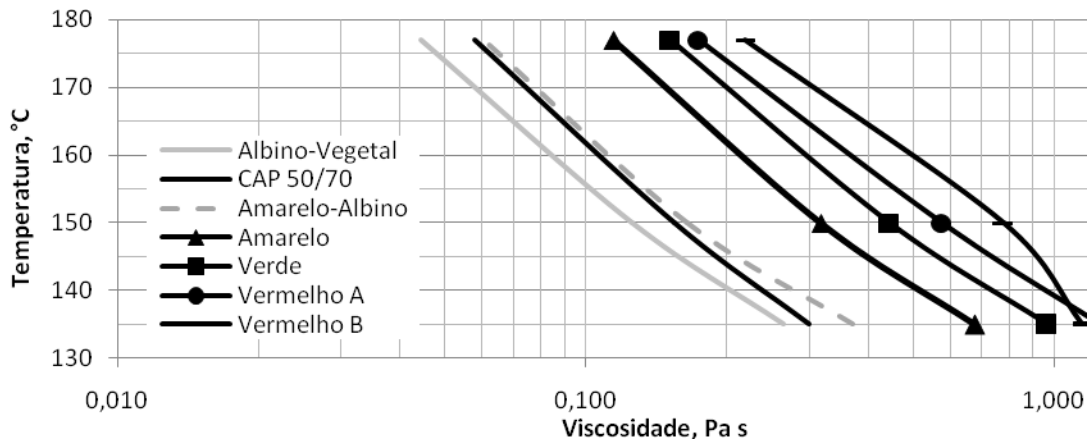


Figura 2: Viscosidade dos ligantes pigmentados

Refletância solar

Os resultados da Tabela 5 deixam em evidência que as misturas pigmentadas possuem um valor de refletância solar maior que a mistura de Referência. A cor translúcida do ligante albino permite que a refletância da mistura Amarelo-Albino seja a maior de todas as estudadas, atingindo quase o dobro que a mistura Vermelho B e quase o triplo que a mistura de Referência.

Tabela 5: Refletância solar em campo das misturas asfálticas

Revestimento	Referência	Amarelo-Albino	Verde	Vermelho A	Vermelho B
Refletância solar em campo, %	4,27	12,53	6,51	7,42	7,41

As misturas Vermelho B e Vermelho A, moldadas com CAP 50/70, tem valores de refletância solar iguais. Existe, porém, uma diferença na dosagem das duas misturas, já que a mistura Vermelho B tem um teor de 4,5% de ligante e 2,4% de pigmento enquanto a mistura Vermelho A tem um teor de 4,9% de ligante e 4% de pigmento. Desta forma, a mistura Vermelho B, com menor porcentagem de pigmento, demonstra ser mais eficiente na reflexão da luz solar do que as outras misturas elaboradas a base de CAP 50/70. Esta eficiência está relacionada com a facilidade de dispersão do pigmento Vermelho B na mistura asfáltica, devido a que o mesmo, está composto por 80% de pigmento pó, dissolvido numa matriz de resinas, que representa 20% da composição. A mistura Verde foi, entre as misturas pigmentadas, a que menor refletância solar apresenta, mas, ainda assim, é aproximadamente 50% maior do que a amostra de Referência

Medição da temperatura

Os resultados de medição da temperatura são mostrados na Figura 4. Os maiores valores de radiação solar foram registrados entre as 11h15 e 13h15; sendo que às 12h15 se registrou o valor mais alto com 763 W/m^2 de intensidade. Este comportamento guarda relação direta com as temperaturas registradas nas misturas asfálticas, as quais tiveram seus máximos valores entre as 12h15 e as 14h15.

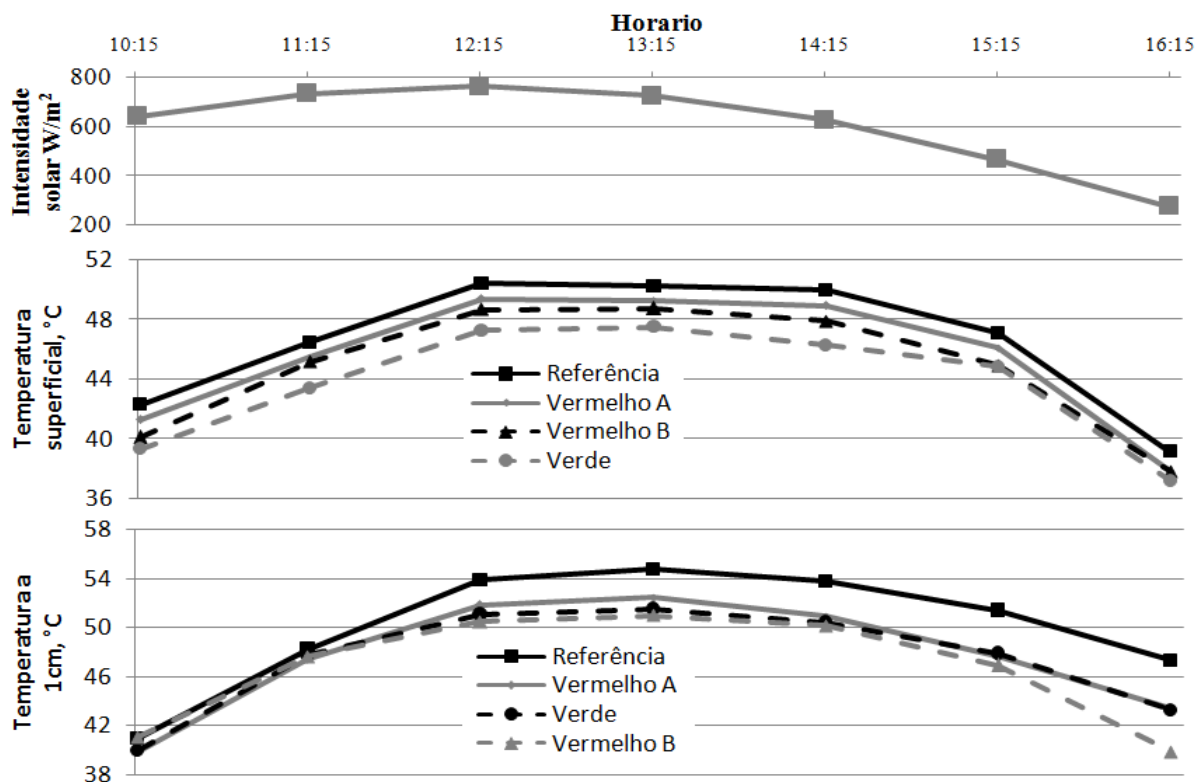


Figura 4: Resultados do ensaio de medição de temperatura em campo

Independente do horário e da profundidade de medição, a mistura asfáltica de Referência, apresenta a maior temperatura tanto na superfície como a uma profundidade de 1 cm. A superfície da mistura deveria ser o ponto mais quente pelo fato de estar mais próxima à fonte de radiação solar. No entanto, as correntes de ar, que tem temperaturas menores, esfriam a superfície das misturas, deixando-a com menor temperatura. Devido a este fenômeno, o ponto mais aquecido está localizado, sob a superfície das misturas e é aquele registrado a 1 cm de profundidade.

A maior temperatura registrada para a mistura de Referência é de $54,7^{\circ}C$ às 13h15 a 1 cm de profundidade. Para este mesmo horário e profundidade, a mistura Verde atingiu $51,5^{\circ}C$; a Vermelho A, $52,4^{\circ}C$; e, a Vermelho B, $51^{\circ}C$. A diferença de temperatura destas misturas em relação à mistura de Referência é de 3,2, 2,3 e $3,7^{\circ}C$ respectivamente. Estes valores foram utilizados para, posteriormente, realizar o ensaio de deformação permanente nas misturas.

A mistura Verde é a que apresenta a menor temperatura superficial, atingindo valores, na média, $3,2^{\circ}C$ mais frios do que a mistura de Referência. Em uma aplicação em grande escala esta diferença poderia afetar significativamente a temperatura do ar e de outras construções ao redor dos revestimentos, tornando-os mais frios e contribuindo com a mitigação da ICU.

Deformação permanente

Os resultados dos ensaios de deformação permanente são mostrados na Figura 5. As misturas pigmentadas apresentam uma maior resistência à deformação permanente quando comparadas com a mistura de Referência à temperatura padrão, $60^{\circ}C$. As misturas Vermelho A, Verde e

Vermelho B apresentam valores que são 3,21, 4,24 e 8,49% menores que a mistura de Referência. A baixa deformação das misturas pigmentadas é consequência, principalmente, das baixas temperaturas de ensaio. Este bom desempenho das misturas pigmentadas é causado, também, pela modificação da viscosidade do ligante mediante a adição de pigmento, que contribui para endurecer a mistura. Outro dos fatores seria a diminuição do teor de ligante que passou de 5,1, na mistura de Referência, para 4,9%, nas misturas Vermelho A e Verde e 4,5% na mistura Vermelho B. Não existe no Brasil uma especificação sobre o valor máximo de afundamento da placa de mistura asfáltica. No entanto, segundo a norma AFNOR NF EM 13108-1 (2007) este valor não deve ser maior a 10% da altura da placa.

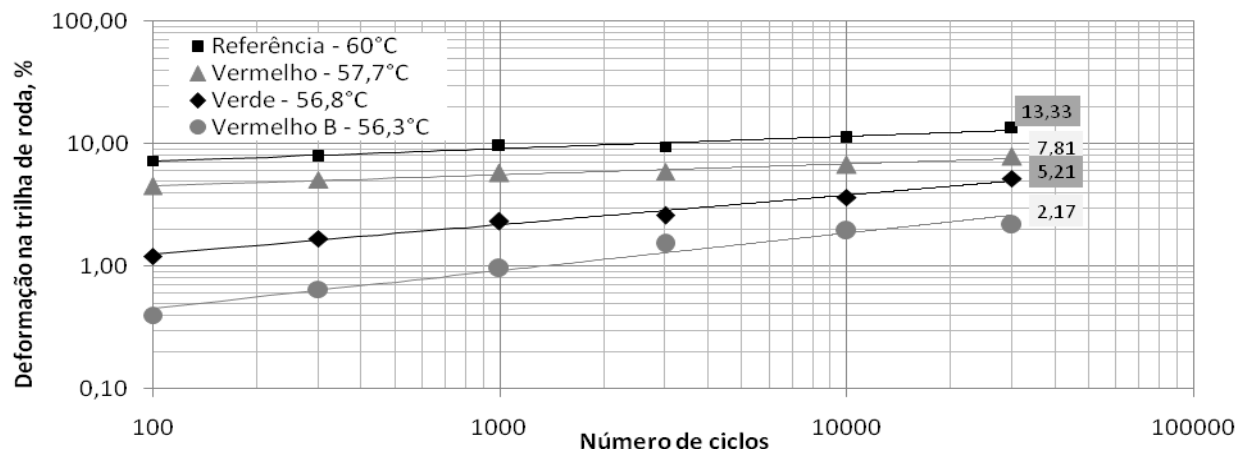


Figura 5: Resultados do ensaio de deformação permanente

Caso a curva de deformação fosse constante, a mistura Vermelho B só iria atingir o mesmo de deformação que a mistura de Referência, 13,33%, aos 6 milhões de ciclos. No entanto, este resultado não é completamente real, já que o resultado do ensaio de deformação permanente não foi calculado experimentalmente para esse número de ciclos. Contudo este e os outros resultados obtidos durante o ensaio permitem afirmar que a adição de pigmentos nas misturas asfálticas incrementam a expectativa de vida útil das mesmas quando se toma como parâmetro de análise a deformação na trilha de roda dos revestimentos.

CONCLUSÕES

O uso de pigmentos de óxidos metálicos mistos incrementam a refletância solar das misturas asfálticas. Dependendo do pigmento e ligante utilizado, este incremento pode ser até 200% maior do que a refletância de uma mistura sem pigmento.

O incremento da refletância permitiu diminuir a temperatura das misturas analisadas em 3,2°C na superfície e em até 3,7°C no interior, dependendo do pigmento utilizado. Em uma aplicação em larga escala esta redução permitiria a redução da temperatura do ar do meio ambiente, sobretudo durante o verão, contribuindo com a redução do consumo de energia aplicada em refrigeração nas edificações e dos outros graves problemas relacionados com o efeito da Ilha de Calor Urbano.

Como a patologia de deformação permanente na trilha de roda depende principalmente da temperatura das misturas, o uso de pigmentos permitiria que a vida útil das misturas pigmentadas

fosse muito superior ao de uma mistura sem pigmento. Neste estudo, se estimou que fossem necessários 6 milhões e não 300 mil ciclos para que a deformação da mistura Vermelho B atingisse o mesmo valor da deformação da mistura de Referência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelos recursos financeiros aplicados no financiamento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- AKBARI, H.; LEVINSON, R.; STERN, S. Procedure for Measuring the Solar Reflectance of Flat or Curved Roofing Assemblies. *Solar Energy* 82 (2008) pp. 648-655
- AKBARI, H., A. ROSENFELD, H. TAHA, e L. GARTLAND. Mitigation of Summer Urban Heat Island to Save Electricity and Smog. LBNL-37787. Lawrence Berkeley National Laboratory: Berkeley, CA, 1996.
- AFNOR NF EM 13108-1. Mélanges Bitumineux: Specification des Matériaux – Enrobés Bitumineux. Norme Européenne, Association Française de Normalisation, AFNOR, 2007.
- AFNOR NF-P-98-250-2: Essais réaltif aux chaussées – préparation des mélanges hydrocarbonés – partie 2: compactage des plaques. *Association Française de Normalisation, AFNOR*, France, 1991.
- AFNOR NF P 98-253-1: Préparation des Mélanges Hydrocarbonés, Partie 1: Essai d'Orniérage. *Association Française de Normalisation, AFNOR*, 1993.
- ASTM Standard D4402/D4402M, 2013, "Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer" *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2013.
- ASTM Standard E1918, 2006, "Standard Test Method for Measuring Solar Reflectance of Horizontal and Low-Sloped Surfaces in the Field" *ASTM International*, West Conshohocken, PA, 2006.
- DNIT 031/2006-ES, "Pavimentos Flexíveis – Concreto Asfáltico – Especificação de Serviço" Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, p. 14, 2006.
- LEVINSON, Ronnen; AKBARI, Hashem; REILLY, Joseph C. Cooler tile-roofed buildings with near-infrared-reflective non-white coatings. *Building and Environment*, v. 42, n. 7, p. 2591-2605, 2007.
- MALSHE, Vinod; BENDIGANAVALA, Ashwini. Infrared Reflective Inorganic Pigments. *Recent Patents on Chemical Engineering*, v. 1, n. 1, p. 67-79, 2008.
- POMERANTZ, M.; AKBARI, H.; CHANG, S.-C.; LEVINSON, R.; PON, B.; Examples of cooler reflective streets for urban heat-island mitigation: Portland cement concrete and chip seals. *Lawrence Berkeley National Laboratory*, 2003.
- SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, a.; KARLESSI, T. Using advanced cool materials in the urban built environment to mitigate heat islands and improve thermal comfort conditions. *Solar Energy*, v. 85, n. 12, p. 3085-3102, 2011.
- SHRP – Strategic Highway Research Program, "The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays" *National Research Council*, Washington, p. 184, 1994.
- STATHOPOULOU, E.; MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; BAGIORGAS, H. S. On the impact of temperature on tropospheric ozone concentration levels in urban environments. *Journal of Earth System Science*, 117 (3) (2008) 227-236.
- TAHA, Haider. Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, v. 25, n. 2, p. 99-103, 1997.