

REVISÃO DA SELEÇÃO DO GRAU DE DESEMPENHO (PG) DE LIGANTES ASFÁLTICOS POR ESTADOS DO BRASIL

Marcos Bottene Cunha
Jorge Rodolfo Escalante Zegarra
José Leomar Fernandes Júnior
Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo revisar a seleção do grau de desempenho (*Performance Grade* – PG) do método SUPERPAVE para ligantes asfálticos brasileiros, segundo as características climáticas de cada região. A base de dados contém 209 estações meteorológicas brasileiras, apresentadas nas Normais Climatológicas de 1961 a 1990. A determinação do grau de desempenho PG foi feita utilizando-se quatro modelos, desenvolvidos por agências de pesquisa rodoviária dos Estados Unidos da América e Canadá (SHRP original, C-CHRP e LTPP *Bind* de 1996 e 2004), e adotando-se um nível de confiabilidade de 98%. Os resultados indicam a importância da revisão da seleção do PG para o Brasil, pois na maioria dos casos o grau a alta temperatura foi maior do que o PG determinado anteriormente. Dados mais precisos das estações meteorológicas podem garantir resultados mais consistentes porque que em regiões semelhantes houve seleções diferentes por conta do elevado desvio padrão.

ABSTRACT

The objective of this paper is to review the selection of Performance Grades (PG), used by the SUPERPAVE methodology, for Brazilian asphalt binders, according to climatic characteristics of each region. The data base includes observations from 209 Brazilian meteorological stations from 1961 to 1990. The PG selection was performed using four models developed by USA and Canada research agencies (SHRP original, C-CHRP and 1996 and 2004 LTPP Bind) and adopting a 98% reliability level. The results indicate the importance of the review of the PG selection process because in most of the cases the high temperature degree was higher than the PG found previously. More accurate data from meteorological stations may guarantee better results because similar regions had different PG selected due to high standard deviation.

1. INTRODUÇÃO

As misturas asfálticas são formadas basicamente por uma seleção de agregados, distribuídos segundo uma granulometria desejada, por certa quantidade de cimento asfáltico e por vazios. O desempenho das misturas asfálticas está diretamente ligado às características e quantidades dos materiais que a compõe.

O cimento asfáltico de petróleo (CAP) é de suma importância para o desempenho das misturas asfálticas, pois tem a função de ser o aglutinante da matriz de agregados, além de contribuir de forma significativa para a resistência da mistura asfáltica frente às cargas impostas pelo tráfego.

Por ser um material visco-elástico, o CAP apresenta, sob alta temperatura e/ou carregamento de longa duração, um comportamento de fluido viscoso, ao passo que, sob baixa temperatura e/ou carregamento de curta duração, ele se comporta quase como um sólido elástico. Devido a essa característica de susceptibilidade térmica das misturas asfálticas, a variação de temperatura durante o dia e também durante toda a vida em serviço do pavimento é um fator importante a ser levado em consideração nos projetos de misturas asfálticas.

O objetivo deste trabalho é fazer uma revisão da seleção do Grau de Desempenho (PG) para ligantes asfálticos brasileiros, de forma a possibilitar uma melhor indicação de qual o melhor ligante para cada Estado, segundo as características climáticas inerentes a ele. Os dados meteorológicos foram obtidos nas Normais Climatológicas de 1961 a 1990.

2. ESPECIFICAÇÃO SUPERPAVE

2.1 Ligantes asfálticos

O Programa Estratégico de Pesquisa Rodoviária (*Strategic Highway Research Program - SHRP*) foi iniciado em 1987 por um grupo de órgãos governamentais e universidades americanas. Uma das principais metas foi o desenvolvimento de um novo sistema de especificações de materiais asfálticos, denominado SUPERPAVE (SUperior PERformance Asphalt PAVEments) – Pavimentos Asfálticos de Alto Desempenho.

Os pesquisadores do SHRP não concordavam com o empirismo das especificações ASTM (*American Society for Testing and Materials*) que, assim como as normas da ABNT e do DNER no Brasil, classificavam o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) com base nos ensaios de penetração a 25°C e viscosidade a 60°C. Desta forma, eles desenvolveram novos parâmetros para classificação do CAP, baseados em ensaios reológicos, com critérios relacionados ao desempenho em serviço (Motta *et al.*, 1996).

O método SUPERPAVE apresenta suas especificações para os ligantes asfálticos baseado na rigidez do asfalto virgem e envelhecido e nas propriedades visco-elásticas que são influenciadas pela temperatura e pelo tempo de carregamento. A classificação do cimento asfáltico, denominada Grau de Desempenho (*Performance Grade – PG*), é feita de acordo com as condições climáticas (temperatura máxima e mínima do pavimento), a confiabilidade dos dados e o tipo de solicitação de tráfego (velocidade e volume) a que o pavimento vai ser submetido.

Existem três condições críticas a que um CAP é exposto durante a sua vida em serviço. A primeira é durante o transporte, armazenagem e manipulação, que têm que ser feitos sob alta temperatura (cerca de 135°C) para torná-lo fluido. A segunda é durante a produção e aplicação da mistura asfáltica, que também ocorrem sob altas temperaturas (por volta de 160°C). E a terceira é durante a vida em serviço do pavimento.

As propriedades dos ligantes e misturas asfálticas têm ligação direta com os problemas dos pavimentos asfálticos, tais como: deformação permanente, trincas por fadiga e por contração térmica, envelhecimento e adesividade. Diante disso, o programa SHRP foi desenvolvido com o intuito de estudar essa relação tanto para ligantes convencionais quanto para asfaltos modificados.

2.2 Grau de desempenho – PG

O Grau de Desempenho (*Performance Grade – PG*) é determinado através de registros históricos da temperatura ambiente em estações meteorológicas, por um período mínimo de 20 anos. Para cada ano deve ser determinada a média das temperaturas máximas do ar dos sete dias mais quentes do ano e a temperatura mais fria do ano.

A representação do Grau de Desempenho é feita por dois números (PG 64 – 10, por exemplo), em que o primeiro número (64) é chamado de “grau a alta temperatura” e o segundo (-10) é chamado de “grau a baixa temperatura”. Dessa forma, o ligante do exemplo apresentado possui propriedades adequadas em regiões onde a temperatura do pavimento oscile entre o máximo de 64°C e o mínimo de -10°C.

São determinadas a média e o desvio padrão das séries de dados de temperatura máximas e mínimas do ar e calculadas, por meio de equações, a temperatura do pavimento. O grau de desempenho dos ligantes asfálticos varia em níveis, sendo que cada nível equivale a 6°C, tanto para o grau a alta temperatura quanto para o grau a baixa temperatura. Os asfaltos definidos pelo SUPERPAVE são apresentados na Tabela 1 (Motta *et al.*, 1996).

Tabela 1: Intervalos do PG

Grau a alta temperatura (°C)	Grau a baixa temperatura (°C)
46	-34, -40 e -46
52	-10, -16, -22, -28, -34, -40 e -46
58	-16, -22, -28, -34 e -40
64	-10, -16, -22, -28, -34 e -40
70	-10, -16, -22, -28, -34 e -40
76	-10, -16, -22, -28 e -34
82	-10, -16, -22, -28 e -34

2.2.1. Determinação das temperaturas do ar

O cálculo das temperaturas máximas e mínimas do ar são realizados por meio das Equações 1 e 2, que dependem da confiabilidade requerida (z) e do desvio padrão (σ) dos dados.

$$T_{MAXar} = T_{média} + z * \sigma \quad (1)$$

$$T_{MINar} = T_{média} - z * \sigma \quad (2)$$

onde:

T_{MAXar} : média da temperatura do ar dos 7 dias consecutivos mais quentes do ano (°C);

T_{MINar} : menor temperatura do ar no ano (°C).

2.2.2. Confiabilidade dos dados de temperatura do ar

O método SUPERPAVE define a confiabilidade como sendo a probabilidade percentual de que, em um determinado ano, a temperatura real não ultrapasse a temperatura de projeto.

2.2.3. Determinação das temperaturas do pavimento

A determinação das temperaturas máximas e mínimas do pavimento é feita por meio de equações que utilizam as temperaturas do ar e a localização geográfica (latitude) da região desejada. Os modelos considerados neste trabalho são os do SHRP Original, SHRP Canadá e os do LTPP (*Long Term Pavement Performance*) de 1996 e 2004.

O primeiro modelo para o cálculo da temperatura do pavimento por meio das temperaturas do ar foi desenvolvido pelo SHRP original. Este modelo determina a temperatura máxima do pavimento a 20 mm de profundidade, por meio da Equação 3 (Mc Gennis *et al.*, 1994).

$$T_{MAX} = 0,9545 * (T_{MAXar} - 0,00618 * Lat^2 + 0,2289 * Lat + 42,2) - 17,78 \quad (3)$$

onde:

T_{MAX} : temperatura máxima do pavimento a 20 mm de profundidade (°C);

Lat: latitude de projeto (°).

Para a determinação da temperatura mínima do pavimento, o SHRP original recomenda a utilização da mesma temperatura mínima do ar (Equação 4). Deve-se destacar que essa recomendação é muito conservadora, pois a temperatura do pavimento é, geralmente, maior do que a temperatura ambiente.

$$T_{MIN} = T_{MINar} \quad (4)$$

onde:

T_{MIN} : temperatura mínima do pavimento (°);

Os pesquisadores do C-SHRP (equipe do SHRP canadense), numa atitude menos conservadora e mais prática, determinaram uma equação para a determinação da temperatura mínima do pavimento em função da temperatura do ar (Equação 5).

$$T_{MIN} = 0,859 * T_{MINar} + 1,7 \quad (5)$$

O *Long Term Pavement Performance* (LTPP) é um programa que também monitora a temperatura do pavimento em comparação com a temperatura do ar. Teve início com o estudo do desempenho de 30 trechos, durante dois anos, em continuidade ao programa de pesquisas SHRP. Estudos de seus resultados mostraram que os critérios até então adotados para a determinação da temperatura do pavimento por meio da temperatura do ar deveriam ser revistos, tanto para a temperatura máxima quanto para a temperatura mínima. Foi verificado que as temperaturas mínimas do pavimento eram cerca de 13°C acima da temperatura do ar, mostrando assim que tanto o modelo desenvolvido pelo C-SHRP quanto o modelo do SHRP original eram realmente muito conservadores.

Com relação às temperaturas máximas do pavimento, determinadas a partir da temperatura do ar, o LTPP verificou que a Equação 3 estimava corretamente as temperaturas máximas do pavimento quando a temperatura ambiente era inferior a 35°C, porém, para temperaturas acima de 35°C, o modelo fornecia valores até 6°C acima da temperatura real medida no pavimento.

Diante do constatado, foram propostas, em 1996, as Equações 6 e 7 para determinação das temperaturas máximas e mínimas do pavimento, a partir da temperatura do ar, considerando a profundidade da temperatura em relação à superfície do pavimento, a latitude e a temperatura do ar da região em questão (Mohseni, 1996).

$$T_{MAX} = 54,32 + (0,77585 * T_{MAXar}) - (0,002468 * Lat^2) - [15,137 \log_{10} * (H+25)] \quad (6)$$

$$T_{MIN} = -1,56 + (0,71819 * T_{MINar}) - (0,003966 * Lat^2) + [6,264 \log_{10} * (H+25)] \quad (7)$$

onde:

H: profundidade do ponto considerado em relação à superfície do pavimento (cm).

Do programa de monitorização do LTPP (*Seasonal Monitoring Program* – SMP) foi desenvolvido o LTPP *Bind* (LTPP-FHWA, 1998 e Bosscher, 2000), que apresentou outro modelo (Equação 8) para cálculo da temperatura mínima do pavimento.

$$T_{MIN} = -1,56 + 0,72 * T_{MINar} - 0,004 * Lat^2 + 6,26 \log(H+25) - z * (4,4 + 0,52 * \sigma)^{0,5} \quad (8)$$

onde:

z: confiabilidade;

σ : desvio padrão da temperatura mínima do ar no ano (°C).

Mohseni e Carpenter (2004), também utilizando dados do LTPP *Bind*, apresentaram um modelo ajustado para o cálculo do grau a alta temperatura por meio de um modelo climático integrado (*Integrated Climatic Model* – ICM). O ICM foi baseado em temperaturas horárias do ar, velocidade do vento e radiação solar de aproximadamente 8.000 estações meteorológicas, cujos dados serviram de base para o cálculo das temperaturas máximas diárias do ar. O modelo utiliza, ainda, a latitude de cada estação meteorológica e calcula a temperatura máxima do pavimento a 20mm de profundidade (Equação 9).

$$T_{MAX} = 32,7 + 0,837 * T_{MAXar} - 0,0029 * Lat^2 + z * (\sigma^2 + \delta_{modelo}^2)^{0,5} \quad (9)$$

Onde:

δ_{modelo} : erro padrão do modelo = 2,1°C.

2.2.4. Velocidade de carregamento e nível de tráfego

Parte do programa SHRP para seleção do ligante asfáltico é baseada no ensaio de cisalhamento dinâmico (*Dynamic Shear Rheometer* – DSR), que simula a condição de carregamento aplicado pelos caminhões a alta velocidade (90km/h). Sob menor velocidade de passagem dos veículos o tempo de carregamento é maior e, sabendo-se da característica visco-elástica dos ligantes asfaltos, que sob aplicação de carga prolongada se comportam como fluidos viscosos, o PG requerido a alta temperatura deve ser aumentado em um ou dois níveis, dependendo da velocidade do tráfego a que a mistura vai ser imposta. Em outras palavras, um asfalto com o grau a alta temperatura do PG mais elevado significa um ligante mais viscoso e, portanto, mais resistente à aplicação de cargas mais prolongadas (Leite, 1999).

O PG a alta temperatura também deve ser incrementado segundo o nível de tráfego ao qual a via será submetida. A Tabela 2 apresenta os ajustes que devem ser feitos no PG em relação ao volume de tráfego e à velocidade (C-SHRP, 1999).

Tabela 2: Ajustes para seleção do PG em função do nível de tráfego e velocidade

N Projeto (10 ⁶)	Ajuste do grau do ligante a alta temperatura		
	Velocidade de tráfego		
	Parado (V < 20km/h)	Lento (20km/h < V < 70km/h)	Normal (V > 70km/h)
< 0,3	-	-	-
0,3 < N < 3	2	1	-
3 < N < 10	2	1	-
10 < N < 30	2	1	-
N > 30	2	1	1

2.2.5. Seleção do PG com o auxílio de programas computacionais

Nos Estados Unidos da América (EUA) estão disponíveis diversos programas para seleção do PG do ligante asfáltico, de acordo com a região em que ele vai ser aplicado, com destaque para os do SHRP *Bind*, do LTPP *Bind* e do AASHTO SUPERPAVE.

O LTPP *Bind*, por exemplo, desenvolvido pela FHWA, já esta na versão LTPP *Bind* 3.1. Baseado no programa original SHRP *Bind* de seleção de ligante asfáltico, o LTPP *Bind* fornece um banco de dados de temperaturas do ar (máxima, mínima, média, desvio padrão e número de anos) das estações meteorológicas dos EUA e Canadá. É um programa para o sistema operacional *Windows* que permite aos usuários:

- selecionar o PG ideal baseado nas condições meteorológicas locais e no nível de risco indicado pela agência rodoviária responsável;
- utilizar o modelo SHRP original ou o modelo revisado pelo LTPP para selecionar o PG do ligante;
- ajustar a seleção do PG para diferentes níveis de tráfego, carregamento e velocidade.

3. REVISÃO DO GRAU DE DESEMPENHO PG DO BRASIL

Leite e Tonial (1994) fizeram um estudo para classificação dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações do SUPERPAVE, utilizando temperaturas do ar obtidas das Normais Climatológicas de 1961 a 1990, que contém dados de 209 estações climatológicas brasileiras. Porém, as equações utilizadas pelos autores para determinação das temperaturas máxima e mínima foram do primeiro modelo desenvolvido (SHRP original) e, desde então, as equações sofreram modificações para que os modelos melhor representassem as condições reais de temperatura do pavimento.

Dessa forma, foi feita uma revisão do grau de desempenho PG para ligantes asfálticos brasileiros, adotando-se a mesma base de dados utilizada por Leite e Tonial (1994), porém aplicando-se os dados climáticos às novas equações desenvolvidas. Pretende-se, no futuro próximo, utilizar uma base de dados recente (1987-2007), pois os dados requisitados ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) não puderam ser inseridos neste trabalho.

A determinação das temperaturas para cada estado foi feita tomando-se a média da temperatura do ar dos 7 dias consecutivos mais quentes e a temperatura mais fria de cada ano, no período de 1961 a 1990. A seleção dos ligantes asfálticos mais indicados para cada Estado brasileiro foi determinada, de acordo com as especificações SUPERPAVE, adotando-se os resultados mais críticos apresentados pelas equações propostas pelos órgãos de pesquisa, considerando-se um nível de confiabilidade de 98%.

Em relação ao grau a alta temperatura, o modelo do LTPP *Bind* de 2004 foi o que apresentou temperaturas críticas, ou seja, mais altas, enquanto que, para o grau a baixa temperatura, o modelo SHRP original foi o que apresentou temperaturas críticas, ou seja, mais baixas. O mapa apresentado na Figura 1 representa os PGs revisados e selecionados para o Brasil, divididos por Estados, sem levar em consideração o volume e a velocidade do tráfego, pois essas condições são variáveis para cada rodovia.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Pode-se observar, na Figura 1 ou Tabela 3, que em grande parte dos estados brasileiros, 23 no total, o PG 70-10 é o mais indicado para suportar as condições climáticas locais, enquanto apenas para 4 estados o PG 64-10 foi o determinado.

Com uma postura mais conservadora, os Estados com PG 64-10 (PR, MG, PB e RN) poderiam ser elevados para o PG mais crítico dos estados vizinhos. Desta forma, os Estados com PG 64-10 poderiam assumir o PG 70-10. Vale salientar que a seleção do PG é influenciada pelo desvio-padrão dos dados e, quando a média das temperaturas já se encontra próxima ao limite de troca de nível, o desvio-padrão pode ser decisivo para a seleção do PG, como foi o caso dos dados em questão.

Da Tabela 3 pode-se perceber que, em alguns Estados, o PG revisado em 2007 não difere do sugerido por Leite e Tonial em 1994, tanto para o grau a alta temperatura quanto para o grau a baixa temperatura, mas isso só ocorre em 4 Estados (MG, MS, PR e SP). Em 10 estados (AL, BA, CE, ES, MA, PE, PI, RJ, SE e TO) o PG revisado difere no grau a baixa temperatura, mas é igual ao grau a alta temperatura.



Figura 1: Grau de desempenho sugerido para ligantes asfálticos por regiões do Brasil

Já em relação a igualdade quanto ao grau a baixa temperatura, pode-se destacar dois fatos: um é que em apenas 4 estados (GO, MT, RS e SC) mais o Distrito Federal a igualdade aparece; outro é que em 1994, Leite e Tonial assumiram como temperatura mínima realmente a média mínima encontrada na região, dessa forma alguns PGs foram indicados como +2 e -4, porém a mínima temperatura recomendada pelo método SUPERPAVE para seleção do PG é de 10°C negativos, ou seja, mesmo que em uma determinada região a seleção indique um PG 64+2 ou PG 70-4, o ligante indicado deve ser um PG 64-10 ou PG 70-10.

Um fato importante é a comparação dos diversos modelos de seleção dos ligantes asfálticos segundo o grau de desempenho PG selecionado. A Tabela 4 mostra o ligante selecionado segundo os modelos do SHRP original, C-SHRP, LTPP de 1996 e LTPP de 2004 e, no final, o PG escolhido com base na situação mais crítica. Pode-se observar que, em todos os casos, o PG crítico a alta temperatura é o do modelo do LTPP de 2004. Com relação ao grau a baixa temperatura, todos os modelos indicam a temperatura de 10°C negativos.

Em casos isolados, como nas Serras Gaúchas e Catarinenses, temperaturas abaixo de 10°C negativos até são determinadas em certas estações meteorológicas, porém, como são casos pontuais e a determinação das médias das temperaturas máximas e mínimas leva em consideração diversas estações meteorológicas de cada estado, as temperaturas determinadas para o pavimento com base nessas estações não influenciaram para que a seleção do PG nesses Estados ficasse abaixo dos 10°C negativos.

Tabela 3: Comparação do PG sugerido em 1994 e em 2007 para os estados brasileiros

	Leni e Tonial (1994)	Revisão 2007
AC	PG 64+2	PG 70-10
AL	PG 70+2	PG 70-10
AM	PG 64+2	PG 70-10
AP	PG 64+2	PG 70-10
BA	PG 70+2	PG 70-10
CE	PG 70+2	PG 70-10
DF	PG 64-10	PG 70-10
ES	PG 70-4	PG 70-10
GO	PG 64-10	PG 70-10
MA	PG 70+2	PG 70-10
MG	PG 64-10	PG 64-10
MS	PG 70-10	PG 70-10
MT	PG 64-10	PG 70-10
PA	PG 64+2	PG 70-10
PB	PG 70+2	PG 64-10
PE	PG 70+2	PG 70-10
PI	PG 70+2	PG 70-10
PR	PG 64-10	PG 64-10
RJ	PG 70-4	PG 70-10
RN	PG 70+2	PG 64-10
RO	PG 64+2	PG 70-10
RR	PG 64+2	PG 70-10
RS	PG 64-10	PG 70-10
SC	PG 64-10	PG 70-10
SE	PG 70+2	PG 70-10
SP	PG 70-10	PG 70-10
TO	PG 70+2	PG 70-10

5. CLASSIFICAÇÃO DOS LIGANTES BRASILEIROS PELO GRAU DE DESEMPENHO

A atual classificação de ligantes asfálticos brasileiros é feita com base no ensaio de penetração (DNER ME 003-99) e os ligantes são classificados em CAP 30/45; CAP 50/70; CAP 85/100 e CAP 150/200.

Em termos de ligantes não modificados, os mais utilizados no Brasil, atualmente, são o CAP 30/45 e o CAP 50/70. O CAP 30/45 pode ser classificado, segundo o Método SUPERPAVE, como PG 64-22 ou PG 70-16, dependendo da refinaria. Já o CAP 50/70 pode ser classificado como PG 58-16, PG 58-22, PG 64-16 ou PG 64-22, também dependendo da refinaria.

Tabela 4: Comparação do PG sugerido pelos diferentes órgãos de pesquisa rodoviária

	SHRP original	C-SHRP	LTPP 1996	LTPP 2004	PG escolhido
AC	PG 64-10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
AL	PG 58 -10	PG 64-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
AM	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
AP	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
BA	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
CE	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
DF	PG 64 -10	PG 64-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
ES	PG 64 -10	PG 64-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
GO	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
MA	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
MG	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 64-10	PG 64-10
MS	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
MT	PG 70-10	PG 70-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
PA	PG 64 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
PB	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 64-10	PG 64-10
PE	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
PI	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
PR	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 64-10	PG 64-10
RJ	PG 70-10	PG 70-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
RN	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 64-10	PG 64-10
RO	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
RR	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
RS	PG 64 -10	PG 64-10	PG 64-10	PG 70-10	PG 70-10
SC	PG 64 -10	PG 64-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
SE	PG 58 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
SP	PG 64 -10	PG 64-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10
TO	PG 64 -10	PG 58-10	PG 58-10	PG 70-10	PG 70-10

Com base na determinação do grau de desempenho de ligantes asfálticos feita neste trabalho, pode-se concluir que os ligantes fornecidos comercialmente no Brasil atendem às exigências das especificações SUPERPAVE. Porém, deve-se destacar que a seleção de ligante apresentada neste trabalho não leva em consideração a velocidade e o volume de tráfego, ou seja, dependendo da rodovia, o grau de desempenho pode ser aumentado em um ou dois níveis, tornando necessária a utilização de ligantes com melhores propriedades como, por exemplo, os modificados por polímeros.

6. CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram a importância da revisão dos modelos atualmente utilizados para cálculo das temperaturas no pavimento a partir de dados de temperaturas do ar em razão da divergência, principalmente no caso do Brasil, que ocorre na determinação do grau de desempenho a alta temperatura. Dados mais precisos das estações meteorológicas podem garantir resultados mais consistentes, pois em regiões semelhantes houve seleções diferentes por conta do elevado desvio padrão. Há de se destacar que a influência do desvio padrão na seleção do PG é significativa apenas quando as temperaturas médias calculadas encontram-se muito próximo da transição de um nível de seleção para outro.

Em relação ao enquadramento dos ligantes asfálticos disponíveis atualmente no Brasil nos parâmetros de seleção PG, pode-se dizer que os ligantes comerciais atendem aos requisitos SUPERPAVE, lembrando que não foram considerados os fatores velocidade e volume de tráfego, que podem aumentar em até dois níveis a seleção do PG a alta temperatura.

Como sugestão para trabalhos futuros, a principal, que se pretende realizar tão logo dados mais recentes de temperatura do ar sejam recebidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), é avaliar a influência do aquecimento global na seleção do PG para os Estados brasileiros.

Agradecimentos

Ao CNPq e à CAPES, pelas bolsas de estudo concedidas a autores deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bosscher, P. (2000) *Relationship between pavement temperature and weather data*. Transportation Research Board, Washington, D. C. Proceedings TRB Annual Meeting.
- C-SHRP (1999) *Improved standards for a new millennium*. C-SHRP Technical brief #17.
- DNER ME 003 (1999) Material Betuminoso – Determinação da penetração. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem – Método de ensaio, Rio de Janeiro, RJ.
- Leite, L. F. M. (1999) Estudo de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros. Tese de doutorado. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Leite, L. F. M. e Tonial, I. A. (1994) Qualidade dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações SHRP. *12º Encontro do asfalto do instituto brasileiro de petróleo*.
- LTPP-FHWA (1998) *LTPP Data analysis: Improved low pavement temperature prediction*. U. S. Department of transportation. Federal Highway Administration. FHWA RD-97-104.
- Motta, L. M. G., Tonial, I. A., Leite, L. F., Constantino, R. S. (1996) *Princípios do Projeto e Análise Superpave de Misturas Asfálticas*. Tradução comentada: *Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis*, nº FHWA-SA-95-003, Petrobrás, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Mohseni, A. (1996) *LTPP Seasonal AC pavement temperature models (SATP)* – FHWA, October 29.
- Mohseni, A. e Carpenter, S. (2004) *Development of enhanced algorithm for Superpave High Temperature Performance Grade (PG) Selection and New Software Version* – Long-Term Pavement Performance Group, FHWA.

Marcos Bottene Cunha (marcosbc@sc.usp.br)

Jorge Rodolfo Escalante Zegarra (jescalantez@gmail.com)

José Leomar Fernandes Júnior (leomar@sc.usp.br)

Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

Av. Trabalhador São-carlense – São Carlos, SP, Brasil

CEP: 13.560-590 – Caixa Postal 359