

EVOLUÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES EUROPEIAS DE LIGANTES ASFÁLTICOS BASEADAS EM DESEMPENHO

Leni F. M. Leite

Laura M. G. Motta

Universidade Federal do Rio de Janeiro

RESUMO

As especificações europeias por desempenho de ligantes asfálticos estão em estudo desde 1999. Desde então, muitos parâmetros reológicos foram propostos, utilizando os reômetros das especificações americanas, e normas europeias foram desenvolvidas, além de planos Interlaboratoriais realizados por países da Comunidade Europeia. No entanto, até agora, nenhuma nova especificação europeia foi proposta efetivamente. O comitê europeu de normalização para ligantes betuminosos, CEN TC-336, está atualmente definindo um novo modelo de especificação mais adaptado à realidade local. Os problemas encontrados estão relacionados à falta de experiência de muitos laboratórios, à complexidade dos ensaios, ao tempo de realização dos mesmos e ao custo dos equipamentos. O enfoque dado é bastante conservador, distinguindo o betume simples, onde ensaios reológicos não aportam valor, dos betumes modificados, onde a inclusão da reologia se faz necessária e para as próximas especificações os equipamentos de ensaios reológicos serão obrigatórios. Não obstante, a implementação destas especificações será gradual, sendo necessário acumular dados e experiência para se ter informação sobre as diferentes classes de desempenho.

ABSTRACT

European performance-based specifications for asphalt binders initiated to be studied at 1999. Since then, several rheological parameters were proposed, using the American specifications rheometers, test methods were developed and interlaboratory programs were done by countries of European Community. Nevertheless, no new European specification was established until now. European Committee for standardization of asphalt binders CEN TC 336 is outlining a new specification model more adapted to reality. The model replacement presents problems related to lack of experience, tests complexity, time duration and equipment's cost. The focus adopted is very conservative, distinguishing asphalt cement, where rheological tests did not bring value, and modified asphalt whose tests are required. The rheological tests will be included in the new specification but the implementation will be progressive, being necessary to accumulate data and experience in order to obtain information about the different performance grade.

1. INTRODUÇÃO

As especificações empíricas de cimentos asfálticos, baseadas em viscosidade ou penetração, são limitadas para caracterizar completamente os ligantes para uso rodoviário, especialmente empregados em misturas densas a quente, tipo concreto asfáltico (CA). Há mais de 20 anos nos EUA foram desenvolvidos novos ensaios e as especificações SUPERPAVE para caracterizar mais corretamente os ligantes para misturas densas a quente. Estes testes e as especificações foram desenvolvidos para a obtenção de parâmetros relacionados ao desempenho em pavimentos prevendo as deformações permanentes, trincas por fadiga, trincas térmicas e envelhecimento precoce. A tecnologia continua em evolução até hoje, tanto em termos de aperfeiçoamento dos ensaios e limites das especificações dos materiais – ligantes e agregados, como também na caracterização de misturas asfálticas.

O Grau de Desempenho SUPERPAVE (PG – *Performance Grade*) se baseia em propriedades dos ligantes relacionadas às condições de uso: temperatura do pavimento e volume de tráfego. Isto envolve conhecer o volume e a velocidade do tráfego e as condições climáticas do local a ser pavimentado, bem como a consideração sobre o envelhecimento do ligante com o tempo e clima. O sistema de classificação PG especifica que o ligante deve atender aos limites propostos numa temperatura determinada, que depende das condições climáticas no local a ser pavimentado (Leite, 1999).

Desde 1999, na Europa tem tido pesquisas com objetivo de criar especificações de desempenho para ligantes, conduzidas por uma associação denominada FEHRL – *Forum of European National Highway Research Laboratories*, que é composta por 30 centros europeus de pesquisas rodoviárias (*Laboratório Nacional de Engenharia Civil - LNEC, French Institute of Science and Technology for Transport, Development and Networks – IFSTTAR, Bundesanstalt für Straßenwesen Federal Highway Research Institute – BAST, Belgian Road Research Centre – BCR, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas – CEDEX, Laboratoire des Voies de Circulation Swiss Federal Institute of Technology – LAVOC, Transport Research Laboratory – TRL*, entre outros). Este processo de criação de especificações por desempenho também conta com a participação do Comitê Europeu de Normalização – CEN.

No Brasil, a Petrobras acompanha desde 1993 os avanços da tecnologia SUPERPAVE, tendo adquirido todos os equipamentos de caracterização de ligantes em 1995 para seu Centro de Pesquisas (CENPES). Mais do que uma dezena de universidades já tem os equipamentos para análise completa dos ligantes. Nos anos 1990, as distribuidoras de asfalto não se interessavam ou não compreendiam bem a tecnologia SUPERPAVE. Nos últimos anos, quatro Distribuidoras de asfalto e uma Concessionária adquiriram os equipamentos de avaliação de ligantes por entenderem que a reologia é uma ferramenta que diferencia os ligantes e avalia melhor seu desempenho em campo. Deve-se ressaltar que o Instituto de Pesquisas Rodoviárias do DNIT, também já tem reômetro de cisalhamento dinâmico e que no Estado do Rio de Janeiro foi publicada uma Instrução Técnica no DER-RJ para uso da classificação PG conforme indicado em Pinto (2015).

Dentro deste contexto, este trabalho pretende dar informações de como a Europa, que se constitui de um aglomerado de países com diferentes níveis tecnológicos, está tratando do desenvolvimento das especificações baseadas em desempenho, unificadas para todos. Este tema é relevante para o Brasil, onde existem diversos pesquisadores que trabalham com reologia de ligantes asfálticos, que estão elaborando, em conjunto, normas de ensaio referentes ao uso de reômetros de cisalhamento dinâmico. Além disso, planos interlaboratoriais, usando o reômetro, estão sendo realizados com diversos materiais asfálticos para verificar se os resultados são confiáveis e com boa repetibilidade. Aqui ainda não se desenvolvem especificações por desempenho para ligantes tradicionais nem modificados, embora se reconheça a necessidade de atualização, e, muito em breve este assunto entrará em discussão no meio técnico rodoviário brasileiro.

2. ESPECIFICAÇÃO SUPERPAVE

As especificações de ligantes por desempenho (SUPERPAVE) – *Standard Specification for Performance Graded Asphalt Binder – ASTM D 6373*, se baseiam na rigidez do material virgem e envelhecido, medidas por uma combinação de propriedades viscoelásticas, influenciadas por temperatura e tempo de carregamento. Efetua-se a seleção de temperaturas relacionadas ao ambiente em que o ligante será utilizado, resultando em especificações cujas classes são agrupadas pelas temperaturas máxima e mínima de projeto do pavimento (Grau PG). As condições ambientais selecionadas para o estabelecimento das especificações foram as médias das temperaturas máximas do ar de sete dias consecutivos e as temperaturas mínimas do ar das estações meteorológicas, de vários locais de cada um dos estados norte-americanos. Inicialmente, as especificações SUPERPAVE eram restritas à temperatura de

pavimento, sendo a influência do tráfego (volume e velocidade) considerada através do aumento de 6 a 12°C na temperatura máxima do ponto crítico, próximo à superfície do pavimento, especificando, assim, um ligante um ou dois graus de desempenho superior ao requerido pela condição climática. São assim as especificações de ligante asfáltico adotadas pelos EUA e Canadá desde 1996.

As determinações de resistência à deformação permanente e à fadiga são realizadas a temperaturas altas e intermediárias, empregando o reômetro de cisalhamento dinâmico – DSR (Dynamic Shear Rheometer) por meio dos parâmetros denominados $G^*/\text{sen } \delta$ e $G^*\text{sen } \delta$, respectivamente. A resistência às trincas térmicas é determinada no reômetro de flexão em viga – BBR (Bending Beam Rheometer), por meio dos parâmetros denominados módulo de rigidez S e taxa de relaxação m .

Com a evolução do emprego dos equipamentos e técnicas, foram criados outros ensaios de desempenho relacionados aos problemas de deformação permanente (MSCR – *Multiple Stress Creep and Recovery Test*) e trincas por fadiga (*Linear Amplitude Sweep Test*) (Martins e Leite, 2009). Recentemente tem-se definido o ensaio de fadiga, por meio da varredura linear de amplitude, sigla LAS, realizada no DSR, que ainda não tem limites nem parâmetros estabelecidos em uma especificação, mas é considerado um método muito representativo do que ocorre na mistura asfáltica, muito mais racional e relacionado ao fenômeno de dano do que o ainda usado nas especificações ASTM D 6373, expresso por $G^*\text{sen } \delta$ (Martins, 2014).

Atualmente, além da temperatura, entende-se que as condições de tráfego também devem determinar a necessidade de se empregar asfaltos modificados, visto que o cimento asfáltico de petróleo (CAP) tem limitações de uso em relação ao tráfego pesado combinado com temperaturas elevadas. O critério PG passa a ser associado à temperatura máxima e mínima de pavimento e ao tipo de tráfego (padrão (S), pesado (H), muito pesado (V) e extrapesado (E)), propiciando assim a escolha racional do tipo de ligante mais adequado para determinado pavimento. Para esta consideração do tráfego, especificações por desempenho incluindo o ensaio denominado MSCR, também feito no reômetro, foram publicadas em 2018 pela ASTM, número D8239/18 - Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder Using the Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) Test.

Ainda não foram publicadas especificações incluindo o ensaio LAS, como ensaio representativo da resistência ao trincamento. A AASHTO já publicou o método de ensaio AASHTO TP 101, mas a ASTM é mais lenta em publicar e especificar ensaios. No caso específico do ensaio MSCR, foram necessários mais de 10 anos, para ASTM incluir este ensaio nas suas especificações, enquanto a AASHTO já o incluiu em 2010. O ensaio LAS tem sido empregado por muitos pesquisadores em todo mundo, estando presente em muitas publicações estrangeiras e brasileiras nos últimos 5 anos. Este ensaio permite adicionar o efeito da autorregeneração e apresenta muito boa correlação com o ensaio de fadiga em misturas betuminosas. Por isto, sua inclusão em especificações de ligantes asfálticos deve ser em breve, já tendo sinalizações em alguns países.

No México, a PEMEX já adota as especificações por desempenho e possui os equipamentos instalados nos laboratórios das refinarias de Cadereyta, Salamanca, Madero, Tula e Salina Cruz. Certifica a qualidade dos produtos pela Norma N-CMT-4-05-004/08 de qualidade de materiais asfálticos, usando grau PG SUPERPAVE, emitida pela Secretaria de Comunicações

e Transportes, para produzir o CAP mais adequado em função do clima e do tráfego local a que estará sujeito durante sua vida útil.

A fabricante de ligantes Sabita, na África do Sul, tem uma proposta de especificação por desempenho, que inclui os requisitos das especificações americanas ASTM D 6373 e outros itens adicionais, tais como MSCR – *Multiple Stress Creep and Recovery Test*, parâmetro Glover Rowe (King, 2012), ΔT_c (Rowe, 2016) e ainda a razão de envelhecimento expressa pela divisão do módulo dinâmico de cisalhamento depois de envelhecido sobre o módulo do ligante virgem (SABITA, 2017).

Na Nova Zelândia, está em estudo uma proposta de especificação por desempenho que inclui os requisitos das especificações americanas ASTM D 6373 e outros itens adicionais, tais como teor de acidez, ensaio de fadiga (LAS – linear amplitude sweep) dado pela AASHTO TP 101, e o ensaio de tração neozelandês a temperatura de -7°C para medida de resistência a trincas térmicas (AUSTROADS, 2016).

O Prof. Hussein Bahia, que também atua no *Modified Asphalt Research Center* – MARC, junto com técnicos de países em desenvolvimento (Chile, Líbano, Iraque, entre outros) propôs há tempos atrás, a transição das especificações tradicionais para uma por desempenho combinando ensaios empíricos e científicos (Bahia e Vivanco, 2005; Alani, 2010). Nesta linha, a proposta de especificação transitória por desempenho do Chile é semelhante à do Iraque e utilizam os equipamentos de envelhecimento RTFOT e PAV e estimam módulo de rigidez pelo ábaco de Van der Poel a partir dos ensaios de ponto de amolecimento e penetração.

No Brasil, as temperaturas máximas de pavimento para efeito de especificação se situam entre 64 e 70°C , segundo Tonial e Leite (1994) e Leite e Tonial (1994). Também não existem problemas de trincas térmicas, eliminando assim o emprego do BBR. Estudos realizados pela Rede Temática de Asfalto da Petrobras mostram que os resultados dos ensaios de MSCR e LAS em cimentos asfálticos de petróleo e ligantes asfálticos modificados apresentam muito boa correlação com resultados de ensaios em misturas betuminosas, podendo provavelmente serem estes os ensaios selecionados para constar numa especificação brasileira de ligantes por desempenho (Martins, 2014; Nascimento, 2015).

3. ESPECIFICAÇÕES EUROPEIAS POR DESEMPENHO

3.1 Informações gerais

Em 1995 começou o processo de criação de especificações europeias por desempenho. Em 1999 ocorreu o *International Workshop on Performance Related Properties for Bituminous Binders* e foi iniciado o processo da primeira geração de especificações europeias harmonizadas, que resultou numa família de especificações empíricas de ligantes asfálticos, denominada TC 336 para aplicações rodoviárias e industriais. Também teve início o BiTSpec com objetivo de desenvolver especificações relacionadas ao desempenho de ligantes rodoviários, denominadas especificações de 2ª geração. A proposta inicial era tratar os ligantes não modificados e modificados separadamente, tendo em mente que muitos produtos tiveram bom desempenho no passado e que a boa experiência não deveria ser abandonada sem uma validação do novo sistema.

A fase de validação, denominada BiTVal, foi fixada em 4 fases (FEHRL, 2008):

1. Identificação das propriedades dos ligantes relacionadas a requisitos de desempenho de pavimentos asfálticos (deformação, fadiga, adesão, envelhecimento, trincas térmicas);
2. Seleção e padronização de ensaios para medidas das propriedades;
3. Coleta de dados e validação em campo para estabelecimento de novas especificações de ligantes;
4. Revisão do sistema de graus de desempenho nas novas especificações.

O relatório BitVal publicado em 2008, chegou às seguintes conclusões:

- O teste ZVS (viscosidade de cisalhamento zero) é simples e correlaciona bem com deformação permanente;
- Como medida de rigidez, os ensaios realizados no penetrômetro ou no DSR foram considerados corretos, sendo o DSR preferido, visto que para asfaltos modificados o teste de penetração não é adequado;
- Tanto o BBR como DTT são alternativas para a determinação dos parâmetros associados às trincas térmicas;
- As características empíricas (penetração, ponto de amolecimento e viscosidade antes e após envelhecimento de curto prazo (RTFOT – Rolling Thin Film Oven) e de longo prazo (PAV – vaso de envelhecimento sob pressão) continuam sendo o melhor critério para assegurar resistência à fadiga.

As entidades envolvidas no processo de desenvolvimento de especificações por desempenho europeias estão apresentadas na Figura 1.

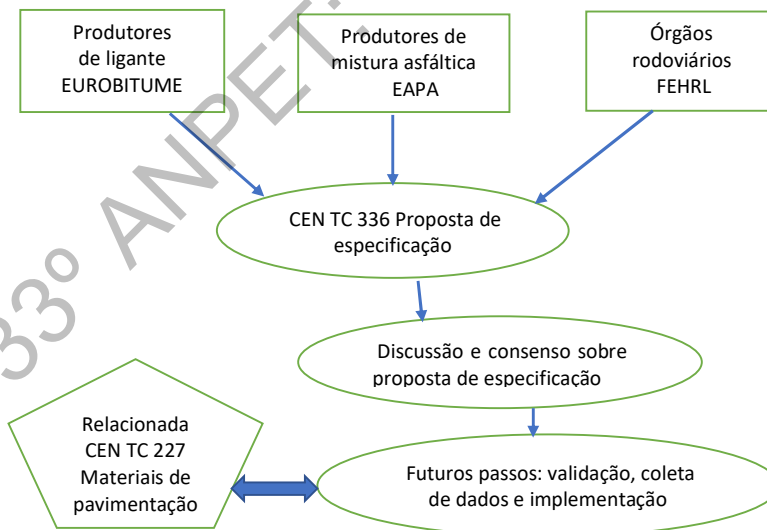


Figura 1: Processo de desenvolvimento de especificações por desempenho (Planche, 2003)

Em janeiro/2012 foi elaborado um relatório relatando a posição europeia quanto aos estudos relacionados às especificações de ligantes por desempenho. Concluiu-se que este tipo de especificação seria requerido somente para ligantes complexos (modificados e duros). Os ligantes reologicamente simples, que se enquadram nas especificações de cimentos asfálticos de petróleo EN 12591/09, não necessitariam de novas especificações. Foi citado ainda que,

após 12 anos de pesquisas, os europeus ainda não tinham concluído as correlações entre desempenho em campo e as propriedades dos ligantes (Eurobitume, 2012). A partir dos requisitos de desempenho de ligantes e misturas asfálticas, propriedades de ligantes existentes e de métodos já adotados nos EUA, foi sugerida uma proposta de especificação apresentada na Tabela 1. As diretivas de produtos de construção – CPD, constantes da normalização TC 336 é constituída de uma série de requisitos para produtos, que no caso de ligantes asfálticos se classificam nos seguintes itens:

- ER 1 – resistência mecânica;
- ER2 – segurança em caso de fogo;
- ER 3 – Segurança, Meio ambiente e Saúde.

Em outubro de 2013, o secretário geral da *European Association of Paving Asphalts* – EAPA ministrou uma palestra sobre as especificações por desempenho (PRS) afirmando que se destinam a ligantes complexos (modificados, multigrade e duros). Nas normas se deveria escolher entre rota empírica ou rota por desempenho. Das quatro fases descritas em FEHRL, (2008) para validação, três foram realizadas, com exceção da validação em campo. Foram 13 anos de discussões e realização de ensaios laboratoriais sem trabalhos de campo, e concluíram que mais 5 anos seriam necessários para criar uma especificação de desempenho substituta da EN 14023 de asfaltos modificados. Assim sendo, sua implementação deveria acontecer em 2019, ou seja, quase 20 anos após o início do BiTSpec. Em 2013 não se estava cogitando numa alteração das especificações empíricas EN 12591 para rota de desempenho, no entanto admitia-se que alterações seriam possíveis (Beuving, 2013).

Tabela 1: Proposta de especificação por desempenho usando equipamentos SUPERPAVE para amostras virgens e envelhecidas a curto e longo prazo (Eurobitume, 2012)

CPD	Requisitos de desempenho dos ligantes asfálticos	Propriedade	Método
Virgem			
Propriedades de classificação			
	Mistura e manuseio	Viscosidade dinâmica	EN 13702
ER 3	Segurança	Ponto de fulgor	EN ISO 2592
	Estabilidade a estocagem		
Após envelhecimento curto prazo			
ER 1 (alta T)	Deformação permanente a alta temperatura de serviço	Complância não recuperável 1/KPa	sem norma europeia ainda
ER 1 (T int)	Capacidade de carregamento	módulo complexo KPa/°C	EN 14770
ER 1 T int)	Trincas por fadiga (incluindo recuperação)		não harmonizada ainda
Após envelhecimento longo prazo			
ER 1 (T int)	Trincas por fadiga (incluindo recuperação)		não harmonizada ainda
ER 1 (T baixa)	Trincas a baixas temperaturas	BBR, Temperatura a 300 Mpa	EN 14771

O primeiro resultado desta abordagem foi trabalhar para a incorporação de ensaios reológicos adequados em partes. No caso de ligantes convencionais foi resolvido manter as especificações tradicionais e incorporar, através de um anexo informativo, os ensaios de desempenho relevantes. A nova norma de betumes convencionais EN 12591 e a última revisão da dos betumes duros EN 13924 já se encontram aprovadas no Comité Técnico TC 336 e estima-se que sejam publicadas oficialmente em 2020. No que se refere à norma dos betumes modificados, estima-se que a votação formal desta seja efetuada em 2019, de forma a ser publicada no ano 2020 para iniciar a sua aplicação (Mena e Carvalho, 2019). Os ensaios e valores que serão reportados passam a ser descritos a seguir.

Ensaio de desempenho

1) Deformação permanente

Para uma adequada resistência à formação de afundamentos de trilha de roda (ATR), os ligantes devem apresentar um módulo (G^*) elevado, uma vez que representa uma elevada resistência total às deformações e uma componente elástica elevada (valor de ângulo de fase δ baixo) desde o momento da sua aplicação na estrada. Neste contexto, a resistência face à formação de ATR é avaliada no DSR com amostra do betume envelhecido a curto prazo (RTFOT) considerando como valor crítico $G^* = 50$ kPa e reportando a temperatura a que se alcança o dito valor e o valor do ângulo de fase a essa temperatura. Quanto maior for a temperatura a que se cumpre o critério de igualdade do G^* e menor δ , mais resistente será o revestimento à formação de ATR, considerando somente a influência do ligante.

2) Fadiga

A resistência à fadiga é avaliada no DSR sobre a amostra envelhecida a curto prazo (RTFOT) considerando um módulo máximo $G^* = 5$ MPa, reportando a temperatura onde se alcança esta condição e o ângulo de fase δ correspondente. A temperaturas abaixo desta, o valor do módulo é tão elevado que para a deformação imposta pela carga cíclica, o nível da tensão é tão elevado que pode gerar trincas. Assim, quanto menores os valores de temperatura onde $G^* = 5$ MPa mais resistente será o ligante à fadiga.

3) Trincas térmicas

A resistência a trincas é avaliada no BBR sobre o betume previamente submetido a um envelhecimento severo (RTFOT seguido de PAV) que simula anos de serviço na estrada. Reportam-se os valores de temperatura nos quais se alcançam os valores críticos de $S = 300$ MPa e $m = 0,300$. Quanto menores forem ambas as temperaturas para um ligante, mais resistente às trincas térmicas será o revestimento construído com este ligante.

As propriedades informativas reológicas do ligante betuminoso, consideradas no Anexo B da futura especificação EN 12591 podem ser divididas em duas categorias: as relacionadas com a sensibilidade às temperaturas médias (10-40°C) e altas (40 a 80°C) e as relacionadas com a sensibilidade a baixas temperaturas (-36 a 0°C) (Mena e Carvalho, 2019).

Comenta-se a seguir aspectos dos ensaios utilizados e seus limites.

a) Comportamento a temperaturas médias/altas: Determinação de T e δ por DSR

O comportamento do ligante a temperaturas médias e altas é avaliado pelas características reológicas G^* (módulo complexo) e δ (ângulo de fase) sobre uma amostra de asfalto envelhecida por RTFOT (envelhecimento a curto prazo segundo a norma EN 12607). O

ensaio com o DSR, descrito na norma EN 14770, é realizado aplicando uma carga cisalhante constante oscilatória numa amostra de ligante colocada entre dois pratos metálicos paralelos. O ensaio é realizado a temperaturas de 10°C a 80°C e frequências entre 0,1 Hz e 10 Hz. O módulo complexo (G^*) é determinado como a relação entre a amplitude da tensão e a amplitude da deformação sofrida pelo material. As temperaturas às quais $G^* = 5 \text{ MPa}$ e $G^* = 0,05 \text{ MPa}$ são obtidas por interpolação logarítmica na isócrona a uma frequência de 1,59 Hz, de G^* vs T (Fig.2). Os ângulos de fase correspondentes são obtidos por interpolação linear das temperaturas obtidas na curva δ vs T.

b) Comportamento a baixas temperaturas: Determinação de S e m no BBR

O comportamento do ligante a baixas temperaturas é avaliado pelas características reológicas S (módulo de rigidez) e m (velocidade de relaxamento) sobre uma amostra de asfalto altamente envelhecido. O envelhecimento consiste em submeter uma camada fina de ligante, previamente envelhecida por RTFOT (EN 12607-1), a um efeito de temperatura (100°C) e alta pressão (2,1 MPa) durante um total de 20 horas, seguindo a norma EN 14769 (PAV).

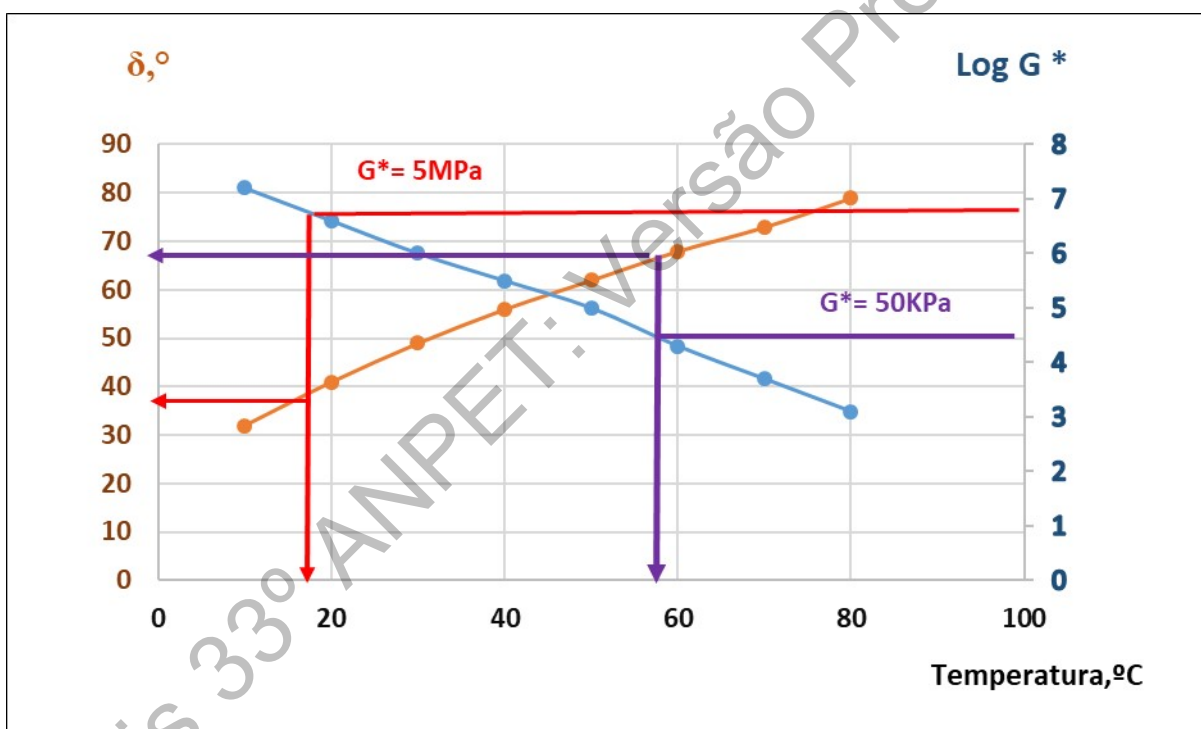


Figura 2: Interpolação da curva isócrona a 10 rad/s para obtenção da temperatura e ângulos de fase correspondentes aos módulos $G^* = 5 \text{ MPa}$ e $G^* = 0,05 \text{ MPa}$ (González e Barceló, 2018).

O ensaio BBR (Fig.3) permite medir a variação da rigidez com o tempo, para uma carga constante. Seguindo a norma EN 14771, o ensaio consiste em aplicar uma carga constante sobre uma viga da amostra durante um determinado tempo, medindo a deformação no ponto médio. Para este fim, a viga da amostra é colocada no suporte do equipamento, apoiando-se em dois pontos e mantendo-a submersa num banho à temperatura de ensaio. É aplicada uma carga normalizada constante de $(980 \pm 50) \text{ mN}$, durante 240 segundos, registrando a evolução do valor de deflexão (deformação) que é incrementado ao longo do ensaio. O módulo de rigidez (S) é calculado nos tempos de carga 8,0 s, 15,0 s, 60,0 s, 120 s e 240 s, como a relação

entre a tensão e a deformação, e o valor de m como a inclinação (em valor absoluto) da curva $\log(S)$ vs (T).

3.2 CIMENTOS ASFÁLTICOS CONVENCIONAIS

O processo de revisão da norma EN 12591, “Betumes e ligantes betuminosos. Especificações de betumes para pavimentação”, começou em janeiro de 2015 e o resultado final foi submetido à votação em 2017, sendo aprovada pelos membros. No entanto, por questões formais não foi ainda publicada. A modificação mais importante desta norma é a incorporação de um anexo de caráter informativo (Anexo B) apresentado na Tabela 2, onde se incluem as propriedades de desempenho - Suscetibilidade térmica e Comportamento a baixa temperatura após envelhecimento (González e Barceló, 2018). Estes parâmetros serão considerados “A reportar”, portanto sendo informativos, o que quer dizer que não é necessário cumprir nenhum limite. Todos os valores são igualmente válidos. A partir da informação compilada durante os próximos anos, poderá se definir um conjunto de especificações com valores e limites padrões para aplicar nas próximas revisões da norma.

As normas EN 13924-1 “Especificações de betumes duros de pavimentação” e EN 13924-2 “Especificações de betumes multigrãos para pavimentação” substituem e anulam a EN 13924 “Especificações de betumes duros para pavimentação”. Estas normas também vão incorporar um anexo (Anexo B) como apresentado na Tabela 2, que contém uma caracterização reológica. Adicionalmente, para os betumes multigrãos também se solicitará, no referido anexo, informação sobre o seu comportamento após envelhecimento por PAV (Pressure Aging Vessel), no que diz respeito aos valores de penetração, variação de massa e aumento da temperatura de amolecimento (Mena e Carvalho, 2019).

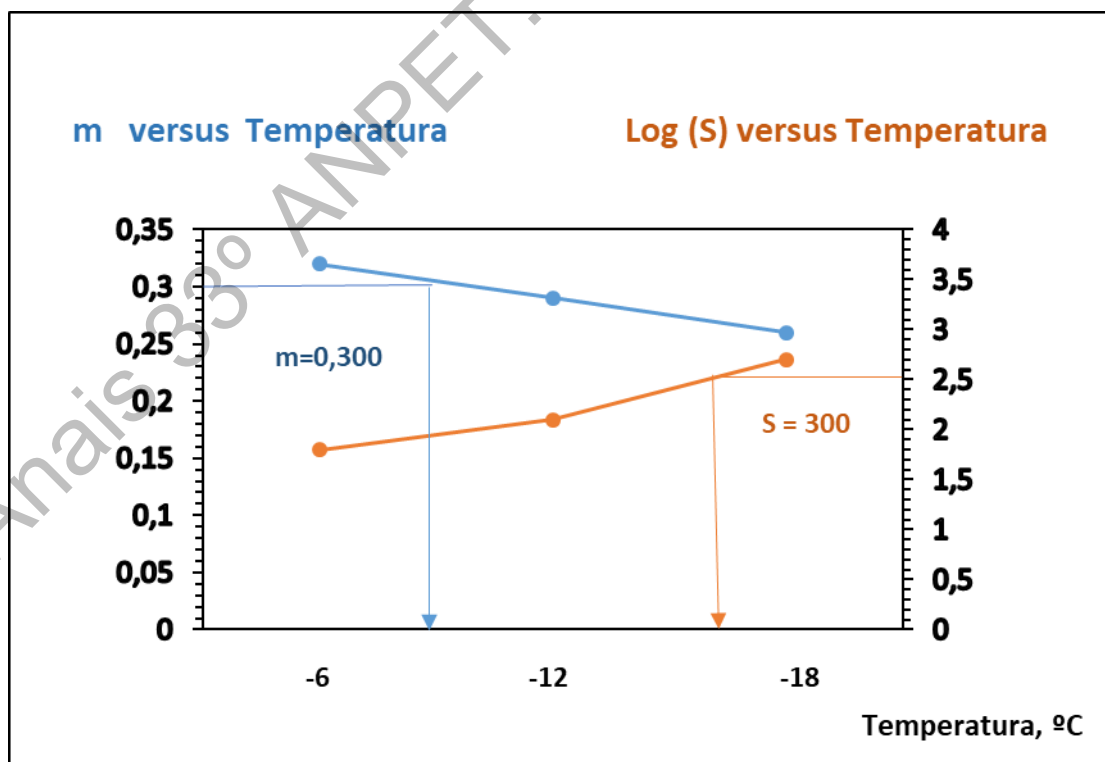


Figura 3: Interpolação para obtenção das temperaturas correspondentes ao módulo $S = 300$ MPa e $m = 0,300$ (González e Barceló, 2018).

Tabela 2: Propriedades reológicas a serem reportadas para os ligantes convencionais (González e Barceló, 2018).

Ensaio		Método	Unidade	Valor
Susceptibilidade térmica G* e δ @ 1,59 Hz após envelhecimento a curto prazo	placa 8 mm, 2 mm GAP Temperatura em que G* = 5 MPa	EN 12607	°C	a reportar
		EN 14770	°	a reportar
	placa 25 mm, 1 mm GAP Temperatura em que G* = 0,05 MPa	EN 12607	°C	a reportar
		EN 14770	°	a reportar
Comportamento a baixa temperatura após envelhecimento a longo prazo (RTFOT + PAV)	Temperatura em que S = 300 MPa	EN 12607	°C	a reportar
	Temperatura em que m = 0,300	EN 14769 EN 14771	°C	a reportar

3.3 LIGANTES ASFALTICOS COMPLEXOS

No caso da norma EN 14023, “Especificações de betumes modificados com polímeros para pavimentação”, também se efetuou sua revisão, passando a ser totalmente de desempenho, o que significa adicionar ensaios reológicos. A última revisão desta norma já conta com uma descrição das características por classe de desempenho, para que um ligante possa ser, por exemplo, classe 1 de penetração, classe 2 de coesão e classe 3 em estabilidade ao armazenamento. Cada produtor deverá declarar que classes de desempenho cumpre cada um dos seus produtos. A grande diferença em relação à norma EN 12591 é que, para este caso, não se trata de um anexo informativo, mas as exigências estão no próprio corpo da especificação. Para aquelas características sobre as quais não haja muita experiência, a classe existente será “valor declarado pelo produtor”, sem limite específico.

Assim, as principais alterações previstas são:

- Adicionam-se mais classes de penetração, até betumes muito moles, fundamentalmente utilizados no norte da Europa.
- É incorporado o ensaio MSCR para a determinação do comportamento do ligante quanto às deformações plásticas. Este ensaio é realizado no reômetro DSR e basicamente, consiste em aplicar uma carga normalizada durante um segundo, deixando a amostra repousar outros nove segundos, por vários ciclos. O resultado permite medir a fluência acumulada do ligante, ao mesmo tempo que se mede a componente recuperada deste.
- No entanto, ainda não está definido se este ensaio se realiza sobre amostras envelhecidas após RTFOT, que é mais sensível a este tipo de defeito, ou se sobre ligante virgem, visto que a intenção é encurtar o tempo necessário para uma caracterização mínima do ligante.
- É importante destacar que, por enquanto, vai se manter a temperatura do ponto de amolecimento como ensaio para determinar o desempenho a altas temperaturas, em parte das novas especificações.
- O ensaio FRAASS é eliminado para a determinação do desempenho a baixa temperatura e é substituído pela determinação das temperaturas nas quais as variáveis S (módulo) e m

(inclinação do módulo vs tempo a 60 segundos) no ensaio BBR alcançam os valores $S = 300$ MPa e $m = 0,300$ respectivamente.

- São mantidos os ensaios para a determinação da coesão já utilizados: Força-ductilidade e pêndulo Vialit.
- Como propriedades adicionais, são calculadas as temperaturas às quais G^* iguala os 50 kPa e os 5 kPa e os valores de ângulo de fase a essas temperaturas. Estas determinações são efetuadas para amostras após RTFOT e após envelhecimento acelerado PAV.
- São mantidas, por enquanto, as características de recuperação elástica e estabilidade ao armazenamento.

Resumidamente, as alterações fundamentais são a inclusão de estimativas a realizar com o DSR e o BBR e a determinação de propriedades depois de RTFOT e/ou PAV em vez de ser no ligante asfáltico original.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existe uma diretriz da Comissão europeia (CEN) para desenvolver especificações baseadas no desempenho dos ligantes asfálticos. Os reômetros DSR e BBR usados pelos americanos em suas especificações por desempenho, foram testados pelos europeus que consideram os mesmos como instrumentos adequados para investigações sobre ligantes. A decisão dos europeus quanto ao estabelecimento de especificações por desempenho é bastante conservadora para os ligantes convencionais considerados materiais muito simples e muito conhecidos pelas técnicas empíricas, e que a reologia não acrescenta muitas informações. No caso de ligantes modificados, a reologia aporta valor para sua caracterização e, portanto, neste tipo de produtos é aplicada especificação por desempenho.

Apesar da simplicidade dos cimentos asfálticos de petróleo, as novas especificações empíricas terão a obrigatoriedade de se efetuar ensaios reológicos com estes equipamentos, e os resultados reportados, de modo a se formar um banco de dados que pode gerar no futuro uma especificação por desempenho. O mesmo será feito com os ligantes duros e os multigrãos.

Segundo os europeus, os novos ensaios de desempenho permitem distinguir melhor o desempenho dos diferentes ligantes utilizados no mercado. Os parâmetros reológicos a serem reportados e acumulados tanto nos cimentos asfálticos convencionais como nos ligantes modificados, e seus limites não são necessariamente os mesmos já empregados nas especificações americanas, as exceções seriam os valores dos parâmetros MSCR e do BBR, adotados como os americanos. A implementação destas especificações será gradual e será necessário acumular dados e experiência para dispor de informação dos produtos hoje existentes e assim decidir sobre as diferentes classes de desempenho para cada característica.

Em países como África do Sul e Nova Zelândia, a proposta de especificação por desempenho difere pouco da americana, mas limites para os novos parâmetros reológicos já foram estabelecidos, sendo que no caso específico da Nova Zelândia, o ensaio LAS está incluído.

Tendo em vista, a experiência europeia, americana, sul africana e nova zelandesa em especificações por desempenho de ligantes modificados e cimentos asfálticos convencionais, cabe ao meio rodoviário brasileiro discutir qual a alternativa a ser seguida, caso se considere importante mudar de especificações empíricas para reológicas.

A sugestão das autoras é de que se especifiquem várias classes de ligante correspondentes a diferentes estágios de desempenho nos ensaios de LAS e MSCR, numa única especificação para cimentos asfálticos de petróleo e ligantes modificados. Os dois ensaios se relacionam aos defeitos mais encontrados nos pavimentos brasileiros: trincamento por fadiga e deformação

permanente, respectivamente. O CENPES já conta com um banco de dados com excelentes correlações entre resultados de LAS e MSCR em ligantes com os ensaios mecânicos em misturas asfálticas preparadas com estes ligantes. Com a norma destes ensaios no Brasil recentemente feitas pelo DNIT, mais resultados serão acumulados em pouco tempo, permitindo o estabelecimento de limites, em futuro próximo, para estes ensaios. Além destes dois ensaios de desempenho, devem ser incluídos ensaios relativos à segurança, manuseio e usinagem e estabilidade a estocagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alani H, Albayati A., Abbas A. (2010) The transition to a PG grading system for asphalt binders in Iraq - *Journal of Engineering Number 4 Volume 16 December 2010*
- AUSTROADS (2016) Review of Australian and overseas specifications and performance tests for bitumen – Technical report AP-T 308-16
- Bahia H & Vivanco J. (2005) The transition to a PG grading system for asphalt binders in developing countries University of Wisconsin, Madison.
- Beuving E. (2013) CEN and Performance related specifications – *NABin – Norsk Asfaltforening Oslo, 15 October.*
- Eurobitume (2012) Position Paper Performance related specifications for bituminous binder
- FEHRL (2006) BitVal - Analysis of Available Data for Validation of Bitumen Tests
- González M., Barceló F. et al. (2018) Reología de los ligantes españoles en el contexto del anexo informativo de la nueva EN12591. *XIII Jornada Nacional ASEFMA*
- King, G., Anderson, M., HANSON, D., Blankenship, P. (2012) Using black space 7 to predict age-induced cracking, 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements, 8 4, pp. 453-463.
- Leite L., Tonial, I. A. - Qualidade dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações SHRP - *12º Encontro de Asfalto do Instituto Brasileiro de Petróleo - 05 a 09 de dezembro de 1994*
- Leite, L.F.M. (1999) Estudo de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Macromoléculas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro
- Martins A. & Leite L. - Fluência e relaxação sob múltipla tensão: novo teste para avaliar resistência à deformação permanente - 16ª RPU – Reunião de Pavimentação Urbana 2009;
- Martins, A. T. (2014) *Contribuição para a validação do ensaio de resistência ao dano por fadiga para ligantes asfálticos.* Dissertação (Mestrado) - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE.
- Mena V. P., Carvalho T. (2019) Novo modelo de especificações de ligantes betuminosos – 9º Congresso Rodoviário Português. Lisboa.
- Nascimento L.A. H. (2015) Implementation and Validation of the Viscoelastic Continuum Damage Theory for Asphalt Mixture and Pavement Analysis in Brazil – Ph D Dissertation North Carolina State University NCSU
- Pinto, A. (2015). Instrução Técnica nº 69 – Determinação do grau PG dos ligantes asfálticos - Especificação DER-RJ
- Planche, J.P. (2003) What's going on with European Specifications? European BitSpec Seminar TRB Binder ETG 16/09/2003
- Rowe, G. M. (2016) ΔT_c - Some thoughts on the historical development. Presentation from 16 the Asphalt Binder ETG Meeting, Salt Lake City, UT, April 25-28.
- SABITA (2017) Technical guideline: the introduction of a performance grade specification for bituminous binders. Version 2 February 2017
- Tonial, I. A.; Leite, L. F. M. (1994) Classificação dos cimentos asfálticos brasileiros segundo as especificações SHRP. In: *5º Congresso Brasileiro de Petróleo.* Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Petróleo.,