

# **AValiação DA Viscosidade DO ASFALTO MODIFICADO COM RESÍDUO DE ÓLEO DE COZINHA**

**Marcela Coutinho Vasconcelos**

**Mariana Stelzer Sabaini**

Faculdade Brasileira – Multivix

## **RESUMO**

Este estudo tem por objetivo avaliar a viscosidade do asfalto de ligação quando se adiciona em sua mistura resíduo de óleo de cozinha (ROC) e por meio da viscosidade, estimar as temperaturas de usinagem e de compactação da massa asfáltica. Após a realização dos ensaios, comparações foram feitas entre a viscosidade do asfalto virgem e do modificado com resíduo, e determinação da temperatura de usinagem e compactação. Além da possibilidade de melhoria do desempenho do asfalto, há também o fator de sustentabilidade; busca-se minimizar impactos negativos causados por resíduos descartados inadequadamente e a redução da utilização de recursos naturais. Os resultados indicam que a viscosidade é reduzida com a adição do resíduo, e devido as suas propriedades antioxidantes, prolonga-se o ciclo de vida da pavimentação. A temperatura de compactação e usinagem também é reduzida, gerando menor gasto de energia na produção do asfalto e menor emissão de gases poluentes.

## **ABSTRACT**

This study aims to evaluate the viscosity of the asphalt binder when waste cooking oil (WCO) is added to its mixture; and by means of viscosity, estimating the mixing and compaction temperatures of the asphalt mass. After conducting the tests, viscosity comparisons between virgin asphalt and modified asphalt were made, as well as mixing and compaction temperature determination. Besides the possibility of improving the asphalt performance, there is also the sustainability approach. Industries are seeking to minimize damage caused by improperly discarded residues and reduce natural resources consumption. The results indicate that with the addition of the WCO, the viscosity is reduced and the life cycle of the paving is increased due to the residue's antioxidant properties. Also, both the compaction and mixing temperature are reduced, generating less energy consumption in the asphalt and in turn releasing less gas emissions.

## **1. INTRODUÇÃO**

No Brasil, o modal mais expressivo é o rodoviário, o que acarreta uma alta demanda por pavimentação asfáltica. De acordo com Bernucci et al. (2008), cerca de 95% das estradas pavimentadas no Brasil são de revestimento asfáltico. Este modal vem se expandindo e integrando regiões do país desde a década de 1950 com a implantação da indústria automotiva no Brasil (Departamento da Indústria da Construção - DECONCIC, 2009). De acordo com o Anuário CNT do Transporte (2017), em 2015 o Brasil possuía 210.618,80 km de estradas pavimentadas, e o estado do Espírito Santo 3.934 km deste total.

Segundo Bernucci et al. (2008), o asfalto é uma mistura de hidrocarbonetos derivados do petróleo de forma natural ou por destilação, cujo principal componente é o betume, podendo conter ainda outros materiais, como oxigênio, nitrogênio e enxofre, em pequena proporção. O Cimento Asfáltico de Petróleo - CAP, denominação brasileira, recebe uma especificação baseada no teste de penetração (Agência Nacional do Petróleo - ANP). O revestimento da pavimentação asfáltica é constituído basicamente por uma mistura de agregados pétreos e ligantes asfálticos. As camadas principais são: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito (Bernucci et al., 2008); esse revestimento tem como função suportar as cargas solicitadas do tráfego, garantir conforto e segurança para os usuários.

Segundo Osmani e Aragão (2015), devido ao intemperismo e ao tráfego, os revestimentos asfálticos apresentam um desempenho mecânico diferente do esperado, e assim, é necessário realizar reparos. A aquisição de materiais novos para essas restaurações envolve altos custos e

prejuízos ao meio ambiente. Por exemplo, o petróleo, utilizado como matéria prima para a produção do asfalto, é um recurso não renovável e de custo elevado. De acordo com Chen et al. (2014a), a pavimentação asfáltica é geralmente projetada para durar entre 10 e 15 anos, porém, em muitos casos é necessária manutenção em menos de 10 anos após a construção. Por esses motivos, busca-se alternativas para retardar o envelhecimento do asfalto e aumentar a sua vida útil, e neste trabalho, análises foram feitas com base no óleo atuando como antioxidante. No entanto, alguns autores pesquisaram a viabilidade de utilizar alguns resíduos como agentes rejuvenescedores do asfalto (proporcionando o reuso do material), por exemplo, rochas ornamentais e escória moída de aciaria (Cosme, 2015); óleo da moringa oleífera lam (Lucena et al., 2016); líquido da castanha de caju (Ribeiro et al., 2011) e óleo de semente de algodão (Chen et al., 2014b).

O resíduo de óleo de cozinha é um material com potencial para atuar como agente retardador, com capacidade de prolongar o desempenho do CAP (Azahar et al., 2016a). Segundo Yi (2015), essa alternativa possui grande importância econômica, reduzindo o consumo de asfalto convencional e melhorando o desempenho do mesmo; e também social, por meio da reciclagem de resíduos e incentivo ao desenvolvimento sustentável.

Com o objetivo de determinar a viscosidade do ligante asfáltico virgem misturado com resíduo do óleo de cozinha e a temperatura de compactação e usinagem, foram realizados dois testes em laboratório. Os testes são baseados na norma NBR 14950, Materiais betuminosos-Determinação da viscosidade Saybolt Furol e no método Casola- Ensaio de Varredura de Frequência. A viscosidade, além de ser empregada na estimativa das temperaturas de usinagem e de compactação da massa asfáltica, também é uma propriedade de controle na formulação de ligantes modificados (Domingos et al., 2012).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1. Requisitos de qualidade do asfalto**

De acordo com a Comissão de Assistência Técnica Petrobras (2015), para atender aos requisitos de qualidade de pavimentações, propriedades como consistência e dureza, ductilidade, termoplasticidade, viscoelasticidade (parte da deformação irreversível após carregamento e outra parte recuperável), suscetibilidade térmica e durabilidade são observadas. Neste trabalho, foi analisado a viscosidade da mistura.

### **2.2. Ligante asfáltico**

O asfalto é um ligante betuminoso oriundo da destilação do petróleo bruto. Há diversos motivos pela qual tem-se um amplo uso do mesmo, e de acordo com Bernucci et al. (2008):

"O asfalto proporciona forte união dos agregados, agindo como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à tração da maioria dos ácidos, dos álcalis e de sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos".

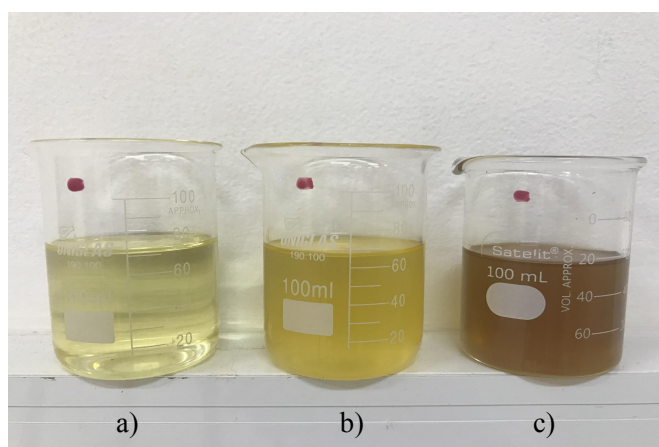
Segundo Osmari e Aragão (2015), os ligantes asfálticos são compostos por uma mistura de hidrocarbonetos, entre 90% e 95%, e heteroátomos, entre 5% e 10%, como oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais, como níquel, ferro e vanádio. Essas proporções dependem da fonte do petróleo, ou seja, variam de acordo com o processo de destilação e do envelhecimento do CAP durante a usinagem e de seu comportamento em campo.

### **2.3. Resíduo de óleo de cozinha**

Grande quantidade de óleo de cozinha é utilizada em restaurantes e domicílios; e parte desse resíduo é destinado ao meio ambiente de forma inadequada. Dessa forma, são enormes os impactos gerados, por exemplo, quando lançados em rios podem causar a eutrofização do mesmo, que é causado quando a entrada da luz do sol na água é bloqueada e assim impedindo que os organismos presentes nas profundezas realizem a fotossíntese (Azahar et al., 2016b). De acordo com Santos (2009), no Brasil são descartados 9,0 bilhões de litros/ano desse tipo de resíduo, onde apenas 2,5% é reciclado e o restante é descartado inadequadamente junto ao meio ambiente. No estado do Espírito Santo, segundo Humberto Martins, representante da Biomarca, cerca de 60 toneladas de resíduo de óleo de cozinha são coletadas mensalmente na região da grande Vitória, os quais são destinados à produção de bio-óleo.

De acordo com a Biomarca (2017), empresa que oferece serviço de coleta e reaproveitamento do óleo de cozinha no Espírito Santo, 2,5 milhões de litros de óleo já foram reciclados. Em outras palavras, 50 bilhões de litros de água deixaram de ser contaminada com a reciclagem deste resíduo; esse valor supre a demanda de água para um milhão de pessoas durante um ano. Esses números determinam o mínimo de óleo gerado no estado, sem considerar os resíduos destinados de forma inadequada.

Segundo Azahar et al. (2016b), as propriedades do óleo de cozinha não utilizado se diferem do resíduo do óleo principalmente em termos de densidade, viscosidade cinemática e teor de umidade. Durante o processo de fritura dos alimentos, o óleo ao ser exposto por altas temperaturas e na presença de ar e umidade, passa por processos de degradação. De acordo com Azahar et al. (2016b), esses processos geram mudanças químicas e físicas no mesmo, principalmente quando reutilizado. Essa degradação inclui a produção de ácidos graxos livres, mono e diglicerídeos a partir da hidrólise do teor de umidade em alimentos fritos; processo de oxidação (contato com o oxigênio) e polimerização. Os aspectos físicos alterados no resíduo são a alta viscosidade, maior calor específico, alteração da tensão superficial e mudança da tonalidade. Pode-se destacar três reações principais, reações termofílicas, oxidativas e hidrolíticas. De acordo com Azahar et al. (2016c), a qualidade do resíduo de óleo pode ser verificada testando-se o teor de água e ácido encontrados em uma amostra. Além disso, por meio da observação da cor do resíduo (Figura 1), é possível presumir que óleos com tonalidade mais escura (geralmente utilizados mais vezes) podem apresentar qualidade inferior em relação aos mais claros (Oliveira e Sommerlatte, 2009).



**Figura 1:** Demonstração das tonalidades do óleo de cozinha de a) óleo virgem, b) óleo utilizado uma vez e c) óleo reutilizado.

### *2.3.1. Óleo de cozinha como agente antioxidante*

Segundo Azahar et al. (2016d), o ROC vem sendo considerado por pesquisadores renomados como um material com grande potencial para a produção de asfalto modificado com o mesmo, devido à presença de propriedades antioxidantes naturais. O antioxidante tem desempenhado o papel de inibição oxidativa e com potencial para minimizar a taxa de envelhecimento; e quanto maior for a qualidade do resíduo, maior é a presença de propriedades antioxidantes na amostra e maior resistência ao processo de envelhecimento (Azahar et al., 2016d). Além disso, de acordo com Chen et al. (2014a), o resíduo é um componente de baixa viscosidade e seu ponto de inflamação é superior a 220°C, o que demonstra que este tem uma alta segurança de construção para sua aplicação em misturas de asfalto de mistura quente.

Segundo Azahar et al. (2016b), com a adição de ROC na mistura ocorre a redução da viscosidade do CAP, porém a redução excessiva pode causar a perda de resistência ao afundamento, tornando-o um asfalto mole. Isso poderá provocar afundamento e fadiga do asfalto, que terão como resultado final as fissuras na superfície do pavimento.

## **2.4. Envelhecimento do ligante asfáltico**

O envelhecimento do ligante ocorre durante o ciclo de vida do pavimento quando submetido a fatores ambientais, por exemplo, perda de componentes voláteis (saturados e aromáticos), a reação química do asfalto com o oxigênio do ar (oxidação), incidência de raios UV, variações de temperaturas, entre outros (Bernucci et al., 2008). Segundo Azahar et al. (2016d), o processo de envelhecimento pode ser dividido em curto prazo, durante a mistura, produção e colocação de asfalto de mistura quente, e também em longo prazo (envelhecimento prolongado) na qual ocorre durante a vida útil do pavimento. Devido ao envelhecimento do mesmo, aglutinante mais rígido e quebradiço é produzido, dessa forma, indicando o processo de deterioração no pavimento de asfalto.

De acordo com Asli et al. (2011), o betume pode ser dividido em dois grandes grupos químicos, os asfaltenos e maltenos. Durante o processo de envelhecimento do betume (processo de oxidação), a taxa dos asfaltenos aumenta, enquanto a porcentagem dos maltenos diminui, sendo esta uma relação direta com o aumento da viscosidade. Segundo Asli et al. (2011), a adição de resíduo de óleo de cozinha diminui a proporção de asfaltenos para maltenos. O estudo das causas e efeitos do envelhecimento do ligante asfáltico é importante para a compreensão das consequências na vida útil do mesmo e para análise dos fatores que contribuem para essa degradação. Compreendendo melhor esses parâmetros, pode-se investigar as propriedades do resíduo como agente retardador do envelhecimento do ligante.

## **2.5. Viscosidade**

De acordo com Chen et al. (2014a), a viscosidade é a caracterização da capacidade do asfalto em resistir à deformação ao cisalhamento sob uma força externa. Segundo Osmari (2016), a viscosidade é um parâmetro importante para a determinação da dosagem do resíduo de óleo de cozinha, sendo esse parâmetro fundamental para a previsão do comportamento do material nas etapas de manuseio e usinagem (etapas que antecedem o espalhamento e compactação do asfalto). O ROC, por sua vez, é constituído por ácidos graxos que atuam como agentes coesivos, reduzindo a viscosidade da mistura asfáltica, o que facilita a homogeneização do material e sua produção. A redução da viscosidade diminui a tensão superficial entre o agregado e o revestimento do ligante, expulsando o ar aprisionado e dessa forma, aumentando a coesão interfacial entre o agregado e o aglutinante asfáltico (Maharaj, 2015).

## **2.6. Temperatura de usinagem e compactação**

Segundo Bernucci et al. (2008), a temperatura do ligante, ao ser misturado ao agregado, deve ser tal que a sua viscosidade esteja situada entre 75 e 150 SSF, e preferencialmente entre 75 e 95 SSF. A temperatura de compactação deve ser tal que o ligante apresente viscosidades na faixa de 125 a 155 SSF, e a temperatura do ligante deve estar entre 107°C e 177°C.

Sun et al. (2015) adotou uma metodologia semelhante a esta pesquisa, porém utilizou bio-óleo (subproduto do biodiesel) e obteve resultados satisfatórios, uma redução de 4°C em cada 2% de bio-óleo adicionado, alcançando uma dosagem de 4% de óleo. Lucena et al. (2016), utilizou óleo da Moringa Oleífera Lam em ensaios laboratoriais e analisou que o teor de óleo no intervalo de 0,5 e 01% diminui significativamente as temperaturas de usinagem e compactação, aproximadamente 5°C, sem comprometer o desempenho do CAP.

Segundo os autores citados acima, a redução da temperatura de usinagem e compactação acarretam na minimização dos gastos de energia na execução da mistura na pista, economia de custos para a produção, além de benefícios ambientais. Eles também enfatizam o fato de ter uma dosagem ótima da porcentagem do material da mistura junto ao CAP a fim de não comprometer outras propriedades do asfalto.

## **2.7. Métodos utilizados por outros estudos e comparações entre resultados obtidos**

Como já citado anteriormente, alguns pesquisadores utilizaram outros resíduos com o intuito de rejuvenescer ligantes asfálticos (recuperar as propriedades iniciais do mesmo). Para observar os efeitos dos resíduos como rejuvenescedores, é necessário utilizar mecanismos de envelhecimento dos ligantes asfálticos e após essa etapa, adicionar os rejuvenescedores na mistura. Para simular esse processo de envelhecimento em laboratório, utiliza-se uma Estufa de Película Delgada Rotacional (RTFOT) e Vaso de Pressão de Envelhecimento (PAV). Neste trabalho, a simulação de envelhecimento não foi realizada pois o resíduo foi utilizado como agente antioxidante.

Osmari e Aragão (2015) realizaram ensaios com teor de 5, 6, 7 e 8% de resíduo de óleo vegetal na mistura asfáltica (CAP 50/70), e constataram que 7% é um valor satisfatório. Para os mesmos, a adição do resíduo ao ligante envelhecido promoveu a recuperação de características a níveis semelhantes aos seus ligantes virgens, reduzindo a viscosidade e rigidez da mistura. Em outro estudo, realizado por Chen et al. (2014b), foi analisado o uso de óleo de semente de algodão com porcentagem equivalente a 0, 5 e 10%. Foi constatado que o resíduo diminui a viscosidade do asfalto (PG 64-22) e assim diminuindo a temperatura de usinagem e compactação do mesmo. Além disso, concluiu-se que a dosagem ótima para a produção de asfalto PG 64 é de 5% de óleo.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. Materiais utilizados**

#### *3.1.1. Ligante asfáltico*

O ligante asfáltico utilizado nesta pesquisa foi o CAP 50/70 (Figura 2). Esse material foi avaliado no estado virgem e misturado com resíduo de óleo de cozinha nas proporções de 02, 05 e 08% do peso do ligante asfáltico.



**Figura 2:** Representação do CAP 50/70 utilizado nesta pesquisa.

### 3.1.2. Resíduo de óleo de cozinha

Os compostos orgânicos do óleo podem ser determinados por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas – GCMS (Figura 3). Neste trabalho, essas análises foram realizadas no resíduo de óleo de soja, o mesmo utilizado nos outros experimentos, e conduzidas no Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT. Após as amostras serem submetidas à reação de transesterificação, os resultados das análises qualitativa e semiquantitativa foram determinados (Tabela 1).



**Figura 3:** Equipamentos utilizados para as análises cromatográficas (conduzido no IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas).

**Tabela 1:** Composição química do resíduo de óleo após transesterificação – IPT4589 Revisão 15 e IPT4590 Revisão 7.

COMPOSTO QUÍMICO	TEOR (%)
Palmitato de metila, $C_{17}H_{34}O_2$	$10,8 \pm 0,3$
Heptanoato de metila, $C_{18}H_{36}O_2$	$< 0,5$
Estearato de metila, $C_{19}H_{38}O_2$	$3,0 \pm 0,2$
Oleato de metila, $C_{19}H_{36}O_2$	$22,9 \pm 0,3$
Linoleato de metila, $C_{19}H_{34}O_2$	$56,4 \pm 0,8$
Octadecatrienoato de metila, $C_{19}H_{32}O_2$	$5,3 \pm 0,2$
Compostos não identificados	$1,5 \pm 0,4$

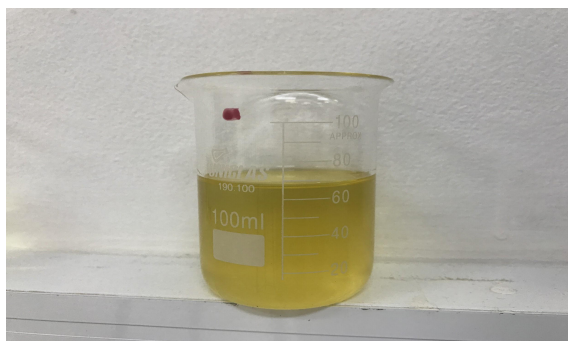
**Nota:** O resultado indica intervalo com 95% de confiança para a média de três repetições.

Baseado nos resultados, o principal composto químico identificado no resíduo é o Linoleato de metila, no qual representa  $56,4 \pm 0,8$  % da composição inteira. O resíduo não tratado com alto teor de ácido pode ser quimicamente modificado e pré-tratado com catalisadores alcalinos para sofrer transesterificação. Segundo Azahar et al. (2016c), a transesterificação é realizada para reduzir o alto teor de ácidos graxos livres, e por consequência, afeta na melhoria da penetração, teste de ponto de amolecimento e teste de desempenho reológico do asfalto. As análises do teor de ácidos graxos presentes na composição do óleo virgem foram fornecidas pela marca Concórdia, de onde foi originado o óleo utilizado nessa pesquisa (Tabela 2).

**Tabela 2:** Composição de ácidos graxos presente no óleo de soja (virgem).

ÁCIDOS GRAXOS	TEOR (%)	ÁCIDOS GRAXOS	TEOR (%)
Ácido Laurídico	0,1	Ácido Palmitoléico	0,2
Ácido Mirístico	0,2	Ácido Oléico	17,0 a 30,0
Ácido Palmítico	8,0 a 13,5	Ácido Gandoleico (Eicosenóico)	0,5
Ácido Esteárico	2,0 a 5,4	Ácido Erúico	0,3
Ácido Araquídico	0,1 a 0,6	Ácido Nervônico (Tetracosenóico)	Nao detectável
Ácido Behênico	0,7	Ácido Linoléico	48,0 a 59,0
Ácido Lignocérico	0,5	Ácido Linolênico	3,5 a 8,0

O resíduo de óleo de cozinha utilizado neste estudo foi obtido após o processamento de alimentos, e passou por um processo simples de filtração para remoção de resíduos de alimentos (Figura 4). De acordo Osmani e Aragão (2015), é importante também que seja feito um processo de evaporação da água presente no ROC, pois essa água ao entrar em contato com o ligante asfáltico à elevadas temperaturas pode ferir o operador.



**Figura 4:** Resíduo de óleo de cozinha utilizado nesta pesquisa.

### 3.2. Métodos

O CAP foi aquecido em uma fonte de calor até atingir uma consistência líquida, capaz de homogeneizá-lo com as diferentes porcentagens de ROC. Essas amostras foram armazenadas em estufa à uma temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  acima da temperatura de ensaio de cada amostra. Foram preparados quatro amostras para a realização do ensaio de viscosidade Saybolt Furol e quatro para o Método Casola.

#### 3.2.1. Ensaio no Viscosímetro Saybolt Furol

O viscosímetro Saybolt Furol é um equipamento utilizado para determinação de viscosidade de produtos de petróleo. Através desses resultados, gera-se um gráfico temperatura versus viscosidade que possibilita a definição da temperatura de compactação e usinagem. Neste artigo, essas temperaturas foram comparadas com o ensaio do método Casola.



A preparação da aparelhagem, calibração e padronização foram feitas de acordo com a NBR 14950/2003. O ensaio baseia-se na medição dos segundos que uma quantidade de 60 ml de amostra consome para fluir através de um furo padronizado (Saybolt furol), à uma temperatura constante e precisa com intervalo de  $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$  da temperatura estabelecida para o ensaio. Foram realizados no total 32 ensaios, sendo que para cada amostra repetiu-se o procedimento duas vezes para fins de verificação dos resultados. As amostras preparadas com a mistura de CAP e ROC continham diferentes porcentagens de óleo (02%, 05% e 08%), proporcionais ao peso do CAP (105g). As amostras foram submetidas às temperaturas de  $121^{\circ}\text{C}$ ,  $135^{\circ}\text{C}$ ,  $149^{\circ}\text{C}$  e  $177^{\circ}\text{C}$  no viscosímetro Saybolt Furol (Figura 5), e para essa faixa de temperatura, utilizou-se a metodologia do procedimento B descrito pela norma. Conforme os resultados dos testes, as temperaturas de usinagem e compactação foram determinadas.



**Figura 5:** Ensaio de viscosidade utilizando o viscosímetro Saybolt Furol; conduzido na Faculdade Brasileira - Multivix.

### 3.2.2. Método Casola - Ensaio de Varredura de Frequência

Segundo West et al. (2010), o ensaio de varredura de frequência, conhecido como método Casola por ter sido desenvolvido por John Casola, é baseado na observação do ângulo de fase da reologia de cisalhamento dinâmico; o método é uma medida de consistência que leva em consideração a natureza viscoelástica da mistura asfáltica. Para esse experimento, foi utilizado um reômetro de cisalhamento dinâmico (Figura 6), modelo AR 2000ex (TA Instruments).



**Figura 6:** Reômetro de cisalhamento dinâmico; conduzido na UFES (Universidade Federal do Espírito Santo).



O procedimento consiste em executar uma varredura de frequência de 0,001 a 100 rad/s em uma faixa de temperaturas que varia de acordo com o ponto de penetração do ligante asfáltico. As temperaturas de usinagem e compactação podem ser determinadas relacionando a frequência correspondente ao ângulo de fase de  $86^\circ$  [rad/s] (que é um ponto de transição facilmente identificável do material), com uma temperatura de referência de  $80^\circ\text{C}$ . Os testes foram conduzidos a quatro temperaturas:  $50^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$ ,  $70^\circ\text{C}$  e  $80^\circ\text{C}$ . O cálculo dessas temperaturas é feito de acordo com as Equações 1 e 2:

$$TC = 300 \times \omega^{(-0,012)} \quad (1)$$

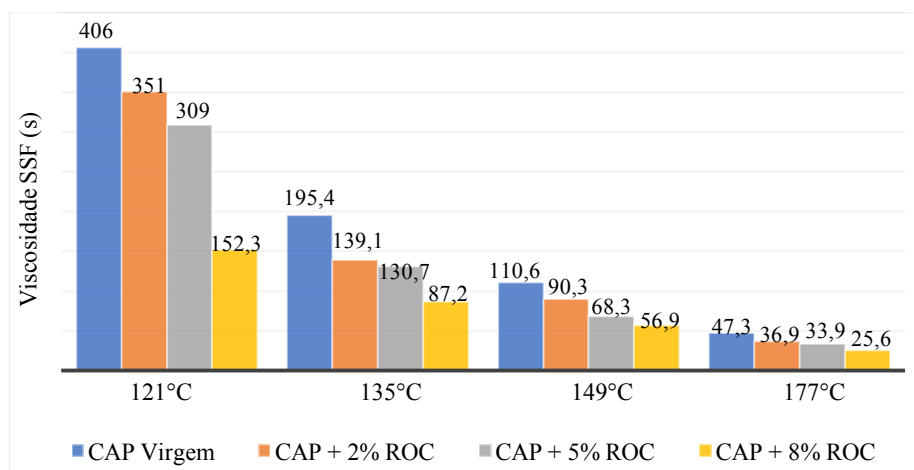
$$TU = 325 \times \omega^{(-0,0135)} \quad (2)$$

Em que TC: temperatura de compactação [ $^\circ\text{F}$ ];  
 TU: temperatura de usinagem [ $^\circ\text{F}$ ]; e  
 $\omega$ : frequência correspondente ao ângulo de fase de  $86^\circ$  [rad/s].

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Ensaio no Viscosímetro Saybolt Furol

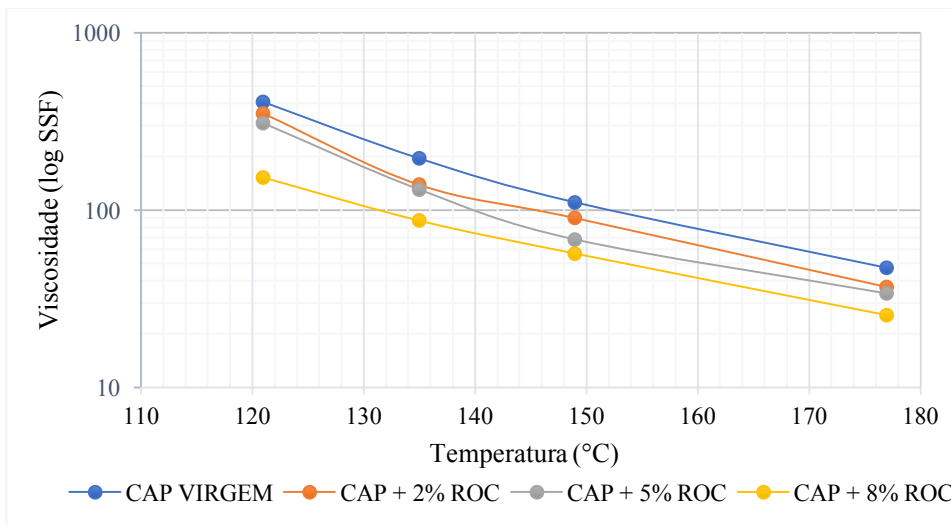
Os resultados dos ensaios podem ser verificados na Figura 7. Verifica-se que a viscosidade do asfalto diminui quanto maior a porcentagem de ROC em sua mistura em comparação ao asfalto virgem (sem adição de ROC). De acordo com Sun et al. (2015), a adição de ROC diminui a viscosidade, aumenta a penetração e ductilidade do ligante asfáltico.



**Figura 7:** Tempo em segundos em que o óleo levou para alcançar a marca delimitada no frasco receptor (60ml), para as respectivas amostras e temperaturas.

Segundo Osmari e Aragão (2015), ao longo do ciclo de vida da pavimentação asfáltica, há um enrijecimento do material, e estudos mostram que o ROC reverte esse enrijecimento; o que potencializa o efeito do ROC como agente retardador do envelhecimento do ligante. Também, de acordo com pesquisas de Sun et al. (2015), quanto menos viscoso é o material, significa que o aglutinante de asfalto é capaz de recuperar a sua forma original após ter sido deformado por uma carga. Conclui-se que o resíduo de óleo pode diminuir a resistência à deformação e o desempenho de recuperação elástica do asfalto de controle. De acordo com Azahar et al. (2016b), quanto maior potencial de afundamento da mistura, devido a diminuição da viscosidade, maior é a deformação permanente da mesma, e assim, com o aumento da quantidade de óleo, maior a taxa de redução da rigidez (fraca ligação entre o ligante e o agregado). Azahar et al. (2016b) conclui que há uma quantidade adequada de óleo de cozinha a ser adicionado na mistura, a fim de não comprometer a resistência do CAP.

Outro fator analisado foi a temperatura de usinagem e compactação do asfalto (Figura 8), feito a partir das fórmulas obtidas dos gráficos temperatura versus viscosidade de cada amostra. Observa-se que o aumento da porcentagem de ROC implica em uma diminuição da temperatura. Na amostra de 8%, essa diferença se aproxima de 20°C de diferença na de usinagem e 36,2°C na de compactação em comparação ao CAP virgem.



**Figura 8:** Gráfico correspondente à temperatura de compactação e usinagem do CAP virgem e CAP com adição de 02, 05 e 08 % de resíduo de óleo de cozinha.

#### 4.2. Ensaio no Reômetro de Cisalhamento Dinâmico - Método Casola

**Tabela 3:** Valores da temperatura de usinagem e compactação (Trios software).

Amostra	Tipo de modificante / aditivo	Dados Reológicos			Temperaturas (°F)		Temperaturas (°C)	
		Temperatura	Angulo de fase	Freq.	Mistura	Compactação	Mistura	Compactação
					°F	°C	°F	°C
		(°C)	(°)	(Rad/seg)	-0,0135	-0,012	°F p/ °C	°F p/ °C
1	CAP VIRGEM	80	86	398,43	300	279	149	137
2	CAP +2%ROC	80	86	453,43	299	279	148	137
3	CAP +5%ROC	80	86	759,02	297	277	147	136
4	CAP+ 8%ROC	80	86	1139	296	276	146	135

Verifica-se que com a adição do ROC na mistura asfáltica, há uma diminuição da temperatura de usinagem e compactação, e observou-se uma redução linear de 1°C entre as amostras. Desta forma, pode-se afirmar que o uso do ROC é satisfatório para diminuir as temperaturas de usinagem e compactação, e conseqüentemente, diminuindo a energia necessária na produção do asfalto e reduzindo emissão de gases no meio ambiente. Para a porcentagem de 8% houve uma redução de 3°C para a temperatura de usinagem e de 2°C para a de compactação. No ensaio Saybolt Furol, para o mesmo parâmetro, houve uma redução de 20°C na temperatura de usinagem e 36,2°C na de compactação, em comparação ao CAP virgem.

Em comparação com os resultados das temperaturas obtidas pelo método Casola (Tabela 3) e do viscosímetro Saybolt Furol, percebe-se uma diferença entre ambos, e isso pode ser devido ao fato de que o equipamento utilizado para o ensaio do método Casola possui uma precisão

maior, por ser automatizado e computadorizado, enquanto o Viscosímetro Saybolt Furol possui maior margem de erro (mais variáveis que podem comprometer os resultados).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por meio das análises realizadas neste artigo, e pelas referências de outros autores, observou-se o potencial do ROC como agente antioxidante do asfalto ligante. No entanto, são necessários estudos adicionais para a avaliação de outros parâmetros que influenciam no comportamento do asfalto virgem modificado com o resíduo. O ligante no estado virgem e modificado com diferentes porcentagens de ROC foram avaliados a partir de ensaios que determinam a viscosidade da amostra. Essa alternativa contribui para uma destinação adequada deste resíduo, garantindo menor impacto para o meio ambiente, redução de custos para manutenção de pavimentos asfálticos, e ao mesmo tempo, melhoria das propriedades do asfalto.

Observa-se a diminuição da viscosidade à medida em que se adiciona o ROC, acarretando na diminuição das temperaturas de usinagem e compactação, melhorando sua trabalhabilidade e contribuindo para a diminuição de consumo de energia e emissão de dióxido de carbono durante o processo de construção. Entretanto, mais estudos são necessários para avaliar e determinar a porcentagem ideal de ROC para adicionar ao CAP com o intuito de preservar e/ou melhorar outros parâmetros, como por exemplo a resistência do CAP. Além disso, é interessante que seja feita uma avaliação em laboratório das propriedades do asfalto envelhecido, para melhor análise quanto ao seu comportamento em campo.

## REFERÊNCIAS

- Asli, H., Ahmadinia, E., Zargar, M., & Karim, M.R. (2011). Investigation on physical properties of waste cooking oil – Rejuvenated bitumen binder. *Construction and Building Materials*, 37(2012), p. 398-405.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. Segmento - Como funciona. Disponível em: <<http://www.abeda.org.br/mercado/?target=id-1>>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14950: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. 1.ed. Abr. 2003.
- ASTM E 102. Standard Test Method for Saybolt Furol Viscosity of Bituminous Materials at High Temperatures. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- ASTM D 88. Standard Test Method for Saybolt Furol Viscosity. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- Azahar, W.N.A.W., Bujang, M., Jaya, R.P., Hainin, M.R., Ngadi, N., Abdullah, M.E., & Mohamed, A.A. (2015). A review on application of waste cooking oil as rejuvenator in porous asphalt mixture. *Jurnal Teknologi*, (2016), p. 105-109.
- Azahar, W.N.A.W., Jaya, R.P., Hainin, M.R., Bujang, M., & Ngadi, N. (2016). Chemical modification of waste cooking oil to improve the physical and rheological properties of asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 126 (2016), 218- 226.
- Azahar, W.N.A.W., Bujang, M., Jaya, R.P., Hainin, M.R., Mohamed, A., Ngadi, N., & Jayanti, D.S. (2015). The potential of waste cooking oil as bio-asphalt for alternative binder – An overview. *Jurnal Teknologi*, (2016), p. 111-116.
- Azahar, W.N.A.W., Bujang, M., Jaya, R.P., Hainin, M.R., Ngadi, N., & Abdullah, M.M.A.B. (2016). Effect of Antioxidant Characteristic from Waste Cooking Oil in Modified Asphalt Binder. *Key Engineering Materials*, (2016), p. 197-206.
- BERNUCCI, L.B. et al. Pavimentação asfáltica: Formação Básica para Engenheiros. 3.ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.
- BRASIL. Departamento da Indústria da Construção. Estudo da cadeia produtiva do asfalto: diagnóstico de problema e proposições de aprimoramento. São Paulo (SP): FIESP, 2009. Disponível em:<<http://az545403.vo.msecnd.net/observatoriodaconstrucao/2015/10/estudo-do-asfalto.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2017.

- Chen, M., Leng, B., Shaopeng, W., & Sang, Y. (2014). Physical, chemical and rheological properties of waste edible vegetable oil rejuvenated asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 66 (2014), p. 286-298.
- Chen, M., Xiao, F., Putman, B., Leng, B., Wu, S. (2014). High temperature properties of rejuvenating recovered binder with rejuvenator, waste cooking and cotton seed oils, *Constr. Build. Mater.* 59 (2014), p. 10–16.
- COMISSÃO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA PETROBRAS. Asfalto - Informações Técnicas. 1.1 ed. Ago. 2015.
- COSME, R.L. Estudo Reológico de Mástiques com Filer de Resíduo de Beneficiamento de Rochas Ornamentais (RBRO) e Escória de Aciaria (EMA). Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFES, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015.
- Cunha, Alessandro Rogério Dias da Cunha. Ficha técnica óleo de soja refinado. ADM do Brasil Ltda. Rondonópolis (MT).
- Domingos, M.D.I., Pamplona, T.F., Faxina, A.L., & Gigante, A.C. (2012). Viscosidade rotacional de ligantes asfálticos modificados de mesmo grau de desempenho. *Transportes*, (2012), p. 15-22.
- Lucena, L. C. F. L., Silveira, I. V. S., & Costa, D. B. (2015). Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da Moringa Oleífera Lam para uso em misturas mornas. *Revista Matéria*, 11681 (2016), p. 72-82.
- Maharaj, R., Harry, V. R., & Mohamed, N. (2015). Rutting and Fatigue Cracking Resistance of Waste Cooking Oil Modified Trinidad Asphaltic Materials. *The Scientific World Journal*, 2015.
- Malha rodoviária total. Anuário do Transporte, Brasil. Disponível em: <<http://anuariodotransporte.cnt.org.br/2017/Rodoviario/1-3-1-1-1-/Malha-rodovi%C3%A1ria-total>>. Acesso em: 27 mai. 2017.
- MARCA AMBIENTAL. Parque de Ecomercados. Disponível em: <<http://www.marcaambiental.com.br/site/parque.php#anchorbiomarca>>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- OLIVEIRA, B. M. G.; SOMMERLATTE, B. R. Plano de Gerenciamento do Resíduo Óleo de Cozinha - PGIROC. Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente: Fundação Israel Pinheiro, 2009.
- OSMARI, P. H.; ARAGÃO, F. T. S. Avaliação do resíduo de óleo vegetal como agente rejuvenescedor de ligantes a partir de análises reológicas e de morfologia de superfície. In: XXIX Congresso Nacional de Pesquisa em Transporte da Anpet Ouro Preto, 2015, Ouro Preto. 2015. p. 37-46.
- OSMARI, P. Caracterização química, reológica e de morfologia superficial de ligantes asfálticos modificados por diferentes agentes rejuvenescedores. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
- PETROBRAS. Nossa produção de derivados no Brasil cresceu 2,1% em 2014. Fev. 2015. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/nossa-producao-de-derivados-no-brasil-cresceu-2-1-em-2014.htm>>. Acesso em: 22 abr. 2017.
- 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.
- SANTOS, R. S. Gerenciamento de resíduos: coleta de óleo comestível. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Logística) – Faculdade de Tecnologia da Zona Leste, 2009.
- Sun, Z., Yi, J., Huang, Y., Feng, D., & Guo, C. (2015). Investigation of the potential application of biodiesel by-product as asphalt modifier. *Road Materials and Pavement Design*, (2015).
- Sun, Z., Yi, J., Huang, Y., Feng, D., & Guo, C. (2015). Properties of asphalt binder modified by bio-oil derived from waste cooking oil. *Construction and Building Materials*, 102(2016), p. 496-504.
- West, R. C.; et al. Mixing and Compaction Temperatures of Asphalt Binders in Hot-Mix Asphalt. National Cooperative Highway Research Program. Washington, D.C. n.2, p. 24-30. 2010.