

# PROJETO VOLUMÉTRICO SUPERPAVE DE MISTURA

**C D T - CENTRO DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO**

**Setembro de 2014**



**DESIGNAÇÃO - ARTERIS ET- 323-04**

# Projeto Volumétrico Superpave de Mistura

Designação ARTERIS ET 323-04



---

## 1. RESUMO

- 1.1** - Esta especificação para Projeto Volumétrico Superpave de Mistura utiliza as propriedades do agregado e da mistura para produzir uma fórmula de trabalho para a Mistura Asfáltica Quente (MAQ).
- 1.2** - Esta norma especifica as necessidades mínimas de qualidade para ligante asfáltico, agregado, e Concreto Asfáltico em projetos Superpave de dosagem de mistura.
- 1.3** - *Esta Norma pode envolver materiais, operações ou equipamentos prejudiciais à saúde. Esta Norma não se propõe a atender a todos os problemas de segurança associados ao seu uso. É da responsabilidade de seus usuários estabelecerem, antecipadamente, os padrões de segurança e prevenção de acidentes necessários, assim como determinar a aplicabilidade dos regulamentos específicos ao seu uso.*

---

## 2. DOCUMENTOS CONSULTADOS

### 2.1 – Normas

- AASHTO M 320, Grau de desempenho do ligante Asfáltico.
- ARTERIS ET-35, Projeto Volumétrico Superpave para Mistura Asfáltica a Quente.
- ARTERIS T 11, Análise granulométrica de agregados passante na peneira de 75mm (nº.200), por lavagem.
- ARTERIS T 27, Análise granulométrica para agregados miúdos e graúdos.
- ARTERIS T 164, Determinação da Percentagem de Ligante Asfáltico em Misturas Asfálticas a Quente.
- AASHTO T 170, Recuperação de Ligante asfáltico pelo Método de Abson.
- AASHTO T 176, Finos Plásticos em Agregados Graduados e Solos usando o Ensaio de Equivalente de Areia.
- ARTERIS T 283, Resistência de Misturas Asfálticas Compactadas a Danos por Umidade Induzida.
- ARTERIS T 304, Porcentagem de vazios de agregados finos não compactados.

- ARTERIS T 308, Determinação do Teor de ligante Asfáltico de Concreto Asfáltico (CA) pelo Método de Ignição.
- ARTERIS T 312, Preparo e determinação da densidade de corpos de prova de Mistura Asfáltica a Quente (MAQ) através do Compactador Giratório Superpave.
- AASHTO T 319, Extração quantitativa e recuperação de ligante Asfáltico de misturas Asfálticas.
- ARTERIS D 4791, Partículas Planas, Partículas Alongadas, ou Partículas Planas Alongadas em Agregado Graúdo.
- ARTERIS TP 61, Determinação da Porcentagem de Partículas Fraturadas em Agregado Graúdo.

## 2.2 – Normas do Asphalt Institute

- MS-2, Método de projeto de mistura para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas à quente.

## 2.3 – Publicações da Associação Nacional de Pavimento Asfáltico

- IS 128, Guia MAQ de Seleção do Tipo de Mistura.

## 2.4 – Outras Referências

- LTPP Modelos Periódicos de Temperatura do Pavimento de Concreto Asfáltico. FHWA-RD-97-103. FHWA, Departamento de Transporte dos EEUU, Washington,DC,Setembro,1998.
- Relatório 452 NCHRP: Uso Recomendado de Pavimento Asfáltico Reciclado no Método Superpave de Projeto de Mistura: Manual do Técnico. “National Cooperative Highway Research program Project” D9-12, “Transportation Research Board”, Washington, DC, 2001.

---

## 3. TERMINOLOGIA

3.1 – MAQ - Misturas Asfáltica a Quente.

3.2 – *Design ESALs* – Fator de equivalência de carga ( 80 kN ) carga de eixo simples.

3.2.1 – *Debate – Design ESALs* é a projeção do nível esperado de tráfego de projeto. Para pavimentos projetados para mais ou menos 20 anos, determine o Design ESALs para 20 anos, quando aplicar esta Norma.

3.3 – *Teor de vazios ( $V_a$ )* – O volume total de pequenas bolsas de ar entre as partículas de agregado cobertas por toda parte com asfalto nas misturas asfálticas compactadas, expressa em porcentagem do volume aparente da mistura compactada (Nota 1).

**Nota 1** – Termo definido no Manual MS-2 do *Asphalt Institute* - Método de projeto de mistura para Concreto Asfáltico e outros tipos de misturas à quente

3.4 – *Vazios no Agregado Mineral (VAM)* – Volume de espaço vazio intergranular entre as partículas de agregados de uma mistura compactada que inclui os vazios de ar e

volume do ligante asfáltico efetivo (não absorvido pelos agregados), expresso em porcentagem do volume total da amostra.

- 3.5** – *Vazios cheios de Asfalto (VCA)* – A porcentagem de VAM cheio de ligante (o volume efetivo de ligante dividido pelo VAM).
- 3.6** – *Relação filler / ligante ( $P_{0,075}/P_{be}$ )* –, a relação em massa entre a porcentagem passante pela peneira ( $P_{0,075}$ ) 75  $\mu$ m (Nº200) e o conteúdo efetivo de ligante ( $P_{be}$ ).
- 3.7** – *Tamanho nominal máximo do agregado* – Um tamanho maior que a primeira peneira que retenha mais que 10 % de agregado (Nota 2).
- 3.8** – *Tamanho máximo de agregado* – Um tamanho maior de agregado que o tamanho nominal máximo de agregado (Nota 2).
- Nota 2** – A definição dos Itens 3.7 e 3.8 se aplicam somente para misturas Superpave e diferem da definição publicada em outras Normas AASHTO.
- 3.9** – *Pavimento Asfáltico Reciclado (PAR)* – Material de pavimento removido e/ou processado contendo ligante Asfáltico e agregado.
- 3.10** – *Peneira de Controle Primária (PCP)* - A peneira que define a diferença entre misturas de graduação finas e grossas para cada tamanho nominal máximo de agregado.

---

## 4. SIGNIFICADO E USO

- 4.1** – O Método descrito nesta Norma pode ser usado em seleção e avaliação de materiais para Projetos Volumétricos de Mistura Superpave.

---

## 5. EXIGÊNCIAS PARA O LIGANTE

- 5.1** – O ligante deverá ser um ligante grau de performance (PG), satisfazendo as exigências da M 320, que é apropriado para o clima e condições de tráfego do local do projeto de pavimentação, ou como especificado pelos documentos do Contrato.
- 5.1.1**– Determine a média e o desvio padrão anual, com média de 7 (sete) dias, da temperatura máxima do pavimento, medidas a 20 mm abaixo da superfície do pavimento; e a média e o desvio padrão anual da temperatura do pavimento de mínimas de 1 (um) dia, medida na superfície do pavimento, no local do projeto de pavimentação. Estas temperaturas podem ser determinadas com o uso da ferramenta de computação LTPPind ou fornecidas por setor responsável. Se o programa de computador é usado, os modelos LTPP de alta-baixa-temperatura devem ser selecionados no software quando determinado o teor de ligante. Geralmente, informações reais do local não estarão disponíveis e dados representativos de uma estação climática próxima deverão ser utilizados.
- 5.1.2**– Selecione o nível de confiabilidade do projeto para o desempenho desejado de alta-baixa-temperatura. A confiabilidade do projeto exigida é estabelecida pela política da Agência.
- Nota 3** – A seleção do nível de confiabilidade para o desempenho desejado pode ser influenciada pelo custo inicial dos materiais e custos subsequentes de manutenção.

5.1.3– Utilizando os dados de temperatura determinadas do pavimento, selecione o ligante PG (PG binder), classificado por grau de desempenho, que satisfaça a confiabilidade do projeto.

5.2 – Se a velocidade de tráfego ou o Design ESALs permitem, aumente o grau de temperatura pelo valor de graus equivalentes indicados na Tabela 1, para levar em conta a previsão das condições de tráfego no local de projeto.

**Tabela 1** – Seleção do Ligante baseado na Velocidade de Tráfego e Nível de Tráfego

Design ESALs <sup>b</sup> (Milhão)	Adaptação ao Grau de Alta-Temperatura do Ligante <sup>a</sup>		
	Taxa de Carga do tráfego		
	Parado <sup>c</sup>	Lento <sup>d</sup>	Normal <sup>e</sup>
< 0,3	— <sup>f</sup>	—	—
0,3 a < 3	2	1	—
3 a < 10	2	1	—
10 a < 30	2	1	— <sup>f</sup>
≥ 30	2	1	1

<sup>a</sup> Aumente o grau de alta-temperatura pelo valor de graus equivalentes indicados, (1 (um) grau é equivalente a 6°C). Use o grau de baixa-temperatura como determinado no Item 5.

<sup>b</sup> O nível desejado previsto de tráfego de projeto em uma faixa de projeto para um período de 20 anos. Apesar do projeto real de vida da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>c</sup> Tráfego Parado – onde a velocidade média do tráfego é menor que 20 Km/h.

<sup>d</sup> Tráfego Lento - onde a velocidade média do tráfego varia entre 20 e 70 Km/h.

<sup>e</sup> Tráfego Normal - onde a velocidade média do tráfego é maior que 70 Km/h.

<sup>f</sup> Deve ser levado em consideração o grau de alta-temperatura em 1 (um) grau equivalente.

**Nota 4** – Normalmente um ligante PG mais rígido que o PG 82-xx deve ser evitado. Em casos onde o ajuste necessário no grau de alta temperatura do ligante resulte em um ligante com um grau maior que o PG 82, devem ser feitas considerações em especificar um PG 82-xx e aumentar o Design ESALs em 1 (um) nível (ex: de 10 a < 30 milhões aumentar para ≥ 30 milhões).

5.3 – Se PAR vai ser usado na mistura, ajuste o teor do ligante selecionado nos Itens 5.1.3 e 5.2 de acordo com a Tabela 2 para levar em consideração o nível de rigidez do ligante do PAR. Procedimentos para traçar um gráfico combinado (novo+recuperado), são fornecidos no Apêndice.

**Nota 5** – Uma pesquisa conduzida como parte do Projeto 9-12 NCHRP indica que o PAR de alta rigidez (PG 88-4 depois de recuperado) utilizado nos estudos tinham um maior efeito nas propriedades do ligante Asfáltico combinado do que o PAR de média ou baixa rigidez (PG 82-16 e PG 82-22, respectivamente). Estes dados sugerem que os valores limites de PAR na Tabela 2 podem ser mudados dependendo da rigidez de baixa temperatura do ligante recuperado do PAR. Veja o Relatório NCHRP 452 para maiores detalhes.

**Tabela 2** – Guia para seleção de ligante de Misturas (PAR) de Pavimento Asfáltico Reciclado

Teor de Ligante Asfáltico Virgem Recomendado	Porcentagem de PAR
Nenhuma mudança na seleção do ligante	< 15
Selecione ligante virgem, 1 (um) grau mais macio que o normal (ex: selecione um PG58-28, se um PG 64-22 iria normalmente ser utilizado).	15 – 25
Siga as recomendações do gráfico da combinação dos ligantes.	> 25

## 6. EXIGÊNCIAS PARA OS AGREGADOS COMBINADOS

### 6.1 – Exigências de Tamanho

6.1.1– *Tamanho Nominal Máximo* – O agregado combinado deve ter um tamanho nominal máximo de 4,75 a 19,0 mm para camadas superficiais de MAQ e não maior que 37,5 mm para camadas subsuperficiais de MAQ.

**Nota 6** – Informações adicionais na seleção do tamanho nominal máximo apropriado da mistura pode ser encontrado na IS 128 da “National Asphalt Pavement Association”.

6.1.2– *Pontos de Controle da Graduação* – O agregado combinado deverá ser conforme as exigências de graduação especificadas na tabela 3 quando testado de acordo com as T 11 e T 27.

**Tabela 3** – Pontos de Controle da Graduação de Agregado

Tam. da Peneira	Tamanho Nominal Máximo do Agregado – Pontos de Controle (% de passante)											
	37,5 mm		25,0 mm		19,0 mm		12,5 mm		9,5 mm		4,75 mm	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
50,0 mm	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
37,5 mm	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—	—	—
25,0 mm	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—	—	—
19,0 mm	—	—	—	90	90	100	100	—	—	—	—	—
12,5 mm	—	—	—	—	—	90	90	100	100	—	100	—
9,5 mm	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100	95	100
4,75 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	90	90	100
2,36 mm	15	41	19	45	23	49	28	58	32	67	—	—
1,18 mm	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	60
0,075 mm	0	6	1	7	2	8	2	10	2	10	6	12

6.1.3– *Classificação da Graduação* – A graduação do agregado combinado deverá ser classificada como graduação grossa quando passa abaixo do ponto de controle (PCP) Peneira de Controle Primária como definido na Tabela 4. Todas as outras graduações deverão ser classificadas como graduação fina.

**Tabela 4 – Classificação de Graduação**

Ponto de Controle PCP para Mistura de Agregado de Tamanho Nominal Máximo					
( % passante)					
Tamanho de Agregado Nominal Máximo	37,5 mm	25,0 mm	19,0 mm	12,5 mm	9,5 mm
Peneira de Controle Primária	9,5 mm	4,75 mm	4,75 mm	2,36 mm	2,36 mm
Ponto de Controle PCP (% passante)	47	40	47	39	47

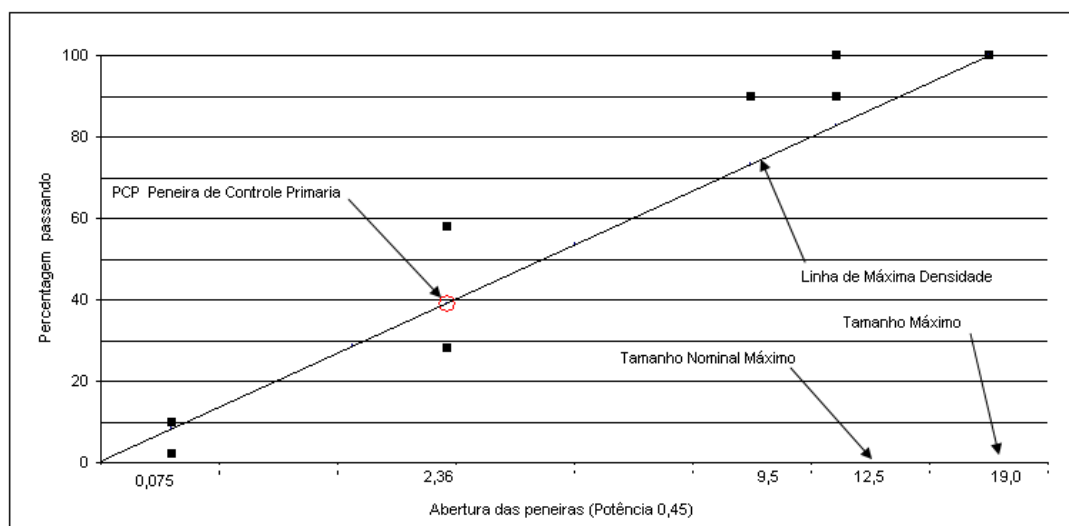


Figura 1 - Pontos de Controle para Graduação de um Tamanho Nominal Máximo de Agregado 12,5mm do Superpave.

- 6.2 – Exigências de Angularidade de Agregado Graúdo** – A porcentagem de faces fraturadas do agregado deverá estar conforme as exigências da Tabela 5, medido de acordo com a D 5821.
- 6.3 – Exigências de Angularidade de Agregado Miúdo** – A porcentagem de vazios não compactados do agregado deverá estar conforme as exigências da Tabela 5 para agregado miúdo, medido de acordo com o Método A, da T 304.
- 6.4 – Exigências de Equivalente de Areia** – O agregado deverá estar conforme as exigências para equivalente de areia da Tabela 5, medido de acordo com a T 176.
- 6.5 – Exigências de Lamelaridades** – O agregado deverá estar conforme as exigências de partículas planas e alongadas, especificado na Tabela 5, medido de acordo com a D 4791, com a exceção de que o material passante da peneira 9,5 mm e retido na peneira 4,75 mm deverá ser incluído. O agregado deverá ser medido usando a relação 5:1, comparando o comprimento (maior comprimento) à espessura (menor espessura) das partículas de agregado.
- 6.6** – Quando PAR é utilizado na mistura, o agregado do PAR deverá ser extraído desta utilizando-se uma extração por solvente (T164) ou um forno de ignição (T308), como especificado pela Agência. O agregado de PAR deverá ser incluído nas determinações das exigências de granulometria, de angularidade de agregado graúdo, de angularidade de agregado miúdo e de lamelaridade. As exigências de equivalente de areia deverão ser ignoradas para o PAR, mas deverão ser aplicadas para o restante da mistura de agregado.

**Tabela 5 – Consenso de Exigências de Propriedades de Agregado**

Design ESALs <sup>a</sup> (Milhão)	Face Fraturada, Agregado Graúdo <sup>c</sup> , Porcentagem Mínima		Teor de Vazio Não Compactado de Agregado Miúdo, Porcentagem Mínima		Equivalente de Areia, Porcentagem Mínima	Lamelaridade <sup>c</sup> , Porcentagem Máxima
	Profundidade da Superfície		Profundidade da Superfície			
	≤ 100 mm	> 100 mm	≤ 100 mm	> 100 mm		
< 0,3	55 / ___	___ / ___	—	—	40	—
0,3 a < 3	75 / ___	50 / ___	40	40	40	10
3 a < 10	85 / 80 <sup>b</sup>	60 / ___	45	40	45	10
10 a < 30	95 / 90	80 / 75	45	40	45	10
≥ 30	100 / 100	100 / 100	45	45	50	10

<sup>a</sup> Projeção do nível esperado de tráfego de projeto para um período de 20 anos. Apesar da vida real de projeto da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>b</sup> 85 / 80 indica que, 85 por cento do agregado graúdo possuem 1 (uma) face fraturada e 80 por cento possuem 2 (duas) ou mais faces fraturadas.

<sup>c</sup> Este critério não se aplica para o misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm.

**Nota 7 –** Se menos de 25 por cento da camada está a menos de 100 mm da superfície, a camada pode ser considerada abaixo de 100 mm, para a finalidade de projeto de mistura.

## 7. EXIGÊNCIAS DE PROJETO DE MAQ

**7.1 –** O agregado e o ligante no MAQ deverão estar conforme às exigências dos Itens 5 e 6.

**7.2 –** O Projeto de MAQ, quando compactado de acordo com a T 312, deverá estar conforme com as exigências de densidade relativa, VAM, VCA e a relação filler-ligante especificadas na tabela 6. Os giros, inicial, de projeto e de número máximo, estão especificados na R 35.

**Tabela 6 – Exigências de Projeto Superpave de MAQ**

Design ESALs <sup>a</sup> (Milhão)	Densidade Relativa Exigida, Porcentagem de Densidade			Vazios no Agregado Mineral (VAM), Porcentagem Mínima						Faixa <sup>b</sup> de Vazios Cheios de Asfalto (VCA), Porcentagem	Faixa <sup>c</sup> de Relação filler- Ligante
	Específica Teórica Máxima			Tamanho de Agregado Nominal Máximo - mm							
	N <sub>inicial</sub>	N <sub>projeto</sub>	N <sub>máximo</sub>	37,5	25,0	19,0	12,5	9,5	4,75		
< 0,3	≤91,5	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	70 - 80 <sup>d</sup>	0,6 – 1,2
0,3 a < 3	≤90,5	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 78	0,6 – 1,2
3 a < 10	≤89,0	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 75 <sup>e</sup>	0,6 – 1,2
10 a < 30	≤89,0	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 75 <sup>e</sup>	0,6 – 1,2
≥ 30	≤89,0	96,0	≤98,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	65 – 75 <sup>e</sup>	0,6 – 1,2

<sup>a</sup> Projeção do nível esperado de tráfego de projeto para um período de 20 anos. Apesar da vida real de projeto da estrada, determine o Design ESALs para 20 anos.

<sup>b</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 37,5 mm, o menor limite especificado da faixa de VCA deverá ser de 64 por cento, para todos os níveis de tráfego de projeto.

<sup>c</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm, a relação de filler-ligante deverá ser de 0,9 a 2,0.



---

<sup>d</sup> Para misturas de tamanho nominal máximo de 25,0 mm, o menor limite especificado da faixa de VCA deverá ser de 67 por cento para níveis de tráfego de projeto < 0,3 milhões de ESALs.

<sup>e</sup> Para níveis de tráfego de projeto > 3 milhões de ESALs, misturas de tamanho nominal máximo de 9,5 mm, a faixa especificada de VCA deverá ser de 73 a 76 e para misturas de tamanho nominal máximo de 4,75 mm, deverá ser de 75 a 78 por cento.

**Nota 8** – Se a granulometria do agregado passa por baixo do Ponto de Controle PCP especificado na Tabela 4, a faixa da relação Filler-Ligante pode ser aumentada de 0,6-1,2 para 0,8-1,6, com aprovação da Agência.

**Nota 9** – Misturas com VAM excedendo o valor mínimo em mais que 2 por cento podem ser propensas a fragmentar-se e ao afundamento de trilha de roda. A menos que uma experiência comprovada com misturas de alto VAM esteja disponível, misturas com VAM maior que 2 por cento acima do mínimo, devem ser evitadas.

7.3 – O projeto de MAQ, quando compactado de acordo com a T 312, em  $7,0 \pm 0,5$  por cento de vazios e testada de acordo com a T 283, deverá ter uma resistência à tração retida de 0,80.

---

## APÊNDICE

(Informação Não Mandatória)

---

### X1 – PROCEDIMENTOS PARA DESENVOLVER UM GRÁFICO DE MISTURA

**X1.1** - Combinação de ligantes de PAR podem ser conseguidas conhecendo-se o teor final (temperatura crítica) desejado do ligante combinado, as propriedades físicas (e temperaturas críticas) do ligante recuperado do PAR e ambas as propriedades físicas (e temperaturas críticas) do ligante Asfáltico virgem ou a porcentagem desejada de PAR na mistura.

**X1.2** - *Determine as propriedades físicas e temperaturas críticas do ligante do PAR.*

X1.2.1 – Recupere o ligante do PAR utilizando a T 319 (Nota 10) com um solvente apropriado. Ao menos 50 g do ligante recuperado do PAR são necessários para os ensaios. Faça ensaios de classificação de ligante utilizando os ensaios descritos na M 320. Ensaios de Viscosidade com o Viscosímetro Rotacional, de ponto de fulgor e de perda de massa, não são necessários.

**Nota X1** – Enquanto a T 319 é o método preferido, com a aprovação da Agência, a T 170 pode ser utilizada. A pesquisa conduzida durante o 9-12 NCHRP indica que a T 170 pode afetar as propriedades do ligante recuperado.

X1.2.2 – Conduza o ensaio de Cisalhamento (DSR) Dinâmico original, no ligante recuperado do PAR para determinar a maior temperatura crítica,  $T_c(Alta)$ , com base no valores originais do DSR onde  $G^*/sen\delta = 1,00$  kPa. Calcule a temperatura alta crítica, como a seguir.

X1.2.2.1 – Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir.

$$\alpha = \Delta \log(G^*/sen\delta) / \Delta T \quad (X1.1)$$

X1.2.2.2 – Determine o  $T_c(Alta)$ , com uma aproximação de 0,1°C, usando a seguinte equação:

$$T_c(Alta) = \left( \frac{\text{Log}(1,00) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (X1.2)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.1.

**Nota X2** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (1,00 kPa), para minimizar erros de interpolação.

X1.2.3 – Conduza o envelhecimento RTFO (Rolling Thin Film Oven) em Estufa de Filme Fino Rotativo, por oxidação e evaporação, do ligante remanescente.

X1.2.4 – Execute o ensaio RTFO DSR no ligante recuperado envelhecido por RTFO para determinar o temperatura alta crítica (baseado no RTFO DSR). Calcule a temperatura alta crítica (RTFO DSR).

X1.2.4.1 – Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(G^*/\text{seno}\delta) / \Delta T \quad (X1.3)$$

X1.2.4.1 – Determine a  $T_c(Alta)$  baseada no RTFO DSR, com uma aproximação de 0,1°C, usando a seguinte equação:

$$T_c(Alta) = \left( \frac{\text{Log}(2,20) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (X1.4)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.3.

**Nota X3** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (2,20 kPa), para minimizar erros de interpolação.

X1.2.5 – Determine a temperatura alta crítica do ligante recuperado de PAR como a menor do DSR original e temperaturas críticas do RTFO DSR. Determine o grau de desempenho em temperatura alta do ligante do PAR recuperado baseado nesta alta temperatura crítica.

X1.2.6 – Execute o ensaio DSR (com o Reômetro de Cisalhamento Dinâmico) de temperatura intermediária no ligante de PAR recuperado e envelhecido pelo RTFO para determinar a temperatura crítica intermediária  $T_c(Interm)$ , como se o ligante de PAR fosse envelhecido por PAV (pressure aging vessel-Vaso de Pressão).

X1.2.6.1 – Determine a inclinação da curva de Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(G^* / \text{seno}\delta) / \Delta T \quad (X1.5)$$

X1.2.6.2 – Determine a  $T_c(\text{Interm})$  com uma aproximação de 0,1°C, usando a seguinte equação:

$$T_c(\text{Interm}) = \left( \frac{\text{Log}(5000) - \text{Log}(G_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (X1.6)$$

onde:

$G_1$  = o valor de  $G^*/\text{seno}\delta$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.5.

**Nota X4** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $G_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável de se use o valor  $G^*/\text{seno}\delta$  mais próximo do critério (5000 kPa), para minimizar erros de interpolação.

X1.2.7 – Execute o ensaio BBR (com o Reometro de Fluência em Viga) no ligante recuperado de PAR, envelhecido por RTFO, para determinar a temperatura baixa crítica  $T_c(S)$  or  $T_c(m)$ , baseado nos valores  $S$  (rigidez) e  $m$  do Reometro de Fluência de Viga (BBR).

X1.2.7.1 – Determine a inclinação da curva Rigidez-Temperatura, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \log(S) / \Delta T \quad (X1.7)$$

X1.2.7.2 – Determine  $T_c(S)$  com uma aproximação de 0,1°C usando a seguinte equação:

$$T_c(S) = \left( \frac{\text{Log}(300) - \text{Log}(S_1)}{\alpha} \right) + T_1 \quad (X1.8)$$

onde:

$S_1$  = o valor  $S$  a uma temperatura  $T_1$  específica, e

$\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.7.

**Nota X5** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_1$ ) e a sua rigidez correspondente ( $S_1$ ) possam ser selecionadas, é recomendável que se use o valor- $S$  mais próximo do critério (300 MPa), para minimizar erros de interpolação.

X1.2.7.3 – Determine a inclinação da curva de Temperatura de *valor-m*, como a seguir:

$$\alpha = \Delta \text{valor} - m / \Delta T \quad (X1.9)$$

X1.2.7.4 – Determine  $T_c(m)$  com uma aproximação de 0,1°C usando a seguinte equação:

$$T_c(m) = \left( \frac{0,300 - m_1}{\alpha} \right) + T_1 \quad (X1.10)$$

onde:

$m_l$  = o valor- $m$  a uma temperatura  $T_l$  específica, e  
 $\alpha$  = a inclinação como descrito na Equação X1.9.

**Nota X6** – Apesar de que qualquer temperatura ( $T_l$ ) e o seu valor- $m$  correspondente possam ser selecionados, é recomendável que se use o valor- $m$  mais próximo do critério (0,300), para minimizar erros de interpolação.

X1.2.7.5 – Selecione a maior das 2 (duas) temperaturas baixas críticas,  $T_c(S)$  ou  $T_c(m)$ , para representar a temperatura baixa crítica do ligante Asfáltico recuperado,  $T_c(Baixa)$ . Determine o grau de desempenho de temperatura baixa do ligante de PAR recuperado baseado nesta única temperatura baixa crítica.

X1.2.8 – Assim que são conhecidas as propriedades físicas e as temperaturas críticas do ligante de PAR recuperado, prossiga com a combinação de uma porcentagem conhecida de PAR ou um teor conhecido de ligante virgem.

### **XI.3 - Combinando com uma porcentagem conhecida de PAR**

X1.3.1 – Se o teor desejado de ligante combinado final, a porcentagem desejada de PAR e as propriedades de ligante de PAR recuperado são conhecidos, então as propriedades exigidas de um teor apropriado de ligante virgem podem ser determinadas.

X1.3.1.1 – Determine as temperaturas críticas do ligante Asfáltico virgem, em propriedades de alta, intermediária e baixa, utilizando a seguinte equação:

$$T_{virgem} = \frac{T_{combin} - (\% PAR \times T_{PAR})}{(1 - \% PAR)} \quad (X1.11)$$

onde:

$T_{virgem}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico virgem (alta, intermediária ou baixa);

$T_{combin}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico combinado (final desejada) (alta, intermediária ou baixa);

$\% PAR$  = porcentagem de PAR expressa na forma de um decimal; e

$T_{PAR}$  = temperatura crítica de ligante de PAR recuperado (alta, intermediária ou baixa).

X1.3.1.2 – Utilizando a Equação X1.11 para as temperaturas críticas alta, intermediária e baixa, respectivamente, as propriedades necessárias do ligante Asfáltico virgem podem ser determinadas.

### **XI.4 - Combinando com um ligante virgem conhecido**

X1.4.1 – Se o teor ligante combinado final, o teor de ligante Asfáltico virgem e as propriedades do PAR reciclado forem conhecidas, então a porcentagem permitida de PAR pode ser determinada.

X1.4.1.1 – Determine a porcentagem de PAR permitida utilizando a seguinte equação:

$$\%PAR = \frac{T_{combin} - T_{virgem}}{T_{PAR} - T_{virgem}} \quad (X1.12)$$

onde:

$T_{virgem}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico virgem (alta, intermediaria ou baixa);

$T_{combin}$  = temperatura crítica de ligante Asfáltico combinado (final desejada) (alta, intermediaria ou baixa); e

$T_{PAR}$  = temperatura crítica de ligante de PAR recuperado (alta, intermediaria ou baixa).

X1.4.1.2 – Utilizando a Equação X1.12 para as temperaturas críticas, alta, intermediaria e baixa, respectivamente, a porcentagem permitida de PAR, que irá satisfazer todas as temperaturas, pode ser determinada.