

DESEMPENHO MECÂNICO DE MISTURAS ASFÁLTICAS COM ADIÇÃO DE ÓLEO DE SOJA

Ablenya Grangeiro de Barros¹

Lêda Christiane Lucena²

Letícia Carlos Silvério¹

Daniel Beserra Costa¹

Christian Rafael Ziegler¹

Jonny Dantas Patricio²

(1. UFCG, Campina Grande - PB - Brazil)

(2. BRAZIL, Camprina Grande - PB - Brazil)

RESUMO

A Mistura Asfáltica Morna (MAM) é uma alternativa ao Asfalto Misturado à Quente (AMQ), já que a MAM é produzida em temperaturas mais baixas que o AMQ, diminuindo a produção de gases de efeito estufa. Inserções de aditivos orgânicos derivados de oleaginosas em ligantes asfálticos podem alterar seu comportamento viscosidade-temperatura, reduzindo as temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas. Este estudo avalia os efeitos da incorporação do óleo de soja novo e residual no ligante asfáltico modificado com SBS nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas produzidas na temperatura obtida a partir do teste de viscosidade rotacional para ligantes modificados com óleos novos e residuais e a 10 e 20 °C abaixo dessa temperatura, para verificar a resposta mecânica a reduções adicionais nas temperaturas de projeto. No geral, a incorporação do óleo de soja no ligante asfáltico parece ser uma ferramenta viável para reduzir as temperaturas de usinagem e compactação.

ABSTRACT

The warm-mix asphalt (WMA) technology is an alternative to Hot Mix Asphalt (HMA) as the WMA is produced in lower temperatures than the HMA, decreasing the production of greenhouse gases. Insertions of organic additives derived from oilseeds on asphalt binders can change its viscosity-temperature behaviour, reducing mixing and compaction temperatures of asphalt mixtures. This study evaluate the effects of incorporating the SBS-modified asphalt binder with new and residual soybean oil on mechanical properties of asphalt mixtures, produced at the optimal temperature-viscosity obtained from the rotational viscosity test for both new and residual oil modified binder, as well as at 10 and 20°C below it, in order to verify the mechanical response to further reductions in the optimal temperatures. Overall, the addition of soybean oil to the asphalt binder appears to be a viable tool for reducing mixing and compaction temperatures.

1. INTRODUÇÃO

Os processos de modificação de ligantes asfálticos pela incorporação de polímeros são comumente usados para melhorar as propriedades das misturas asfálticas, de modo que o polímero estireno-butadieno-estireno (SBS) é o mais utilizado para esta finalidade. O SBS gera melhorias físicas, químicas e reológicas ao asfalto convencional, fornecendo a este características elásticas e alta resistência à oxidação. Estes processos, no entanto, tendem a aumentar a viscosidade e, por conseguinte, as faixas de temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas, que causam a emissão de gases de efeito estufa e colaboram com o aquecimento global (Costa et al., 2015; Rubio et al., 2012).

A necessidade de um desenvolvimento sustentável e uma melhor eficiência energética tem motivado o estudo de Misturas Asfálticas Mornas (MAM), uma tecnologia capaz de atingir reduções de temperaturas de 30°C até 50°C em relação as misturas convencionais fabricadas de asfalto, a partir da incorporação de modificadores, tais como aditivos orgânicos devido à diminuição de viscosidade promovida por estes ao ligante convencional (Banerjee et al., 2012; Peinado et al., 2011; Ahmed et al., 2012; Budny et al., 2012; Buss et al., 2015).

Nesse âmbito, aditivos de origem oleaginosa surgem como motivadores viáveis para a solução desse problema, como a inclusão do óleo da mamona, do óleo da moringa e do óleo de linhaça

(Costa et al., 2015; Souza, 2012; Lucena et al., 2016).

No Brasil, entre os anos de 2003 e 2013, houve um crescimento de 33,84% na produção de óleo vegetal e um aumento em 92,62% do consumo doméstico deste produto, sendo a soja o primeiro lugar na produção nacional de grãos, correspondendo a 48% desta (CONAB, 2017). Entretanto, os óleos extraídos desses grãos, amplamente utilizados em processos de frituras, produzem uma preocupante quantidade de resíduos que geram profundos impactos ambientais devido descarte inadequado de seus rejeitos.

Posto isso, é perceptível a progressiva preocupação com a correta destinação dos resíduos de óleos vegetais, fato demonstrado pelas inúmeras pesquisas que tratam do descarte adequado destes resíduos no intuito de minimizar o seu impacto ambiental, a exemplo disto, tem-se o emprego do óleo residual nas misturas asfálticas, caracterizando-o como um “aditivo verde”.

A inclusão de óleo de soja novo ou residual ao ligante asfáltico modificados auxiliam na diminuição das temperaturas de usinagem e compactação sem que as propriedades reológicas sejam comprometidas, comprovadas por meio de ensaios de caracterização física e de reologia (Portugal, 2016).

Portanto, a presente pesquisa tem como objetivo verificar por meio do desempenho mecânico a influência da incorporação de óleo de soja, nos estados novo e residual, no ligante E 55/75 (modificado com SBS). As misturas foram produzidas e compactadas nas temperaturas de projeto de usinagem e compactação, determinadas pelo ensaio de viscosidade rotacional, e em 10 e 20°C abaixo das temperaturas determinadas por este ensaio. Assim, a influência dos óleos e do processo de cozimento será avaliada, bem como o efeito de reduzir as temperaturas de produção, em termos de comportamento mecânico.

2. METODOLOGIA

Os materiais utilizados para moldagem das misturas asfálticas foram brita 19mm de origem granítica, brita 12,5mm de origem granítica, areia de leito de rio, pó de pedra, cal hidratada (fíler), CAP 55/75 (ligante modificado pelo polímero estireno-butadieno-estireno - SBS), óleo de soja novo e óleo de soja residual.

O processo de mistura do ligante com o óleo de soja para utilização nas misturas asfálticas aconteceu com a utilização de um agitador mecânico de baixo cisalhamento, o FISATOM, modelo 722D, com as condições de temperatura e rotações controladas, adotou os teores de projeto dos óleos e temperatura de mistura de 1% e 2% para o óleo de soja novo e residual respectivamente, bem como a temperatura de projeto de 135°C para a mistura do ligante modificado com SBS com o óleo, determinados por meio da caracterização física e reológica ao variar a inclusão de óleo de soja novo e residual, de 1% a 3%, em peso do ligante. (Portugal, 2016).

Os resultados da caracterização físico-química do óleo de soja novo e residual estão apresentados na **Tabela 1**, que foi realizada de acordo com a norma NBR 15184 para a determinação da viscosidade e seguindo a metodologia IAL (2008) na determinação dos índices (Portugal, 2016).

Tabela 1: Caracterização físico-química do óleo de soja (Portugal, 2016).

| Característica | Óleo de Soja Novo | Óleo de Soja Residual |
|--|-------------------|-----------------------|
| Índice de Acidez [mg KOH/g] | 0,75 | 2,21 |
| Índice de Iodo [mg I ₂ /100g] | 56,21 | 62,68 |
| Índice de Peróxido [meq/kg] | 23,96 | 21,99 |

| | | |
|--------------------------------|-------|-------|
| Índice de Refração (26°C) | 73,25 | 72,60 |
| Viscosidade (40°C-50 rpm) [cP] | 30,00 | 39,00 |

O índice de acidez do óleo de soja residual apresentou um valor 194,7% maior em relação ao óleo de soja novo, indicando um acelerado grau de deterioração do óleo residual em relação ao novo, promovendo alterações das características físico-químicas e reológicas do CAP, provocando o seu endurecimento. A viscosidade do óleo de soja residual aumentou em 30% em relação ao óleo de soja novo. Assim, diante dos valores encontrados verifica-se que a baixa viscosidade do óleo de soja novo em relação ao óleo de soja residual, oferece melhores condições para a diminuição da viscosidade do CAP quando submetido às altas temperaturas (Portugal, 2016).

Os resultados da caracterização dos ligantes modificados com adição de óleo de soja novo e residual estão apresentados na **Tabela 2**, que foi realizada de acordo com as normas DNIT 155/2010-ME, DNIT 131/2010-ME, ASTM D 4402, ASTM D 2872/13 e ABNT 15235/09.

Tabela 2: Resultados das caracterizações dos ligantes asfálticos (Barros, 2017)

| Característica | Ligante SBS 55/75 | + 1% Óleo de Soja Novo | + 2% Óleo de Soja Residual |
|---------------------------------------|----------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Penetração (100g, 5s, 25°C) [dmm] | 63,8 | 87,7 | 89,5 |
| Ponto de amolecimento [°C] | 52,0 | 52,0 | 51,5 |
| Viscosidade a 135°C [cP] | 978,5 | 890,0 | 803,75 |
| Viscosidade a 150°C [cP] | 464,0 | 427,0 | 390,5 |
| Viscosidade a 177°C [cP] | 159,5 | 147,8 | 139,2 |
| Viscosidade a 135°C (pós RTFOT) [cP] | 1428,8 | 1188,7 | 1098,7 |
| Viscosidade a 150°C (pós RTFOT) [cP] | 650,5 | 554 | 518 |
| Viscosidade a 177°C (pós RTFOT) [cP] | 208,5 | 183,5 | 173,5 |
| Penetração retida [%] | 69,8 | 61,3 | 73,2 |
| Perda de massa [%] | 0,046 | 0,090 | 0,052 |
| Varição do ponto de amolecimento [°C] | +3,75 | +4,5 | +5,8 |

Todas as amostras apresentam resultados que satisfazem as normas. A adição dos óleos promoveu um aumento na penetração do ligante em comparação ao ligante SBS 55/75, indicando uma diminuição da rigidez. Foi observado também a diminuição significativa na viscosidade do ligante modificado após a incorporação dos óleos, proporcionando consequentes reduções nas temperaturas de usinagem e compactação. As amostras estudadas nesta pesquisa aumentaram a viscosidade após o envelhecimento a curto prazo, conforme o esperado. Todos os ligantes aditivados apresentaram maiores perdas de massa em comparação ao ligante SBS 55/75, uma vez que, segundo Cavalcante (2016) essa perda está relacionada a uma volatilização e oxidação dos óleos adicionados. Como houve uma menor perda em massa para o ligante aditivado com óleo residual, pode-se concluir que há uma menor volatilização do óleo reutilizado.

Os resultados da caracterização dos agregados estão apresentados na **Tabela 3** e na **Figura 1**, que foi realizada de acordo com as normas DNIT - ME 083/98, DNIT - ME 081/98, DNIT - ME 084/95, DNIT - ME 054/97, DNIT - ME 035/98.

Tabela 3: Resultados da caracterização dos agregados (Barros, 2017)

| Característica | Brita 19 | Brita 12,5 | Areia | Pó de pedra |
|--|----------|------------|-------|-------------|
| Massa específica Real [g/cm ³] | 2,49 | 2,76 | 2,60 | 2,58 |
| Abrusão Los Angeles [%] | 17,4 | 25,4 | - | - |
| Equivalente de Areia [%] | - | - | 87 | 60 |
| Massa específica Aparente [g/cm ³] | 2,48 | 2,74 | 2,38 | 2,56 |

A partir da composição granulométrica dos agregados, como mostra a **Figura 1**, enquadrada na faixa granulométrica “B” estabelecida pelo DNIT, e obedecendo aos critérios de pontos de controle e zona de restrição, foi traçada a curva Fuller intermediária, de acordo com as proporções de brita 19 (30%), brita 12,5 (23%), areia (15%), pó de pedra (30%) e filler (2%) (Barros, 2017).

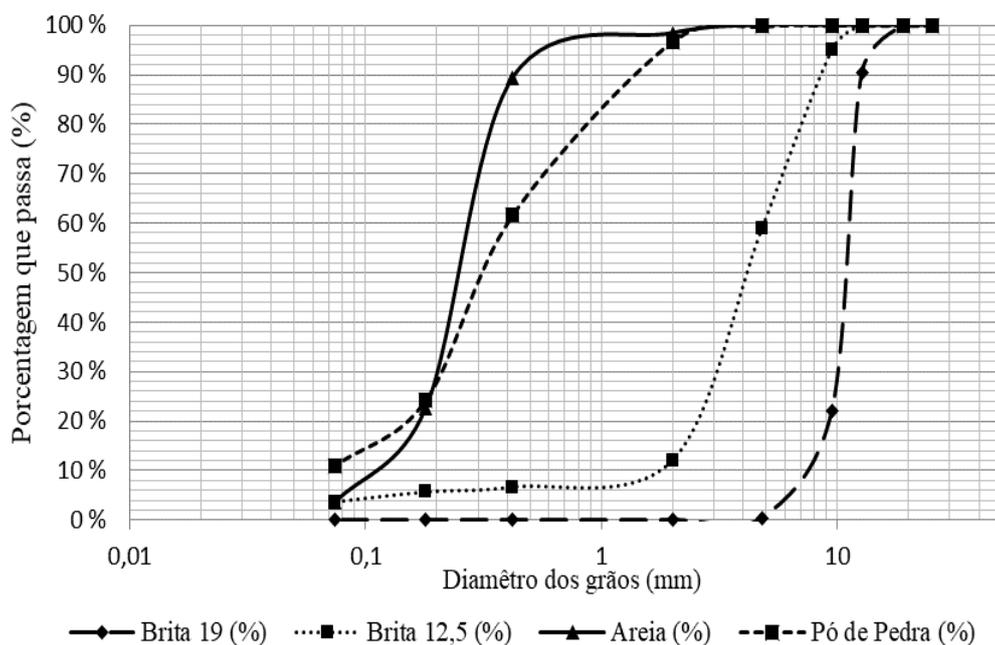


Figura 1: Curva granulométrica dos agregados (Barros, 2017)

Para a determinação do teor de projeto do ligante para a mistura, foi seguida a metodologia da Norma AASHTO M323 (SUPERPAVE), cuja premissa inicial do projeto de misturas asfálticas é atingir um volume de vazios de 4% para o número de giros de projeto.

A partir dos resultados obtidos do viscosímetro rotacional para as temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C, foram determinadas as temperaturas para a usinagem e compactação, como mostrado na **Tabela 4**. Esta tabela também apresenta as reduções das temperaturas de usinagem e compactação das misturas causadas pela inclusão dos óleos de soja novo e residual em comparação com o ligante SBS 55/75 (Barros, 2017).

Um método clássico de viscosidade para determinar temperaturas de mistura e compactação foi utilizado, embora não seja o mais adequado para os ligantes estudados. A opção por este método é justificada, pois a porcentagem de modificação do SBS do fichário utilizada nesta pesquisa era desconhecida. Além disso, Domingos et al. (2012) afirma que a aplicação das faixas de viscosidade tradicionais apresentadas é uma simplificação que também tem sido

utilizada para determinar as temperaturas de usinagem e compactação de ligantes modificados.

Tabela 4: Temperaturas de usinagem e compactação, e respectivas reduções (Barros, 2017).

| Amostra | Usinagem (°C) | Redução (°C) | Compactação (°C) | Redução (°C) |
|---------------------------|---------------|--------------|------------------|--------------|
| Ligante SBS 55/75 | 175 | - | 162.5 | - |
| +1% Óleo de Soja Novo | 168.8 | 6,2 | 159 | 3,5 |
| +2% Óleo de Soja Residual | 167.5 | 7,5 | 156.8 | 5,7 |

Os corpos de prova utilizados foram usinados e compactados nas temperaturas de projeto determinadas pelo ensaio de viscosidade rotacional e nas temperaturas obtidas a partir da redução em 10 e 20°C destas, em seguida, os seguintes ensaios mecânicos foram utilizados para avaliar o comportamento das misturas asfálticas modificadas: Resistência à Tração Indireta (RT) pela norma DNIT-ME 136/2010, Módulo de Resiliência (MR) pela norma ABNT 16018/2011, Lottman modificado pelas normas Norma ME 136/2010 do DNIT e AASHTO T 283-02, Módulo Dinâmico pela norma AASHTO TP-62/2009, e Flow Number que seguiu a metodologia apresentada no Apêndice B do Report 465 do National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) denominado Simple Performance Test for SUPERPAVE Mix Design de 2002.

3. RESULTADOS

3.1 Resistência à Tração Indireta

Para a realização deste ensaio, a carga foi aplicada por uma prensa mecânica, com sensibilidade de 19,60 N, com o êmbolo movimentando-se na velocidade de $0,8 \pm 0,1$ mm/s, em corpos-de-prova cilíndricos de 100 mm de diâmetro e 150 mm de altura. Sendo o corpo de prova cilíndrico foi posicionado diametralmente em relação à direção de duas forças opostas, gerando tensões de tração uniformes perpendicularmente ao longo do plano diametral que promove a ruptura do corpo nesta direção, separando-o em duas metades. Na **Tabela 5** são apresentadas as médias dos resultados obtidos a partir dos ensaios de Resistência à Tração por Compressão Diametral Indireta para as misturas asfálticas aditivadas e para o ligante SBS 55/75.

Tabela 5: Resistência à Tração Indireta

| Amostra | Ligante SBS 55/75 | +1% Soja Novo (TC) | +2% Soja Residual (TC) | +1% Soja Novo (TC-10°C) | +2% Soja Residual (TC-10°C) | +1% Soja Novo (TC-20°C) | +2% Soja Residual (TC-20°C) |
|----------|-------------------|--------------------|------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| RT (Mpa) | 1,36 | 1,44 | 1,15 | 1,48 | 1,41 | 1,47 | 1,2 |

Os resultados indicam que todas as misturas atendem à tensão mínima de 0,65 MPa estabelecida por norma DNIT-ES 385/1999. As misturas usinadas com a inserção de 1% de óleo de soja novo apresentaram estatisticamente os mesmos valores de resistência a tração, evidenciando abstenção da interferência da incorporação de óleo neste teor em relação ao ligante SBS 55/75, o que pode estar relacionado a um melhor envolvimento do ligante aditivado aos demais componentes da mistura asfáltica.

Nas misturas com a inserção de 2% de óleo de soja, no entanto, houve uma redução valores de RT, com exceção do ensaio realizado com a redução de 10°C da temperatura de produção,

embora este comportamento não represente o esperado, que pode estar relacionada ao efeito lubrificante dos aditivos no ligante, que pode ter comprometido a coesão dos componentes da mistura. Dessa forma, observa-se que os valores de RT não apresentaram um padrão com a diminuição da temperatura de compactação e usinagem.

3.2 Módulo de Resiliência

Na **Tabela 6** são apresentadas as médias dos resultados obtidos a partir dos ensaios de Módulo de Resiliência para as misturas asfálticas aditivadas e para o ligante SBS 55/75. O ensaio foi realizado na Universal Testing Machine (UTM-25), seu procedimento consistiu na aplicação de 100 ciclos de uma carga em compressão diametral com valor igual a 10% da força obtida do ensaio de resistência à tração indireta para cada mistura asfáltica, na frequência de 60 ciclos por minuto (1Hz), com tempo de duração de 1,0s, sendo que o mesmo tem um período de solitação de 0,1s e um período de repouso de 0,9s.

Tabela 6: Módulos de Resiliência (Norma Brasileira)

| Amostra | Ligante SBS 55/75 | +1% Soja Novo (TC) | +2% Soja Residual (TC) | +1% Soja Novo (TC-10°C) | +2% Soja Residual (TC-10°C) | +1% Soja Novo (TC-20°C) | +2% Soja Residual (TC-20°C) |
|----------|----------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| MR (Mpa) | 6452,33 | 6529,00 | 5227,50 | 6629,5 | 6625,5 | 5377,5 | 4611,5 |

O módulo de resiliência é definido como a relação entre a tensão de tração gerada no corpo de prova com a deformação de tração recuperável correspondente. Em relação ao ligante SBS 55/75, o MR sofreu uma variação insignificante com a inserção de 1% de óleo de soja novo e reduziu em 20% com a inserção de 2% de óleo de soja residual. Esse fato por ser justificado pela desestabilização do ligante dada a diminuição da viscosidade, ocasionada pelo aumento do teor de óleo adicionado ao ligante SBS 55/75.

Em relação à mistura com a inserção de 1% de óleo de soja novo, o MR pouco variou com a diminuição em 10°C, e reduziu em 18% com a diminuição em 20°C da temperatura. Já em relação à mistura com a inserção de 2% de óleo de soja residual, ao contrário do esperado, o MR sofreu um aumento de 27% com a diminuição em 10°C, e reduziu em 27%, como esperado, com a diminuição em 20°C da temperatura de usinagem e compactação.

3.3 Lottman Modificado

Na **Tabela 7** são apresentadas as médias dos resultados obtidos a partir dos ensaios de Lottman Modificado para duas amostras condicionadas e duas amostras não condicionadas para as misturas asfálticas aditivadas e para o ligante SBS 55/75.

Tabela 7: RRT (Relação de Resistência à Tração) do Ensaio de Lottman Modificado

| Amostra | Ligante SBS 55/75 | +1% Soja Novo (TC) | +2% Soja Residual (TC) | +1% Soja Novo (TC-10°C) | +2% Soja Residual (TC-10 °C) | +1% Soja Novo (TC-20 °C) | +2% Soja Residual (TC-20 °C) |
|---------|----------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| RRT (%) | 93,68 | 73,52 | 69,85 | 61,43 | 71,92 | 78,36 | 87,31 |

A metodologia desenvolvida pelo projeto SUPERPAVE estabelece que este valor da RRT (Relação de Resistência à Tração) deve ficar acima de 80%, enquanto a MP 8-01 da ASSHTO estabelece o limite mínimo para RRT de setenta por cento 70%. Para ASTM 031/2006, a RRT mínima é de 70%. Dessa forma, apenas as misturas com óleo soja residual usinada à

temperatura determinada no ensaio de viscosidade e com óleo soja novo usinada 10°C abaixo desta não atenderam ao estabelecido.

A incorporação dos óleos provocou uma maior sensibilidade à umidade em relação ao ligante SBS 55/75, demonstrando a interferência destes na adesividade das misturas asfálticas, que pode estar relacionado às menores temperaturas de trabalhabilidade, por acarretarem umidade não completamente expulsa da mistura.

Os valores de RRT tenderam a reduzir conforme o aumento do teor de óleo das misturas usinadas na temperatura determinada pelo viscosímetro, evidenciando a interferência do processo de degradação térmica na resistência retida. No entanto, quando usinadas em temperaturas abaixo da temperatura determinada pelo viscosímetro, as misturas aditivadas com óleo de soja residual apresentaram maiores valores de RRT.

Não houve padrão com a diminuição da temperatura de compactação nos corpos de prova, podendo-se afirmar, inclusive, que a redução de 20°C da temperatura de compactação apresenta resultados superiores em relação às misturas usinadas na temperatura determinada pelo ensaio de viscosidade para ambos os teores de óleo.

3.4 Módulo Dinâmico ($|E^*|$)

Na **Figura 2** são apresentadas as curvas mestras elaboradas a partir dos dados de módulo dinâmico para as misturas asfálticas aditivadas e para o ligante SBS 55/75. As curvas mestras são construídas usando o princípio da superposição tempo-temperatura. Os dados das várias temperaturas são alterados em relação ao tempo até que as curvas se fundam numa única função suave. O ensaio foi realizado nas temperaturas de 4,4°C, 21°C e 37,8°C e em seis frequências de carga (0,1, 0,5, 1, 5, 10 e 25Hz) para cada temperatura.

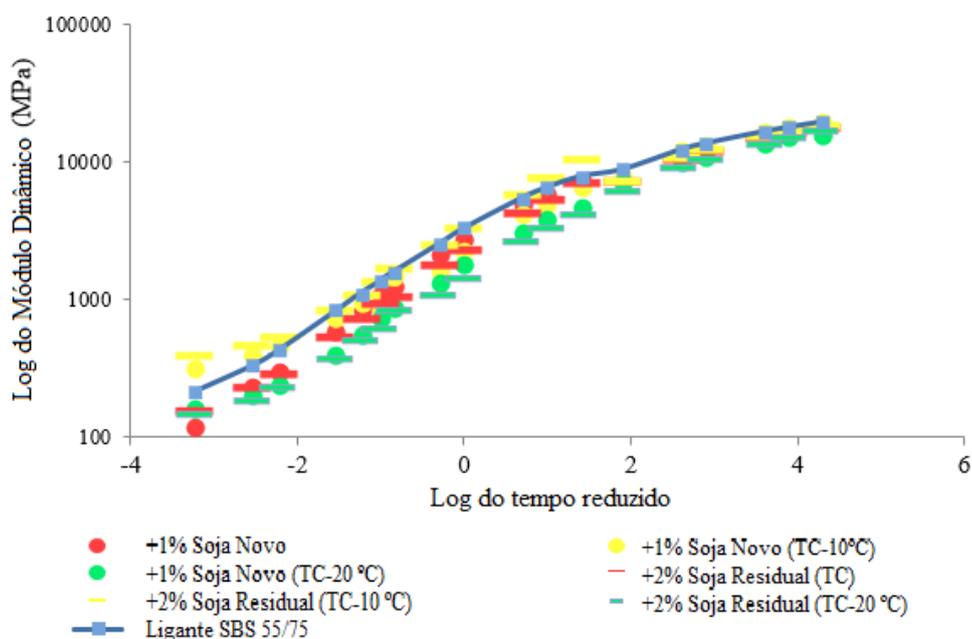


Figura 2: Curvas mestras de todas as misturas avaliadas

Foi observado que todas as misturas apresentaram comportamentos semelhantes ao ligante SBS55/75 no que diz respeito a queda da rigidez conforme o aumento da temperatura e da frequência de aplicação de carga. Como também que a incorporação do óleo, assim como, a redução da temperatura de compactação, afetaram o parâmetro de rigidez das misturas. Foi

constatado que as misturas usinadas 10°C abaixo da temperatura determinada no ensaio de viscosidade são menos susceptíveis a diminuição da rigidez em relação aquelas usinadas com uma redução de 20°C para ambos os teores.

Pode-se observar que, as misturas não apresentam grande variação no desempenho quando usinadas na temperatura determinada pelo viscosímetro ou 10°C abaixo destas. As misturas com óleo novo e residual quando usinadas 20°C abaixo da temperatura determinada no ensaio de viscosidade apresentaram resultados muito similares quanto a rigidez.

3.5 Flow Number

Na **Tabela 8** são apresentadas as médias dos resultados obtidos a partir dos ensaios de Flow Number para as misturas asfálticas aditivadas e para o ligante SBS 55/75. O ensaio consiste na repetição de uma aplicação de carga de 204 kPa em amostras condicionadas a uma temperatura de 60°C. O carregamento é aplicado durante um período de 0,1s e um repouso de 0,9s (1Hz), até que um número máximo de 10000 ciclos ou uma deformação de 50000 microestres seja atingido.

Tabela 8: Valores de Flow Number

| Amostra | Ligante SBS 55/75 | +1% Soja Novo (TC) | +2% Soja Residual (TC) | +1% Soja Novo (TC-10°C) | +2% Soja Residual (TC-10°C) | +1% Soja Novo (TC-20°C) | +2% Soja Residual (TC-20°C) |
|-------------|----------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|
| FN (ciclos) | 1338 | 649 | 765 | 513 | 612 | 319 | 299 |

Quanto maior o FN maior resistência à deformação permanente e menor a tendência de aparecimento de trilhas de roda, em relação ao ligante SBS 55/75, o potencial à deformação permanente sofrida pelo pavimento aumentou cerca de 50% com o acréscimo dos óleos em relação ao ligante SBS 55/75.

Para ambos os óleos, o potencial à deformação permanente sofrida pelo pavimento aumentou em torno de 25% com a diminuição em 10°C, e em 50% com a diminuição em 20°C da temperatura determinadas pelo ensaio de viscosidade em relação as usinadas na temperatura de projeto determinada por este ensaio.

Todas as misturas são satisfatórias quando o tráfego é leve, médio e pesado. Contudo, para o tráfego extremamente pesado, segundo o Report 673, apenas o ligante SBS 55/75 e a mistura aditivada com 2% de óleo de soja residual usinada a temperatura determinada pelo ensaio de viscosidade é satisfatória. No entanto, segundo a classificação de tráfego de Bonaquist (2012), apenas as misturas aditivadas com óleo de soja novo e residual compactadas 20°C abaixo da temperatura determinada pelo ensaio de viscosidade, seriam insatisfatórias para tráfego extremamente pesado.

4. CONCLUSÃO

A redução de 10°C nas temperaturas de usinagem e compactação das misturas com inserção de óleo de soja novo não apresentaram interferência na resistência a tração e módulo de resiliência em relação ao ligante SBS 55/75, no entanto, estas foram reduzidas pela inserção do óleo de soja residual. A incorporação do óleo de soja novo e residual, bem com a redução nas temperaturas de usinagem e compactação, tendem a reduzir a resistência ao dano por umidade induzida, rigidez e resistência à deformação permanente das misturas em relação ao ligante SBS 55/75.

No que se refere às propriedades visco-elásticas, as misturas apresentaram a mesma tendência de queda de rigidez conforme o aumento da temperatura e diminuição da frequência de

aplicação de carga.

Todo os parâmetros citados, contudo, continuaram atendendo aos requisitos exigidos pelas normas para o desempenho do pavimento. Exceto as misturas com óleo soja residual usinada à temperatura determinada no ensaio de viscosidade e com óleo soja novo usinada 10°C abaixo desta, que não atenderam às especificações mínimas normatizadas para susceptibilidade à umidade.

Diante disto, pôde-se comprovar a viabilidade quanto ao desempenho mecânico da utilização dos óleos de soja (novo e residual) como um promotor de redução das temperaturas de produção e de compactação das misturas asfálticas.

Tendo em vista que o processo de degradação térmica não foi refletido nos resultados, destaca-se o uso do óleo residual, considerando que, ao promover a redução das temperaturas de produção e de compactação das misturas asfálticas sem reduzir as propriedades do pavimento a tal ponto que não este não atendesse ao mínimo exigido por norma, o mesmo apresenta maiores benefícios ambientais, sendo uma alternativa para misturas asfálticas mornas além de promover um descarte ecológico para este insumo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmed, E. M.; Hesp, S. M., Samy, S. K. P.; Rubab, S.D.; Warburton, G. (2012) Effect of warm mix additives and dispersants on asphalt rheological, aging, and failure properties. *Construction and Building Materials* 37, p. 493–498.
- Barros, A (2017) Avaliação da adição de óleo de cozinha em propriedades mecânicas de misturas asfálticas - Pró-reitoria de pesquisa e extensão. Programa institucional de bolsas de iniciação científica. Universidade Federal de Campina Grande.
- Banerjee, A., Smit, A. F., and Prozzi, J. A. (2012) The effect of long-term aging on the rheology of warm mix asphalt binders. *Fuel*, 97, p.603–611.
- Budny, J (2012) Avaliação do Comportamento mecânico de misturas asfálticas mornas. 137p. Dissertação de mestrado. UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro.
- Buss, A.; Williams, R. C.; Schram, S (2015) The influence of warm mix asphalt on binders in mixes that contain recycled asphalt materials. *Construction and Building Materials* 77, p. 50–58.
- Cavalcante, F. P.; Efeito da adição dos óleos de ricinus communis e linus asitatissimom nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo puro e modificado. Tese de Doutorado em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2016.
- CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos safra 2016/2017. Brasília, DF, 2017. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conabweb/>>. Acesso em 12 Janeiro. 2017.
- Costa, D. B.; Cavalvante, F. B.; Rodrigues, J. K. G.; Mendonça, A. N. G. D.; Lira, Y. C. (2015) Influência da adição do óleo de linhaça nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo. 44ª RAPv – *Reunião Anual de Pavimentação*.
- Domingos, M.; Pamplona, T.; Faxina, A.; Gigante, A. (2012) Viscosidade rotacional de ligantes asfálticos modificados de mesmo grau de desempenho. *Revista Transportes*, v. 20, n. 2, p. 15–22.
- Lucena L. C. F. L, Silveira I. V.; Costa, D. B (2016) Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da Moringa Oleífera Lam para uso em misturas mornas. *Revista Matéria*. Artigo 11681, p.65-75. Acesso em 31 de Janeiro de 2017, disponível em <<https://revistas.ufrj.br/index.php/rm/article/view/3558/2712>>.
- NCHRP (2011) Advanced Asphalt Technologies. *A manual for design of hot mix asphalt with commentary*, NCHRP Report 673, National Cooperative Highway Re-search Program, Washington, D.C.
- Peinado, D. De Vega M. Garica-Hernando N. Marugaan-Cruz C (2011) Energy and exergy analysis in an asphalt plant's rotary dryer. *Appl Therm Eng* . 31 (6– 7):1039–49.
- Portugal, A. C. X (2016) Avaliação Reológica de Cimentos Asfálticos de Petróleo Modificados com Óleo de Soja e de Milho. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande.
- Rubio, M. C; Moreno, F; Martinez-Echevarria, M. J; Martinez, G. (2012) Comparative analysis of emissions from the manufacture and use of hot and half-warm mix asphalt. *Journal of Cleaner Production*. Espanha.
- Souza, J. L. S (2012) Estudo das Propriedades Mecânicas de Misturas Asfálticas com Cimento Asfáltico de Petróleo Modificado com Óleo de Mamona. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.