

Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da *Moringa Oleífera Lam* para uso em misturas mornas

Asphalt binders modified with Moringa Oleífera Lam oil

Lêda Christiane de F. Lopes Lucena¹ Iarly Vanderlei da Silveira²,
Daniel Beserra da Costa²

¹ Professora Adjunta. Laboratório de engenharia de Pavimentos LEP/DEC/UFCG, Campina Grande, PB e-mail: le-dach@uol.com.br

² Graduando em Engenharia Civil. Laboratório de engenharia de Pavimentos LEP/DEC/UFCG. iarlysilveira@hotmail.com; daniel.beserra@gmail.com

RESUMO

A preocupação com o desenvolvimento sustentável tem levado ao estudo de tecnologias verdes que minimizem os impactos ao meio ambiente sem comprometer a qualidade do pavimento. Neste cenário, a indústria da pavimentação tem começado a pesquisar e aplicar as misturas asfálticas mornas. Estas são produzidas em temperaturas mais baixas que as convencionais e reduzem o gasto com combustível. As misturas mornas podem ser resultados da adição de um óleo, geralmente orgânico, ao ligante convencional, diminuindo a viscosidade deste. As sementes de Moringa Oleífera Lam possuem um teor de óleo compreendido entre 38 e 40%, e propriedades antioxidantes e lubrificantes. O objetivo deste trabalho consistiu em avaliar as mudanças das propriedades de consistência e a variação das temperaturas de usinagem e compactação com a adição do óleo da Moringa Oleífera Lam como aditivo verde. O óleo da Moringa Oleífera Lam foi extraído por prensagem a partir da torta das sementes. Em seguida, foram realizadas 6 misturas utilizando CAP 50/70 e o óleo da Moringa Oleífera Lam em diferentes proporções (0%, 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% e 3%). Os ligantes foram analisados utilizando-se ensaios de viscosidade Brookfield, penetração, ponto de amolecimento e o envelhecimento por meio do ensaio em estufa de filme fino rotativo (RTFOT). Os resultados mostraram que a adição do óleo da Moringa Oleífera Lam deve ser efetuada para teores no intervalo compreendido entre 0,5% a 1%, pois nestes teores ocorre uma diminuição significativa das temperaturas de usinagem e compactação ($\approx 5^{\circ}\text{C}$) sem comprometer o desempenho do ligante asfáltico.

Palavras-chave: óleo da Moringa Oleífera Lam, misturas mornas, ligantes

ABSTRACT

The concern with sustainable development has driven efforts to the study of green technologies to minimize the environmental impacts without compromising pavement quality. In this scenery, the paving industry has started to research and apply warm asphalt mixtures, which are produced in lower temperatures than conventional mixtures and reduce the expenses in fuels. The warm mixtures can result from the addition of an oil, usually organic, to the conventional binder, decreasing the binder's viscosity. Moringa oleifera Lam Seeds possess an oil content varying between 38 and 40% and have antioxidant and lubricant properties. This study aimed to evaluate the changes in properties related to consistency and the effective variation of mixing and compaction temperatures due to asphalt modification with the oil of Moringa oleifera Lam as green additive. The Moringa oleifera Lam oil was extracted by pressing of seeds. Then, 6 mixtures were made using 50/70 PAC and Moringa Oleifera Lam oil in different proportions (0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 2.5% and 3%), as well as a reference sample (pure PAC). The binders were analysed using Brookfield Viscosity, Penetration, Softening Point and Rolling Thin Film Oven (RTFOT) Tests. The results showed that the addition of Moringa oleifera Lam oil must be made for contents in the range of 0.5% to 1%, once that to these contents there is a significant reduction in machining and compaction temperatures ($\approx 5^{\circ}\text{C}$) without compromising the asphalt binder performance.

Keywords: Moringa Oleífera Lam oil, warm mixtures, binder

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, em virtude de poucos investimentos ferroviários e hidrovias, e do alto custo do transporte aéreo, a grande maioria das transferências de cargas e transporte de pessoas são realizadas pelo meio rodoviário. Entre os tipos de pavimentos rodoviários existentes tem-se o flexível (cujo revestimento é constituído por material betuminoso) e o rígido (formado por placas de concreto). As misturas asfálticas mais utilizadas no Brasil são produzidas à quente e a frio. As vantagens de se utilizar à quente em relação a fria está na sua maior resistência aos esforços oriundos do tráfego de veículos.

Ao mesmo tempo em que a pavimentação de rodovias oferece benefícios ao usuário, durante a usinagem do ligante asfáltico e aplicação da mistura, em campo, ocorre elevado consumo energético e emissões de gases poluentes no meio ambiente. Neste cenário, a indústria da pavimentação tem pesquisado formas de minimizar estes impactos por meio do uso de misturas asfálticas mornas em substituição as tradicionalmente utilizadas em pavimentos flexíveis.

Misturas asfálticas mornas ou *warm mix asphalt* (WMA) são produzidas em temperaturas mais baixas que as convencionais. Estas reduzem o gasto com combustível e diminuem as emissões de gases poluentes e a exposição dos trabalhadores aos fumos gerados durante a usinagem ou aplicação da mistura.

As misturas asfálticas mornas foram desenvolvidas na Europa, em 1997, com o objetivo de adequar os procedimentos empregados pela indústria da pavimentação às premissas do Protocolo de Kyoto. A National Asphalt Pavement Association dos EUA (NAPA) organizou uma comissão em 2002 para examinar os progressos obtidos com esta tecnologia na Europa. Em 2007, foi realizado novamente este estudo, pelos engenheiros norte-americanos, para reunir informações adicionais sobre as tecnologias WMA na Europa [1,2].

A tecnologia WMA é um processo construtivo alternativo, por ser ecologicamente menos agressiva quando comparada com outras tecnologias, principalmente as misturas à quente [3]. Diminuir a temperatura de mistura na usina significa, entre outras coisas, economizar custos com combustíveis ao contratante. Constatou-se que diminuir a temperatura de usinagem pode levar a redução de 30% no consumo de energia combustível [4].

As misturas asfálticas mornas diferem de outras misturas asfálticas pelas temperaturas nas quais são produzidas [5]. A diminuição da temperatura na produção de misturas asfálticas é desejável sob diversos aspectos como: busca por melhores resultados de trabalhabilidade e menor envelhecimento do ligante asfáltico, podendo possibilitar melhor desempenho do pavimento e aumentar a resistência ao trincamento.

Entretanto, esta tecnologia ainda é recente e existe um número limitado de pesquisas avaliando meios de diminuir esta temperatura. No Brasil, os estudos e aplicações destes tipos de tecnologias “verdes” iniciaram-se junto aos institutos de pesquisas, onde são desenvolvidas, em sua maioria, com fins acadêmicos. A adição de aditivos orgânicos / químico, emulsões e ligantes sintéticos podem diminuir as temperaturas de operação de usinagem e campo em cerca de 37 °C [6,7,8]. Portanto, logo há a importância de intensificar as pesquisas na área de misturas mornas, para se identificar quais seriam as técnicas ou produtos mais convenientes para o País .

Entre os aditivos orgânicos estudados destaca-se o uso de óleos. Souza [9] estudou a incorporação do óleo da Mamona em CAP 50/70 para fabricação de misturas mornas com teores de óleo variando de 2 a 9% em peso. O autor encontrou reduções de 10°C nas temperaturas de usinagem e compactação quando adicionou 5% do óleo da Mamona sem comprometimento das propriedades mecânicas. Ribeiro [10] estudou misturas mornas com adição do líquido da castanha de caju variando de 0,5 a 2% em peso do CAP. O autor obteve maiores reduções de viscosidade para a adição de 2% do líquido e verificou que a adição contribuiu para retardar o envelhecimento do CAP.

A *Moringa Oleífera Lam* é uma espécie perene da família *Moringa*, sendo classificada como uma leguminosa arbórea adaptada às condições áridas e semi-áridas que vem sendo cultivada e difundida em toda a área denominada “polígono das secas”, devido, o potencial que suas sementes têm apresentado no tratamento de água para uso doméstico, uma vez que seu efeito coagulante serve para clarificar água [11]. A semente desta árvore produz um óleo amarelo claro de alta qualidade, que pode ser de 35% a 40% da massa total da semente [12].

Após a extração do óleo da semente de *Moringa Oleífera Lam* a torta restante não é tóxica e não perde suas propriedades de coagulação, podendo ser usada como decantador no tratamento de água para o consumo humano [13]. Além disto, esta também pode ser usada na alimentação de animais graças a suas vitaminas.

Portanto, como o óleo da *Moringa Oleífera Lam* é oriundo de fonte renovável e biodegradável, ele

pode ser utilizado como “aditivo verde”. Além disto, as características antioxidantes e propriedades tensoativas fazem com que este se mostre promissor para reduzir a elevada viscosidade dos ligantes. Estas características ocorrem devido a presença do ácido Oleico. De acordo com a literatura, óleos com quantidades elevadas de ácido oleico são mais lentos para desenvolver sofrer uma decomposição oxidativa [14,15,16,17,18,19], fato benéfico quando avaliamos o envelhecimento do CAP.

Este trabalho consiste em estudar as propriedades físicas de ligantes asfálticos modificadas com o óleo da *Moringa Oleífera Lam*, como aditivo verde, para reduzir as temperaturas de usinagem e compactação.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O CAP utilizado na pesquisa foi do tipo 50/70, com propriedades de acordo com o regulamentado pela Agência Nacional de Petróleo (ANP), a qual define os parâmetros de aceitação e classificação.

As sementes de *Moringa Oleífera Lam* foram coletadas em árvores existentes na Universidade Federal de Campina Grande, no Campus da cidade de Patos/PB. As sementes foram descascadas manualmente com um auxílio de um soquete. Em seguida, a torta da *Moringa Oleífera Lam* foi colocada em estufa de secagem a 40°C para eliminar a água contida nas sementes, por um período de 24 horas, tempo necessário para a consistência da massa.

Após esta etapa, as amostras foram colocadas na Prensa Hidráulica em um recipiente protegido por algodão para evitar o contato das partículas sólidas das sementes com o óleo extraído. Em seguida foi aplicada uma carga de 30 toneladas para a extração do óleo da *Moringa Oleífera Lam*.

As análises da caracterização do óleo de *Moringa Oleífera Lam* foram realizadas por meio das normas discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1: Normas para as análises físico-químico do óleo da *Moringa Oleífera Lam*.

Análise	Método
Índice de acidez	AOCS Ca-5a -40
Índice de Iodo	EM 14111
Viscosidade Cinemática	ASTM D 445
Índice de Saponificação	NBR 14854

O processo de produção do CAP modificado ocorreu a partir da adição de teores do óleo de *Moringa Oleífera Lam*, variando de 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5 e 3%, em um misturador mecânico (FISATOM, Modelo 722) com as condições de temperatura e rotações descritas a seguir.

Primeiramente foram aquecidos 500g de CAP 50/70 a uma temperatura de 120°C em estufa. Em seguida, colocou-se o ligante puro em um misturador mecânico com manta pré-aquecida, à mesma temperatura, com rotações de 300 rpm. Ao ser atingida a temperatura de 135°C, foram adicionados os percentuais relativos do óleo de *Moringa Oleífera Lam* e elevado o número de rotações para 406 rpm, mantendo-se intervalo de 20 minutos para homogeneização. Decorrido este tempo, a nova composição foi retirada do misturador, deixando-a esfriar à temperatura ambiente e estocando-a adequadamente para uso. Esta metodologia foi baseada em estudos realizados por Faxina [20] e Souza [9].

Após a obtenção dos CAPs modificados foram realizados ensaios de penetração [21], ponto de amolecimento [22], viscosidade brookfield [23] e envelhecimento a curto-prazo utilizando a estufa RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Test*) com as misturas de óleo de *Moringa Oleífera Lam* ao ligante asfáltico, nos teores de 0 a 3% em peso. As normas usadas nos procedimentos supracitados estão apresentadas na Tabela 2. Para os CAPs modificados, que apresentaram comportamento satisfatório nos ensaios anteriores, foram avaliados os reparâmetros viscoelásticos pelo Reômetro de Cisalhamento Dinâmico (Dynamical Shear Rheometer - ASTM D 7175/2002).

Tabela 2: Normas para os ensaios de caracterização do CAP

Ensaio	Norma
Ponto de Amolecimento	ABNT NBR 6576
Penetração	ABNT NBR 6576
Viscosidade Brookfield	ABNT NBR 15184
RTFOT	ABNT NBR 15235

3. RESULTADOS

3.1 Caracterização do óleo da *Moringa Oleífera Lam*

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios das características físico-químicas do óleo da *Moringa Oleífera Lam* utilizado nesta pesquisa. O resultado obtido para o índice de acidez foi de 7,95 mgKOH/g, este índice é a massa de hidróxido de potássio, em miligramas, gasta na neutralização dos ácidos graxos livres presentes em um grama de amostra de óleo. Um elevado índice de acidez indica que o óleo está sofrendo quebras nas cadeias de trigliceróis, liberando seus constituintes principais, e por esse motivo, o cálculo desse índice é de extrema importância na avaliação do estado de oxidação do óleo.

O índice de iodo indica cadeias de ácidos graxos poli-insaturados. Verifica-se que quanto maior o grau de insaturação, maior será proporcionalmente o índice de iodo. Portanto, como o resultado foi de 85,71 mg/100g pode-se inferir que trata-se de um óleo de compostos insaturados. O índice de saponificação foi de 181,58 mgKOH/g, este é o número de miligramas de KOH necessários para saponificar um grama de gordura, quanto maior o índice de saponificação, mais base será consumida. A viscosidade cinemática foi de 45,26 mm²/s a 40 °C.

Tabela 3: Análise físico-química do óleo das sementes da *Moringa Oleífera Lam*

Análises	Resultados
Índice de Acidez (mg KOH/Kg)	7,95
Índice de Iodo (g/100g)	85,71
Índice de saponificação (mg KOH/g)	181,58
Viscosidade cinemática a 40°C (mm ² /s)	45,26

Na composição do óleo da *Moringa Oleífera Lam* encontra-se o ácido oleico (>70%) [24, 25], significando que este apresenta um baixo teor de insaturação. Portanto óleos ricos em ácido oleico são mais estáveis à oxidação tanto em temperaturas ambientais de armazenagem como em altas temperaturas (existentes na usinagem de ligantes asfálticos).

A adição de ácidos oleicos ao ligante asfáltico é uma alternativa para reduzir a viscosidade durante as operações de usinagem e compactação, melhorando a trabalhabilidade. Por outro lado, os óleos reduzem a consistência do ligante asfáltico, à temperatura ambiente, prejudicando sua qualidade e reduzindo o desempenho das misturas asfálticas. Portanto, este deve ser adicionado em proporções adequadas, determinadas em função da concentração do óleo e da consistência do ligante asfáltico base.

3.2 Ensaio de penetração e ponto de amolecimento

Na Tabela 4 estão apresentados, respectivamente, os resultados dos Ensaio de Ponto de Amolecimento e de Penetração para as amostras estudadas. A partir dos dados de penetração e do ponto de amolecimento calculou-se a susceptibilidade térmica (Tabela 4).

Tabela 4: Resultados do ensaio de Ponto de Amolecimento, Penetração e Índice de Suscetibilidade Térmica: CAP Puro; CAP + *Moringa Oleífera Lam* variando de 0,5, 1%, 1,5%, 2%, 2,5% e 3%

Média	Tipo de Ligante						
	CAP PURO	CAP + 0,5% Mo- ringa	CAP + 1% Mo- ringa	CAP + 1,5% Moringa	CAP + 2% Morin- ga	CAP + 2,5% Moringa	CAP + 3% Moringa
Ponto de amolecimento	50,7	49,5	49,2	47,3	46,7	46,1	43,2
Penetração	56,6	56,9	67,8	75,5	89,2	90,6	99,4
Índice de Suscetibilidade térmica	-0,73	-1,01	-0,66	-0,90	-0,60	-0,74	-1,40

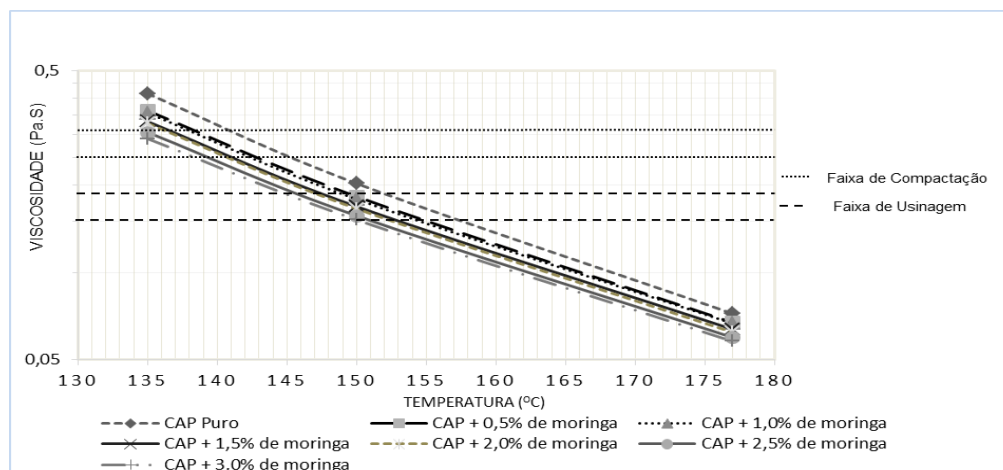
O CAP Puro apresenta penetração compatível com a sua classificação. A adição sucessiva de óleo de *Moringa Oleífera Lam* ao CAP Puro teve como resultados a diminuição do ponto de amolecimento e aumento da penetração em função da modificação da sua viscosidade. Entretanto, verifica-se a adição do óleo da *Moringa* em percentuais acima de 1,5% pode vir a comprometer o comportamento reológico do ligante asfáltico. Os ligantes modificados produzidos acima deste teores apresentaram baixo ponto de amolecimento e alta penetração, ou seja eles iriam começar a amolecer em temperaturas próximas a 40°C (temperatura ambiente do verão no Brasil) e poderiam vir a apresentar deformações permanentes significativas, inviabilizando o seu uso.

As adições de óleo nos ligantes até o valor de 3% apresentaram valores de susceptibilidade térmica compatíveis com a especificação da norma brasileira que classifica os CAPS numa faixa admissível para o IP entre (-1,5) e (+0,7), indicando os resultados uma baixa susceptibilidade térmica para as amostras estudadas. Quando IP é superior a 0,7 significa que o asfalto é susceptível a oxidação, em virtude do ácido oleico presente no óleo, verifica-se que a adição deste diminuiu a tendência a oxidação.

3.3 Ensaio de viscosidade Brookfield

Os resultados do ensaio com o equipamento da Brookfield permitiram analisar a influência da adição do óleo de *Moringa Oleífera Lam* sobre o comportamento reológico do CAP.

A partir dos dados foi possível estabelecer uma relação direta entre o acréscimo de óleo de *Moringa Oleífera Lam* e as variações das temperaturas de compactação e de usinagem das respectivos ligantes modificados (Figura 1; Tabela 9).

**Figura 1:** Curvas variação da viscosidade Brookfield em função das temperaturas dos CAPs estudados

Os resultados indicam que o aumento do percentual de incorporação do óleo de *Moringa Oleífera Lam* tem influência preponderante na diminuição da viscosidade do CAP. Verifica-se diminuição das temperaturas de compactação de usinagem das misturas asfálticas estudadas, sendo esta em torno de 10°C para o maior teor de óleo de *Moringa Oleífera Lam* (3%). Para adição de até 1% de óleo observa-se redução de temperatura de cerca de 5°C, e para os teores compreendidos entre 1,5 a 2,5% a redução foi de aproximadamente 7°C.

A alteração dos parâmetros de consistência do CAP com adição do óleo da *Moringa Oleífera Lam* é influenciada pelas propriedades do ácido oléico e graxo presente nesta. Estes promovem interações intermoleculares como forças Van der Waals que se acentuam devido a molécula possuir uma grande massa molecular.

Souza [9] quando incorporou óleo da Mamona em ligantes adotou, tal qual o utilizado nesta pesquisa, os mesmos parâmetros de mistura do óleo com o ligante (temperatura e rotações). Os resultados encontrados pelo autor para a adição de óleo de mamona próximos dos 9% são similares aos encontrados para o teor de 3% de *Moringa Oleífera Lam*. Ou seja, a adição de óleo da *Moringa* em um 1/3 da quantidade de óleo da Mamona, no CAP, apresenta resultados equivalentes.

Ribeiro [10] obteve maiores reduções de viscosidade para a adição de 2% do óleo de castanho no CAP, e os resultados de caracterização física dos asfaltos modificados foram compatíveis com o observado para a adição de 1% de óleo da *Moringa Oleífera Lam*.

Os resultados supracitados comprovam a eficácia da incorporação da *Moringa Oleífera Lam* para reduzir a viscosidade e consequentemente minimizar os gastos de energia dos procedimentos aos quais os ligantes são submetidos. Entretanto, reduções de viscosidade acentuadas também não são vantajosas pois podem vir a favorecer o aparecimento de trincas de trilha de roda [26,27]

3.4 Efeitos do envelhecimento em estufa RTFOT nas propriedades dos ligantes

Na Tabela 5 estão apresentados os valores de medição da perda de massa antes e após o envelhecimento por meio da Estufa de Filme Fino Rotativo (RTFOT), em que os resultados se encontram dentro da norma vigente [28].

Tabela 5: Resultados da perda de massa antes e após o RTFOT

RTFOT	Tipo de Ligante						
	CAP PURO	CAP + 0,5% Moringa	CAP + 1% Moringa	CAP + 1,5% Moringa	CAP + 2% Moringa	CAP + 2,5% Moringa	CAP + 3% Moringa
Varição de massa (%)	0,037	0,045	0,044	0,057	0,050	0,041	0,043

Observa-se que a amostra de ligante puro foi a que apresentou menor perda de massa. Os demais ligantes modificados por *Moringa Oleífera Lam* tiveram aumento de perda de massa, provavelmente devido a perda de componentes do óleo, necessitando de uma investigação termogravimétrica para identificar os constituintes voláteis responsáveis por tal comportamento. Entretanto, os asfaltos modificados apresentaram perda de massa inferior ao preconizado por norma [28].

De acordo com Tayh et al. [29] ensaios de envelhecimento como o RTFOT e o PAV podem não ser adequados para o estudo de ligantes modificados com óleos. Segundo o autor quanto maior a adição de óleo, mais suscetível ao envelhecimento será o ligante modificado devido a solubilização de parte da fração asfáltica. Portanto os tempos e temperaturas, de usinagem e compactação, devem ser inferiores aos tradicionalmente utilizados a fim de não promover o envelhecimento prematuro.

A Figura 2 e a Figura 3 mostram o comparativo entre as amostras antes e após o RTFOT para os ensaios de Ponto de Amolecimento e Penetração, respectivamente.

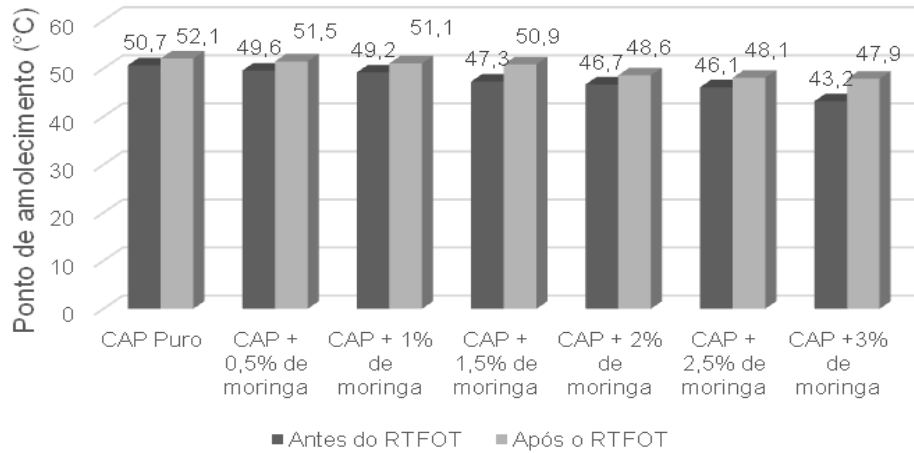


Figura 2: Análise do ponto de amolecimento antes e após o RTFOT dos CAPs

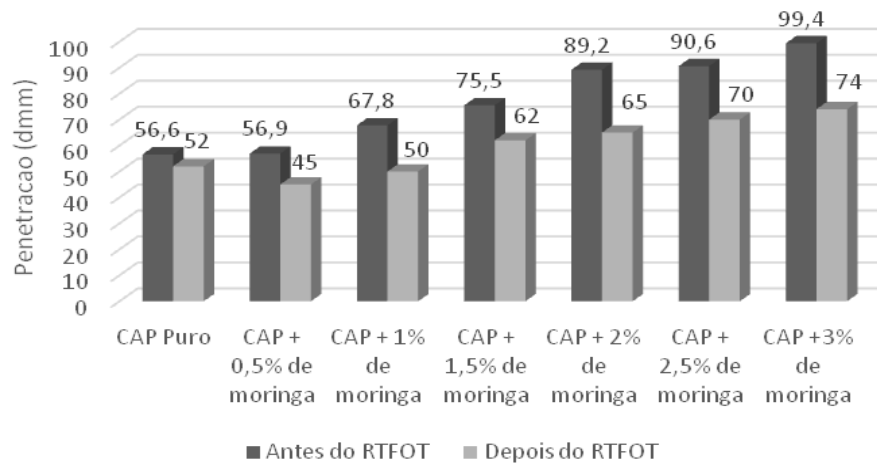


Figura 3: Análise da Penetração antes e após o RTFOT dos CAPs

Observa-se que ao misturar o óleo ao CAP puro, todas as misturas tiveram seu ponto de amolecimento diminuído em relação ao CAP puro. Este fato é devido à viscosidade destes serem inferiores que a do ligante. Portanto, após a mistura ocorre alteração da consistência que favorece a diminuição da temperatura na qual o material amolece. Na avaliação após envelhecimento em estufa RTFOT, observa-se que ocorreu aumento de consistência proporcionado pela oxidação e perda de voláteis devido à exposição ao oxigênio e altas temperaturas. Isso conferiu maior temperatura de amolecimento ao ligante asfáltico.

Verifica-se que o CAP puro envelhecido teve uma pequena variação em seu valor da penetração, comparando o ensaio antes e depois do RTFOT. Ao fazer a comparação entre o ensaio antes e depois do RTFOT, nota-se uma variação considerável do valor da penetração. Verifica-se, para teores até 1,5% de óleo, que o valor de penetração é inferior ao valor do CAP puro após o RTFOT. Todos os CAPs modificados utilizados pela pesquisa proporcionaram aumento na penetração, mas quando submetido ao envelhecimento, em curto prazo, a penetração diminuiu consideravelmente.

Brock [30] comenta que as mudanças nas características de consistência ocorrem devido à exposição à temperatura e oxigênio. Essas mudanças, juntamente com os fatores que governam a velocidade de reação e seus eventuais efeitos, são de fundamental importância para a qualidade do ligante asfáltico e para o sucesso da produção de uma mistura asfáltica. A Tabela 06 apresenta a variação da temperatura do ponto de amolecimento e a Penetração Retida das misturas antes e após RTFOT. Verifica-se que todas as amostras atendem ao preconizado pelas normas [14,15].

Tabela 6: Resultados da variação de ponto de amolecimento e da PEN retida antes e após o RTFOT

	Tipo de Ligante							
	Ref.	CAP Puro	CAP+0,5% Moringa	CAP+ 1% Moringa	CAP+1,5% Moringa	CAP+ %2 Moringa	CAP+2 ,5% Moringa	CAP 3% Moringa
PEN retida (%)	Min 55%	97,9	79,1	73,7	82,0	72,8	77,3	74,4
Aumento ponto amolecimento(°C)	Max 8°C	1,4	1,9	1,9	3,6	1,9	2,0	4,7

A Tabela 7 apresenta o comparativo entre as viscosidades Brookfield antes e após o RTFOT, constatao o aumento das viscosidades dos ligantes asfálticos após o envelhecimento realizado.

Tabela 7: Análise das viscosidades Brookfield antes e após o RTFOT dos CAPs estudados

Tipo de Ligante	Antes do RTFOT			Depois do RTFOT		
	135°C	150°C	177°C	135°C	150°C	177°C
CAP Puro	415	203	72	560	266	92
CAP + 0,5% de moringa	362,5	183	67	552	263	92
CAP + 1,0% de moringa	356	179	66	502	243	84
CAP + 1,5% de moringa	332	169	63	475	225	81,5
CAP + 2,0% de moringa	327	166	62	452	220	79
CAP + 2,5% de moringa	305	157	59	440	216	77
CAP + 3,0% de moringa	290	152	57	410	202	73
CAP + 7,0% de moringa	212	113	48	290	151	58

Verifica-se pela Tabela 9 que todos os materiais após o envelhecimento apresentaram aumento da viscosidade, este deve-se a perda de frações leves e oxidação do material quando submetido à temperaturas mais elevadas, provocando o endurecimento do material e conseguinte aumento de sua viscosidade.

3.5 Ensaio com reômetro

Nas análises realizadas anteriormente verificou-se que a adição de teores de até 1% do óleo da Moringa proporcionou redução nas temperaturas de usinagem e compactação sem comprometer o comportamento físico dos CAPs. Portanto, realizou-se o ensaio com o reômetro para avaliar o parâmetro $G^*/sen\delta$. A Figura 4 apresenta o resultado dos ensaios.

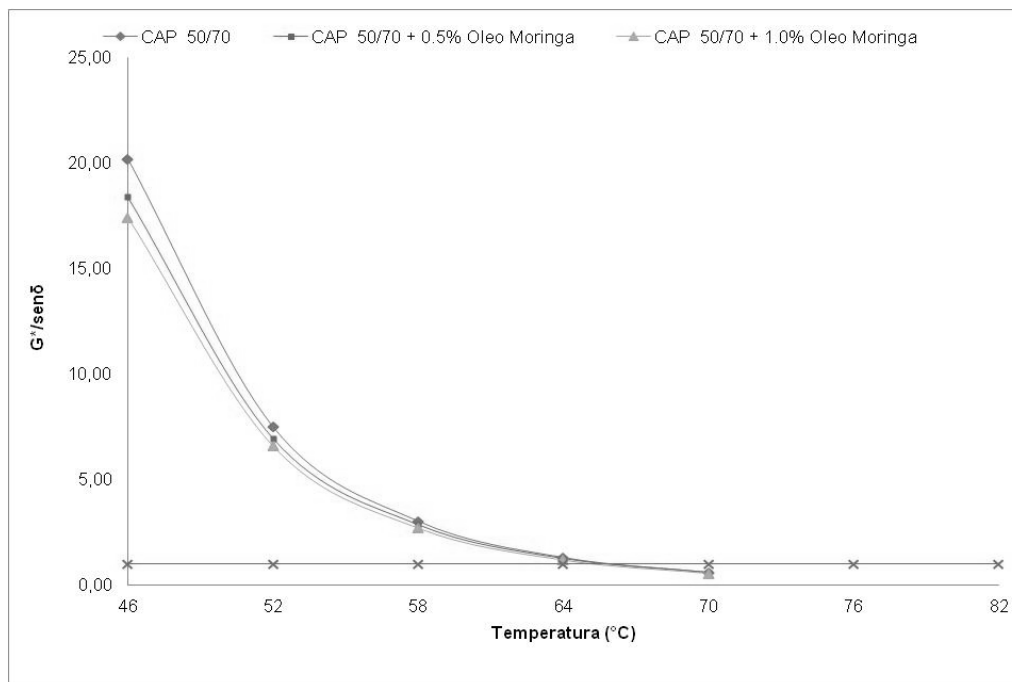


Figura 4: Análise do ponto de amolecimento antes e após o RTFOT dos CAPs

Visualiza-se na Figura 4 que os CAPs modificados apresentaram, ao longo de todo ensaio, ângulos de fase menores comparado ao CAP convencional, portanto, sugerindo superioridade quanto à elasticidade.

4. CONCLUSÕES

O óleo de *Moringa Oleífera Lam* possui um grande percentual de ácido oleico indicando que esse óleo possui um baixo teor de insaturações, o que provavelmente irá aumentar a estabilidade de ligantes asfálticos a oxidação. Ou seja, a adição do óleo, provavelmente, irá retardar o envelhecimento do CAP, tornando-o mais durável.

Inferese-se que a adição de 3% de óleo da *Moringa Oleífera Lam* promove redução de 10°C nos processos de usinagem e compactação da mistura. A adição do óleo de *Moringa Oleífera Lam* proporciona a mistura melhor trabalhabilidade, e conseqüentemente redução das temperaturas de usinagem e de compactação. Este fato poderá refletir em benefícios ambientais e economia dos custos efetivos para a produção e execução da mistura na pista. Entretanto, as propriedades de ponto de amolecimento e penetração para teores superiores a 1,0% do óleo da *Moringa Oleífera Lam* não atendem ao especificado pelas normas vigentes.

Portanto, ressalta-se que a adição do óleo da *Moringa Oleífera Lam* deve ser efetuada para teores no intervalo compreendido entre 0,5% a 1%, pois nestes teores ocorre uma diminuição significativa das temperaturas de usinagem e compactação ($\approx 5^{\circ}\text{C}$) sem comprometer o desempenho do ligante asfáltico. Desta forma, a utilização do óleo estudado apresenta-se como um aditivo interessante para o CAP pode vir a contribuir com as reduções: energética, do efeito estufa e das emissões de poluentes

5. AGRADECIMENTOS

Ao CNPq ;

Ao Laboratório de Engenharia de Pavimentos (LEP) do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Campina Grande;

A Associação Técnico Científica Ernesto Luiz de Oliveira Junior (Atecel) pela estrutura e equipamentos disponibilizados para a realização deste trabalho.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] KANDHAL, P.S. “Warm mix asphalt technologies: an overview”, *Journal of the Indian Roads Congress*, 2010.
- [2] ZHAO, W., XIAO, F., AMIRKHANIAN, S., PUTMAN, B. “Characterization of rutting performance of warm additive modified asphalt mixtures”, *Construction and Building Materials*, v. 31, pp. 265–272, 2012
- [3] KOENDERS, B. G., STOKER, D. A., BOWEN, C., *et al.*, Innovative processes in asphalt production and application to obtain lower operating temperatures. In: *Congresso Eurasphalt & Eurobitume*, Barcelona, Espanha, Set. 2000.
- [4] OTTO, G. G. *Misturas asfálticas mornas: verificação da fadiga e do módulo complexo*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Florianópolis, 2009
- [5] NEWCOMB, D. *Na introduction to warm-mix-asphalt*. National Asphalt Pavement Association, Lanham, 2006. Disponível em: <<http://fs1.hotmix.org>> Acesso em: 22 Jan. 2013
- [6] LEE, S., KIM, H., AMIRKHANIAN, S. “Influence of Warm Mix Additives on PMA Mixture Properties”, *Journal Materials Civil Engineering*, pp. 991–997, 2012
- [7] SARGAND, S., NAZZAL, M., AL-RAWASHDEH, A., *et al.* “Field Evaluation of Warm-Mix Asphalt Technologies”, *Journal Materials Civil Engineering*, pp.1343–1349, 2012
- [8] PUNITH, V., XIAO, F., WINGARD, D. “Performance Characterization of Half Warm Mix Asphalt Using Foaming Technology”, *Journal Materials Civil Engineering*, pp.382–392, 2013.
- [9] SOUZA, J.L.S. *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, 2012
- [10] RIBEIRO, E.A. *O efeito da modificação de ligante asfáltico com o líquido da castanha de caju (LCC) na resistência ao dano por umidade em misturas asfálticas*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011
- [11] OLIVEIRA, Z.L. *Avaliação do uso da Moringa oleífera Lam para fitorremediação e tratamento de lixiviados de aterros sanitários*. Dissertação de M.Sc. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010
- [12] RURAL BIOENERGIA. Disponível em: <<http://www.ruralbioenergia.com.br/default.asp?tipo=1&secao=moringa.asp>> Acesso em: 02 Nov. 2013.
- [13] RANGEL, M. S. *Moringa Oleífera: um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil*. Disponível em: <<http://www.jardimdeflores.com.br/floresefolhas/A10moringa.htm>>. Acesso 2 Nov. 2013.
- [14] ANP Agência Nacional de Petróleo. Resolução ANP Nº19, de 11 de julho de 2005.
- [15] ABDULKARIM, S.M., LONG, K., LAI, O.M., *et al.* “Frying quality and stability of high-oleic Moringa oleifera seed oil in comparison with other vegetable oils”, *Food Chemistry*, v.105, pp. 1382–1389, 2007
- [16] AYERZA, R. “Seed and oil yields of Moringa oleifera variety Periyakalum-1 introduced for oil production in four ecosystems of South America”, *Industrial Crops and Products*, v.36, pp.70-73, 2012
- [17] AZEEZ, O.T., EJETA, K.O., FRANK, E.O., *et al.*, “Effects of Antioxidants on the Oxidative Stability of Vegetable Oil at Elevated Temperature”, *International Journal of Applied Science and Technology*, v. 3 n. 5, May. 2013
- [18] LI, H., FAN, Y., LI, J. TANG, L. “Evaluating and Predicting the Oxidative Stability of Vegetable Oils with Different Fatty Acid Compositions”, *Journal of Food Science*, v. 78, n. 4, pp. H633–H641, April 2013
- [19] VELASCO, J., ANDERSEN, M.L., SKIBSTED, L.H., “Evaluation of oxidative stability of vegetable oils by monitoring the tendency to radical formation. A comparison of electron spin resonance spectroscopy with the Rancimat method and differential scanning calorimetry”, *Food Chemistry*, v. 85, n.4, pp. 623–632, May 2004
- [20] FAXINA, L.A. *Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha*. Tese de D.Sc., Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- [21] ABNT NBR 6560/00 – *Materiais Betuminosos – Determinação da Penetração*
- [22] ABNT NBR 6576/00 – *Materiais Betuminosos – Determinação do Ponto de Amolecimento – Método do anel e bola*.

- [23] ASTM – American Society for Testing and Materials *D4402 Standard Test Method for Viscosity Determinations of Unfilled Asphalts Using the Brookfield Thermosel Apparatus*, 2002
- [24] RUTTARATTANAMONGKOL, K., SIEBENHANDL-EHNB, S., SCHREINERB, M., *et al.* “Pilot-scale supercritical carbon dioxide extraction, physico- chemical properties and profile characterization of Moringa oleifera seed oil incomparison with conventional extraction methods”, *Industrial Crops and Products*, v. 58, pp. 68–77, 2014
- [25] AYERZA, R. “Seed yield components, oil content, and fatty acid composition of two cultivars of moringa (*Moringa oleifera* Lam.) growing in the Arid Chaco of Argentina”, *Industrial Crops and Products*, v. 33, pp. 389–394, 2011
- [26] YOU, Z., MILLS-BEALE, J., FINI, E., *et al.* “Evaluation of Low-Temperature Binder Properties of Warm-Mix Asphalt, Extracted and Recovered RAP and RAS, and Bioasphalt”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 23, 2011
- [27] WEN, H., BHUSAL, S., WEN, B. “Laboratory Evaluation of Waste Cooking Oil-Based Bioasphalt as an Alternative Binder for Hot Mix Asphalt”, *Journal of Materials in Civil Engineering*, v. 25, pp. 1432-1437, 2013
- [28] DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA E TRANSPORTES (DNIT). ME 095/06 - *Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material*, Rio de Janeiro, 2006
- [29] TAYH, S., MUNIANDY, R., HASSIM, S., *et al.*, “An overview of utilization of bio-oil in hot mix asphalt”., *WALIA journal*, v.30, pp.131-141, 2014
- [30] BROCK, J.D. *Boletín Técnico T – 103 S – Oxidación Del Asfalto*. Astec Industries, Inc, EUA, 1996