

IAG338-01-2013
ESTUDIO COMPARATIVO SOBRE ENVEJECIMIENTO ASFALTO
MEZCLAS DE AGLUTINANTES DE HOT RECICLADO DE PLANTA
PROTOTIPO
ESTUDO COMPARATIVO SOBRE ENVELHECIMENTO DE LIGANTE
ASFÁLTICO DE MISTURAS RECICLADAS A QUENTE A PARTIR DE
USINA PROTÓTIPO

Ana Carolina da Cruz Reis
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Brasil
anakkrol@hotmail.com

Antonio Carlos Rodrigues Guimarães
Instituto Militar de Engenharia
Rio de Janeiro, Brasil
guimaraes@ime.eb.br

Resumen

El deterioro del pavimento de asfalto está directamente relacionada con el envejecimiento de la carpeta de asfalto, un material aglutinante principal utilizado en carreteras cubiertas de piso y el aeropuerto, en Brasil y en el mundo. En esta investigación, planta de mezcla de asfalto en caliente reciclada en prototipo tenía sus ligantes asfálticos sometidos a pruebas en función de la penetración y la viscosidad tradicional para la caracterización de la nueva carpeta de asfalto y el aglutinante extraído / recuperado de la mezcla reciclada para saber cómo consagra prototipo envejecimiento del ligante. Se evaluaron y se compararon con los resultados obtenidos por el método de los ligantes extraídos de Abson a máquina para mezclas bituminosas en caliente, que se moldea a partir de el campo de la planta prototipo Las características físicas de aglomerante virgen tales como la penetración, viscosidad, punto de ablandamiento y otras reciclaje J-1000. Tales procesos son importantes en la cuantificación de la pérdida de propiedades físicas y mecánicas de los aglutinantes durante el envejecimiento del betún. Esto demuestra que la mezcla de asfalto preparado con equipos P-1000 mostró propiedades mecánicas similares a las mezclas preparadas en el laboratorio, y también el patrón de envejecimiento desarrollado en este nuevo proceso de mecanizado aglutinante no difiere significativamente de la norma estándar habitual envejecimiento mezclas producidas en las plantas convencionales.

Resumo

A deterioração do pavimento asfáltico está diretamente relacionada com o envelhecimento do ligante asfáltico, um importante material aglutinante utilizado em revestimentos de pavimentos rodoviários e aeroportuários, no Brasil e no mundo. Nesta pesquisa, misturas asfálticas recicladas

a quente em usina protótipo tiveram seus ligantes asfálticos submetidos a ensaios tradicionais baseados na penetração e viscosidade para a caracterização do ligante asfáltico novo e do ligante extraído/recuperado da mistura reciclada a fim de conhecer o quanto o protótipo resguarda o envelhecimento do ligante. As características físicas do ligante virgem tais como penetração, viscosidade, ponto de amolecimento entre outros foram avaliadas e comparados com os resultados obtidos dos ligantes extraídos pelo método ABSON de misturas betuminosas usinadas à quente, as quais foram moldadas em campo a partir da usina protótipo de reciclagem J-1000.

INTRODUÇÃO

No decorrer do preparo da mistura asfáltica e da sua vida de serviço, em virtude da diversidade de agressões às quais são submetidos, os cimentos asfálticos sofrem mudanças significativas na sua estrutura química. As consequências sobre suas propriedades físicas são diretas, fazendo com que apresentem um comportamento distinto daquele esperado do ligante virgem, produzido na refinaria. O envelhecimento, como é denominado este fenômeno de comprometimento progressivo das propriedades físicas do ligante, é um processo de natureza complexa. É influenciado, basicamente, pelas características químicas do próprio ligante, pela forma com que é manuseado e pelo nível de intemperização ao qual está submetido no pavimento. Ocorre durante a estocagem, a usinagem, o transporte, o manuseio, a aplicação e a vida de serviço do ligante, acarretando aumento da sua consistência.

O primeiro estudo sobre envelhecimento de ligante asfáltico foi realizado por A.W. Dow denominado Asphalt at Washington, no ano 1903, este relatou que o aquecimento do ligante asfáltico reduzia o peso e a penetração do ligante asfáltico recuperado de misturas. Pesquisas mais amplas sobre o assunto começaram por volta de 1930 (BELL, WIEDER e FELLIN, 1994).

Atualmente um dos grandes desafios da pavimentação a quente é reduzir o envelhecimento do ligante durante todo o seu ciclo de aplicação. Segundo TONIAL (2001) como outras substâncias orgânicas, o ligante asfáltico oxida lentamente quando em contato com o ar. Os grupos polares oxigenados tendem a associar-se, formando micelas de alto peso molecular e graças a isso ocorre um aumento da viscosidade do ligante asfáltico. Estas informações geradas resultam em moléculas maiores e mais complexas quem fazem o ligante asfáltico endurecer e ficar menos flexível.

SILVA (2011b) afirma que a oxidação é o principal responsável pelo envelhecimento, ocorre na etapa de usinagem onde o ligante é revolvido a altas temperaturas de forma que uma grande superfície fica exposta ao ar, chegando a ter um grau de envelhecimento de até 60%. Os outros 40% do envelhecimento acontecem durante o transporte, estocagem e vida útil de serviço.

O endurecimento devido à oxidação há algum tempo vem sendo considerado a principal causa de envelhecimento do ligante asfáltico (WHITEOAK, 1990; LEITE, 1999). A oxidação, juntamente com os fatores que governam a velocidade da reação e seus eventuais efeitos, é de importância crítica para a qualidade do ligante asfáltico e para o sucesso do produtor da mistura asfáltica (BROCK, 1996).

A Figura 1 representa a ocorrência do envelhecimento do ligante asfáltico em três etapas: a primeira, de maior impacto, se dá quando da usinagem da mistura asfáltica e representa cerca de 60% do envelhecimento total sofrido pelo ligante; a segunda se dá durante a estocagem (comum em usinas americanas de grande porte, mas não no Brasil), transporte, espalhamento e compactação, representando cerca de 20% do envelhecimento total sofrido pelo ligante; na terceira etapa, o envelhecimento ocorre durante a vida útil do revestimento e se dá devido à ação

do meio ambiente e representa cerca de 20% do envelhecimento total sofrido pelo ligante. Embora não ilustrado na Figura 1, há que se ressaltar que a primeira alteração propriamente dita da estrutura química do CAP após a sua produção pode ocorrer já durante a sua estocagem, mas em menor grau, pois a superfície exposta ao ar no tanque é pequena em relação a massa total do produto (TONIAL, 2001).

Ainda segundo a Figura 1, verifica-se que cerca de 80% do envelhecimento total sofrido pelo ligante asfáltico durante toda a vida útil de um revestimento ocorre durante a usinagem e aplicação da mistura asfáltica, o que vem a enfatizar o apurado e cuidado técnico que se deve ter com as temperaturas de industrialização das misturas (MORILHA, 2004).

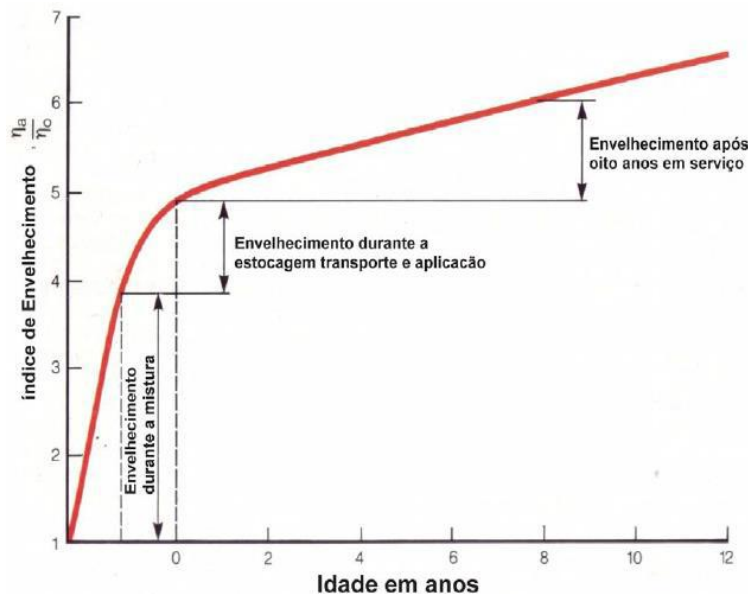


Figura 1: Envelhecimento do ligante asfáltico nas etapas de construção e de utilização do pavimento (WHITEOAK, 1990)

LAMONTAGNE (2002) divide a ocorrência do envelhecimento em três etapas:

Usinagem: a primeira fase do envelhecimento acontece durante a mistura onde se processa a fabricação da massa asfáltica, ficando o agregado e o ligante submetido a altas temperaturas (160 – 180° C) na presença de oxigênio, quando ocorre a formação de uma película com espessura de 5 a 15 micrômetros envolvendo o agregado aquecido. Esta etapa faz com que a massa asfáltica saia da usina com 60% de envelhecimento. A mistura asfáltica, nesta situação torna-se menos dúctil e pode apresentar degradação precoce, em forma de trincamento por fadiga e até mesmo por arrancamento dos agregados.

- ✓ Espalhamento e compactação: a segunda fase do envelhecimento acontece durante a estocagem, transporte e aplicação. Nesta etapa o composto fica submetido a altas temperaturas e sua superfície em contato direto com o oxigênio, quando ocorre cerca de 20% do envelhecimento total do ligante.
- ✓ Utilização da pista: a terceira fase do envelhecimento acontece durante a vida útil do pavimento, onde o mesmo está sujeito a uma temperatura mais baixa, porém fica submetido às intempéries e ao tráfego, o que acarreta uma continuação do envelhecimento sendo este 20% do total sofrido pelo CAP.

De acordo com WHITEOAK (1990), quatro são os mecanismos principais responsáveis pelo envelhecimento do CAP:

- ✓ Oxidação: como outras substâncias, o CAP oxida lentamente quando em contato com o ar. Durante o processo de usinagem, a presença de oxigênio, a grande superfície específica dos agregados e as altas temperaturas dentro do pug-mill ou dentro tambor secador misturador proporcionam a oxidação;
- ✓ Perda de voláteis: a evaporação de componentes voláteis depende também da temperatura e da condição de exposição. Esta perda pode ser considerada baixa em ligantes asfálticos puros tendo em vista que estes têm baixos teores de voláteis;
- ✓ Endurecimento físico: ocorre à temperatura ambiente e é atribuído à reordenação de moléculas e a cristalização de parafinas. Este é um fenômeno reversível, e;
- ✓ Endurecimento exsudativo: resulta do movimento dos componentes óleos que exsudam do ligante asfáltico para dentro do agregado mineral. Esta é uma função tanto da tendência de exsudação do ligante como da porosidade do agregado.

EXTRAÇÃO E RECUPERAÇÃO DO CAP DE MISTURAS ASFÁLTICAS

O ponto crucial nas dosagens de reciclados a quente é a extração do ligante envelhecido. É aqui que se encontra a maior dificuldade em utilizar um método de extração e recuperação do ligante envelhecido, sem que ele altere as propriedades do ligante (LIMA, 2003).

A extração do ligante é a separação do agregado mineral e do cimento asfáltico de petróleo. Esta separação faz-se necessária quando se quer caracterizar separadamente as propriedades dos materiais componentes da mistura ou obter o teor de cada um. A extração do ligante é feita utilizando procedimentos com o uso de solvente, o qual é posteriormente extraído da mistura (solvente-ligante) para evitar que não haja alterações nas propriedades físicas que se deseja medir. Um dos principais pontos da reciclagem é a extração do ligante envelhecido, pois se faz necessário usar um método de extração e recuperação do ligante envelhecido sem que se alterem as propriedades do ligante (SILVA, 2011b).

Segundo LIMA (2003) para separar o ligante diluído em solvente do agregado, existem três métodos que são: a extração por centrifugação (rotarex), a extração por refluxo e método de extração a vácuo que não é muito difundido. Para separar o ligante do solvente existem dois métodos que são: a destilação pelo método Abson e a destilação pelo método Rotavapor. A extração do ligante de misturas asfálticas está padronizada na norma americana ASTM D 2172 (ASTM, 2001a) (extração de asfalto de misturas asfálticas).

RECUPERAÇÃO DE ASFALTO PELO MÉTODO ABSON

Existem dois métodos usados para a recuperação de asfalto: (i) recuperação de asfalto da solução pelo método de Abson preconizado pela norma ASTM D 1856 (ASTM, 1995) e AASHTO T 170 (AASHTO, 1993), Figura 4 e (ii) recuperação de asfalto usando o aparelho denominado Rotavapor, ASTM D 5404 (ASTM, 1997). O método mais utilizado para se recuperar o ligante da mistura asfáltica é o método de Abson, que utiliza uma aparelhagem de destilação denominada sox-let ou o rotavapor.

Este método baseia-se em colocar um balão cheio de solvente (benzeno, tetracloreto de carbono, ou tricloroetileno) que aquecido é evaporado para dentro de um instrumento, onde se encontra o material a ser extraído que é o ligante. Esse aparelho permite que o vapor suba por um tubo até a parte mais alta do mesmo, entrando em contato com um condensador, que faz com que o solvente precipite sobre o material, lavando-o. Através de um tubo capilar ligado ao instrumento, permite que o solvente circule, lavando a amostra várias vezes até que o extrato que circula pelo tubo capilar seja transparente, isto é não tenha mais betume a ser extraído. O problema de se utilizar este método para se recuperar o ligante reside na dificuldade da completa remoção do solvente e evitar que o ligante não venha a ser oxidado (LIMA, 2003).

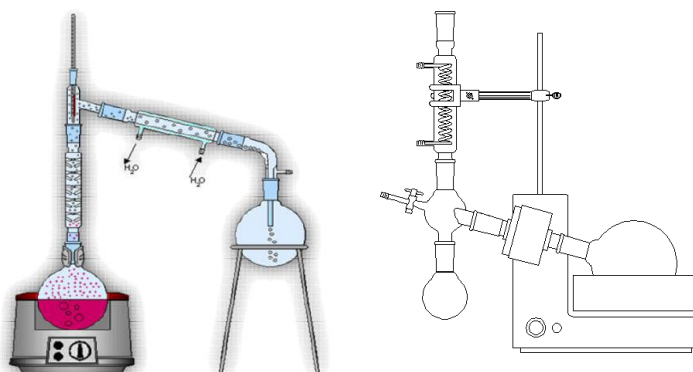


Figura 3: Representação do destilador abson (Sox-Let) (SILVA, 2011) e representação do destilador abson (rotavapor)

COSTA e GUIMARÃES (2012) afirmam que a metodologia de Abson, considerada uma metodologia experimental, e apesar de polêmicas em torno da variabilidade dos resultados inerentes ao processo de extração, quando analítica e criteriosamente executada permite que sejam aferidas com relativa precisão as propriedades físicas e reológicas do ligante envelhecido para que assim possam ser quantificadas. A metodologia consiste basicamente na dissolução do ligante em estudo em um solvente (tricloroetileno), e posterior recuperação do ligante através de processos de destilação com injeção de CO₂.

USINA PROTÓTIPO J-1000

A obtenção de uma mistura asfáltica envolve a associação de agregados com ligantes asfálticos em proporções predeterminadas no projeto de dosagem para produzir uma massa homogênea de acordo com especificações e critérios adotados. Procedimentos são realizados em instalações apropriadas conhecidas como usinas de asfalto, visto que se trata de usinas para produção de misturas asfálticas a quente (Bernucci *et al.*, 2006).

Nas Figuras 4 e 5 são apresentados aspectos gerais da usina protótipo para reciclagem à quente de misturas asfálticas, denominada J-1000, desenvolvida para pesquisas preliminares de reciclagem de concreto asfáltico, considerando total reaproveitamento do material fresado. O equipamento consiste, basicamente, de uma peça cilíndrica sustentada sobre uma placa aquecedora, cuja temperatura pode aumentar, a aproximadamente 160° C, conforme representado na Figura 4. No interior do protótipo, um sistema de hastes giratórias de formas variadas, conforme mostrado na Figura 5, é responsável pela homogeneização da mistura. Na sequência de operações, a amostra de material fresado é primeiramente introduzida já com o equipamento previamente ligado, homogeneizando e aquecendo o fresado (Reis e Guimarães, 2011).



Figura 4: Aspecto geral do protótipo utilizado na pesquisa

Nesta fase de aquecimento, é possível verificar que parte do ligante que envolve o agregado fresado começa a se descolar da mistura. Em seguida é adicionado à mistura o fíler (cal hidratada), posterior a borracha moída de pneu inservível e, por fim, o CAP que foi aquecido à temperatura de projeto em um dispositivo anexo ao equipamento J-1000. Todos os compostos são misturados, por um período de tempo médio de trinta minutos, a fim de garantir a homogeneidade da massa, mantendo a temperatura adequada. O protótipo possui capacidade de produção de até 10 ton/hora, sustentado com fonte de energia elétrica.



Figura 5: Vista das paletas misturadoras e aspecto homogêneo da mistura obtida com o equipamento J-1000

MATERIAIS E MÉTODO

A metodologia adotada para este estudo seguiu duas etapas onde o CAP utilizado nesta pesquisa foi primeiramente submetido à caracterização convencional do novo ligante a ser incorporado nas misturas recicladas e a segunda para a caracterização, pelo método Abson, dos CAPs envelhecidos extraído da mistura usinadas no protótipo.

O ligante asfáltico utilizado nesta pesquisa foi: Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP 30/45) da Refinaria Duque de Caxias – Reduc – fornecido pela SOMA Engenharia, empresa de pavimentação parceira nesta pesquisa. Este CAP foi caracterizado no Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas, do Instituto Militar de Engenharia. As especificações adotadas estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Tipos de ensaios e normas conforme ABNT

| Ensaio – CAP 30/45 | Unidades | Limites | Métodos |
|---|-------------------|----------|-----------|
| Amostra Virgem | CAP 30/45 | | ABNT |
| Densidade | g/cm ³ | - | NBR 6296 |
| Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm) | 0,1mm | 30 a 45 | NBR 6576 |
| Ponto de Amolecimento, min. | °C | 52 | NBR 6560 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20rpm, mín | cP | 374 | NBR 15184 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, mín. | | 203 | |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21 | | 76 a 285 | |
| Ponto de fulgor, mín. | °C | 235 | NBR 11341 |
| Dutibilidade a 25°C, mín | cm | 60 | NBR 6293 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 min | | | |
| Ponto de amolecimento, máx. | °C | 60 | NBR 6560 |
| Penetração retida, mín. | % | 60 | NBR 6576 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20rpm, mín | cP | 374 | NBR 15184 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, mín. | | 203 | |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21 | | 76 a 285 | |

A segunda etapa deste estudo compreende o estudo de envelhecimento do CAP das misturas usinadas no protótipo J-1000, pelo método Abson. O método Abson é a extração do ligante propriamente dita, considerado um procedimento experimental, e apesar de polêmicas em torno da variabilidade dos resultados inerentes ao processo de extração, quando analítica e criteriosamente executada permite que sejam aferidas com relativa precisão as propriedades físicas e reológicas do ligante envelhecido para que assim possam ser quantificadas.

O método consiste basicamente na dissolução do ligante em estudo em um solvente (tricloroetileno), e posterior recuperação do ligante através de processos de destilação primária em sox-let ou rotavapor e posteriormente o material é levado a um aparato especialmente preparado como descrito em norma onde é submetido a diferentes temperaturas e vazões de CO₂ por período de tempo determinados a fim de que todo o ligante seja vaporizado e o ligante seja recuperado. As instruções normatizadas preconizadas pelas AASHTO T 170 (AASHTO, 1993) e ASTM D 1856 (ASTM, 1995) para a realização do método Abson foram levadas em consideração.

Para tanto os corpos-de-prova contendo os ligantes a serem extraídos foram resfriados a temperatura ambiente, e em seguida submetidos a aquecimento em estufa a temperatura de 135°C durante período de 3 horas, até que o ligante possa ser desprendido e toda a massa homogeneizada e dissolvida em solvente, através do equipamento Rotarex. A solução foi então centrifugada e em seguida concentrada através da destilação primária utilizando o rotavapor (Figura 6).



Figura 7: Equipamento Rotavapor

Posteriormente, o material foi submetido a diferentes temperaturas e vazões de CO₂ por períodos de tempo determinados a fim de que todo o solvente seja vaporizado e o ligante seja recuperado. A injeção de CO₂ é vital durante todo o processo, sendo inicialmente a baixas temperaturas, a fim de provocar alguma agitação e impedir a formação de espuma, e depois, a temperaturas mais elevadas, para evitar a oxidação por parte do ligante que está sendo extraído. Um aparato especialmente desenvolvido para esta finalidade foi utilizado conforme mostra a imagem da Figura 8.



Figura 8: Equipamento Utilizado para Destilação em Presença de no CO₂ Laboratório do IME (COSTA e GUIMARÃES, 2012)

RESULTADOS

A caracterização do CAP estudado na presente pesquisa, constituiu na classificação por penetração CAP 30/45 convencional, ao passo que os demais resultados convencionais são apresentados na Tabela 2. O ligante foi provido pela SOMA Engenharia, empresa de pavimentação rodoviária parceira nesta pesquisa. O estudo foi desenvolvido no Laboratório de Ligantes e Misturas Betuminosas, do Instituto Militar de Engenharia.

Tabela 2: Caracterização do CAP Utilizado na Presente Pesquisa

| Ensaio – CAP 30/45 | Unidades | Limites | Métodos | Resultados |
|---|-------------------|----------|-----------|------------|
| Amostra Virgem | CAP 30/45 | | ABNT | |
| Densidade | g/cm ³ | - | NBR 6296 | 1,05 |
| Penetração (100g, 5s, 25°C, 0,1mm) | 0,1mm | 30 a 45 | NBR 6576 | 39 |
| Ponto de Amolecimento, mín. | °C | 52 | NBR 6560 | 54,4 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20rpm, mín | cP | 374 | NBR 15184 | 1227 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, mín. | | 203 | | 301 |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21 | | 76 a 285 | | 159 |
| Ponto de fulgor, mín. | °C | 235 | NBR 11341 | 316 |
| Dutilidade a 25°C, mín | cm | 60 | NBR 6293 | 100 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 min | | | | |
| Ponto de amolecimento, máx. | °C | 60 | NBR 6560 | 57,9 |
| Penetração retida, mín. | % | 60 | NBR 6576 | 61,5 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20rpm, mín | cP | 374 | NBR 15184 | 1592 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, mín. | | 203 | | 766 |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21 | | 76 a 285 | | 282 |

Foram moldados 6 corpos-de-prova ao passo que 3 CPs são do traço I com 96% de fresado, 3% de borracha moída e 3% de cal hidratada e o traço II 98% de fresado e 2% de cal hidratada, seguindo o método de compactação Marshall, e o ligante extraído do corpo de prova utilizando o Método ABSON, após envelhecimento pela usinagem no J-1000. Após a extração do ligante envelhecido foi realizada a análise dos parâmetros apresentados na Tabela 3. Para quantificar a perda das propriedades por parte dos ligantes após o envelhecimento, tais resultados são confrontados com os resultados da caracterização convencional (Tabela 2) a fim de se verificar o efeito de envelhecimento do ligante asfáltico durante a usinagem das misturas na unidade protótipo em escala reduzida – equipamento J-1000.

Tabela 2: Caracterização do CAP após Envelhecimento (Extração Abson)

| Ensaio – CAP 30/45 | Unidades | Limites | Métodos | Resultados - Abson | | | Resultados – Após RTFOT |
|---|-----------|----------|-----------|--------------------|----------------|-----------------|-------------------------|
| | CAP 30/45 | | ABNT | Traço I-Campo | Traço II-Campo | Traço III-Campo | |
| Penetração retida, mín. | % | 60 | NBR 6576 | 64,1 | 71,79 | 64,1 | 61,5 |
| Ponto de Amolecimento, máx. | °C | 60 | NBR 6560 | 64,8 | 62,2 | 66,3 | 57,9 |
| Viscosidade Brookfield a 135°C, SP 21, 20rpm, mín | cP | 374 | NBR 15184 | 1230 | 805 | 1197 | 1592 |
| Viscosidade Brookfield a 150°C, SP 21, mín. | | 203 | | 599 | 389 | 499 | 766 |
| Viscosidade Brookfield a 177°C, SP 21 | | 76 a 285 | | 223 | 137,5 | 249 | 282 |

CONCLUSÕES

A partir dos resultados analisados foi possível concluir que, torna-se difícil uma correta correlação das propriedades dos ligantes e a forma como estas variam em função de seu envelhecimento, por constituírem muitas e complexas as causas do envelhecimento asfáltico. É fato que não existem modelos que conseguem com alguma precisão prever o comportamento dos ligantes o que torna o estudo do envelhecimento asfáltico uma ciência empírica, onde os modelos teóricos são corroborados por experimentos executados em laboratório.

Foi estudado o envelhecimento do ligante na usinagem da mistura e não foi observado mediante os resultados o envelhecimento significativo do ligante asfáltico devido o contato direto da mistura com a chapa metálica aquecida, durante o processo de usinagem, porque os valores obtidos nos ensaios de caracterização do ligante asfáltico extraído pelo método Abson não são significativamente distintos daqueles obtidos no estudo de envelhecimento na estufa tipo RTFOT.

Neste contexto, se faz necessário o contínuo estudo das causas do envelhecimento asfáltico, a fim de que sejam mitigados os efeitos de seu envelhecimento, e que este possa manter-se pelo maior tempo possível com suas características físicas e reológicas originais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO T 283. (1999) Standard Method of Test Resistance of Compacted Bituminous Mixture to Moisture Induced Damage. American Association of State Highway Transportation Officials, Washington, EUA.
- Bernucci, L. B. L.; M. G. Motta; J. A. P., Ceratti; e J. B. Soares. (2006) Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros. PETROBRÁS. ABEDA, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (1995) Mistura betuminosa a quente – Ensaio Marshall. DNER-ME 043/95. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2010) Pavimentação Asfáltica – Misturas Asfálticas – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. DNIT 135/2010, Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Infraestruturas de Transportes (2005) Pavimento flexível - Concreto Asfáltico reciclado a quente na usina – Especificação de serviço. DNIT 033/2005, Rio de Janeiro.
- Reis, A. C. C. e Guimarães, A. C. R. (2011) Reciclagem de Concreto Asfáltico com Utilização de Usina Protótipo em Escala Reduzida. XXV ANPET - Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, Belo Horizonte, MG.
- Reis, A. C. C.; Guimarães, A. C. R.; Silva, B. H. A. (2012) Metodologia de Reciclagem a quente de Concreto Asfáltico em usina protótipo. 18ª Reunião de Pavimentação Urbana, São Luis/MA.