



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

## **AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE COPAÍBA NO COMPORTAMENTO DO LIGANTE ASFÁLTICO CAP 50/70**

**LUCIENE COSTA SANTOS**

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues

Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB

11/12/2019

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA ADIÇÃO DE ÓLEO DE COPAÍBA NO  
COMPORTAMENTO DO LIGANTE ASFÁLTICO CAP 50/70**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB

11/12/2019

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

**Luciene Costa Santos**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Campina Grande como requisito para  
obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Pavimentação.

Orientadores: John Kennedy Guedes Rodrigues  
Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Campina Grande-PB

2019

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço incondicionalmente à minha mãe, Dilma Costa, por me conceder o milagre da vida e por me proporcionar o suporte necessário para a obtenção de conhecimento como principal ferramenta de gestão das minhas ações, para alcançar os meus mais importantes objetivos. Ao meu padrasto, Sérgio Murilo e meu pai, Romero Sílvio, por atuarem com inquestionável importância no auxílio e suporte na construção da minha jornada acadêmica.

Agradeço a Deus por sua sábia e paciente orientação que se converteram nos mais significativos ensinamentos em todas as áreas que delinham a minha vida e por se mostrar como refúgio e ponto de consolo em momentos tempestuosos.

Agradeço ao meu grande amigo Deywhildson Oliveira, irmão de outra família, por compartilhar os mais pertinentes conselhos, por estabelecer as mais relevantes críticas durante a nossa fase de amadurecimento pessoal que contribuíram acentuadamente na formação do meu caráter, por construir, ao meu lado, o verdadeiro significado da amizade.

Às minhas grandes amigas, Anne Kelly, Mila Rezende, Adriana Ferreira, por estarem comigo em momentos ímpares que se transformaram nas minhas recentes melhores memórias, as quais se configuram como meu mais novo patrimônio imaterial.

Ao curso de engenharia civil, por intermédio do seu corpo acadêmico docente e discente que interagiram comigo de forma direta e indireta, fomentando a base para o estabelecimento de relações de qualidade e troca de informações e conhecimentos, bem como de experiências positivas e negativas que contribuíram para um resiliente desenvolvimento pessoal.

Agradeço à minha coorientadora Ana Maria por, através de sua orientação acadêmica, proporcionar a delimitação de passos bem fundamentos para a construção desse projeto de pesquisa aplicada.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho ao corpo acadêmico e futuros profissionais da construção civil, que lutam diariamente para contribuir positivamente com a sociedade através de suas qualificações profissionais.

## **EPIGRAFE**

“A vida é um grande contrato de risco. Vence quem é resiliente, quem renuncia às ambições tolas e se prepara minimamente para as curvas imprevisíveis da existência”.

(Augusto Cury)

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Estrutura de uma Molécula de Asfalto.....	23
<b>Figura 2:</b> Exemplos de corpos-de-prova de diversas formas e compactadores de misturas asfálticas.....	25
<b>Figura 3:</b> Envelhecimento do ligante asfáltico nas etapas de construção e de utilização do pavimento.....	33
<b>Figura 4:</b> Árvore da Copaíba (Copaifera Langsdorffii) .....	35
<b>Figura 5:</b> Óleo de Copaíba .....	38
<b>Figura 6:</b> Fluxograma das etapas das pesquisas .....	39
<b>Figura 7:</b> Aparelho utilizado para realização do ensaio de penetração. ....	41
<b>Figura 8:</b> Equipamento utilizado para realização do ensaio de DTA e TG .....	43

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1:</b> Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru (Leite, 2003).....	24
<b>Tabela 2:</b> Caracterização dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por Penetração.....	28
<b>Tabela 3:</b> Nomenclatura das Amostras da Pesquisa.....	40
<b>Tabela 4:</b> Ensaio de caracterização reológicas básicas dos ligantes asfálticos.....	40

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1:</b> Comparação entre os valores Autorizados e o Total Pago. Investimento público federal, Infraestrutura de transporte rodoviário – Brasil, 2011 – 2017. ....	19
<b>Gráfico 2:</b> Avaliação das Rodovias Pesquisadas .....	20
<b>Gráfico 3:</b> Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias (%) .....	21
<b>Gráfico 4:</b> Perda de massa.....	44
<b>Gráfico 5:</b> Ensaio de penetração.....	45
<b>Gráfico 6:</b> Penetração Retida.....	46
<b>Gráfico 7:</b> Ensaio de ponto de amolecimento.....	47
<b>Gráfico 8:</b> Variação do ponto de amolecimento .....	48
<b>Gráfico 9:</b> Ensaio de viscosidade rotacional antes do envelhecimento a curto prazo- RTFO .....	49
<b>Gráfico 10:</b> Viscosidade rotacional após o envelhecimento a curto prazo - RTFO ..	50

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
BBR	Bending Beam Rheometer
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CBUQ	Concreto asfáltico usinado a quente
CNT	Confederação Nacional de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DSR	Dynamic Shear Rheometer
FTIR	Espectroscopia no Infravermelho com Transformada de Fourier
IBPT	Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação
LEP	Laboratório de Engenharia de Pavimentos
RTFO	Rolling Thin Film Oven
SARA	Saturates, aromatics, resins, and asphaltenes
SBS	Estireno Butadieno Estireno
SENAT	Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte
SEST	Serviço Social do Transporte
TUC	Temperatura de usinagem e compactação
UAEC	Unidade Acadêmica de Engenharia Civil
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande

## RESUMO

A análise das modificações químicas, físicas e mecânicas apresentadas pelo cimento asfáltico de petróleo modificado por aditivo verde, quando submetido à diferentes níveis de temperatura, dado um intervalo de tempo, sob condições de observação tanto empírica quanto experimental, proporcionam um entendimento mais refinado acerca do comportamento térmico apresentado pelo ligante asfáltico flexível, amplamente utilizado na execução da atual malha rodoviária brasileira. Partindo disso, este trabalho tem como objetivo central analisar as propriedades físicas e térmicas do ligante asfáltico CAP 50/70 modificado por adição de óleo de copaíba nos teores de 4% e 5% antes e após o envelhecimento a curto prazo-RTFO. Foram realizados ensaios de caracterização física, destacando-se: penetração, ponto de amolecimento, viscosidade, para o comportamento térmico foram realizados os ensaios de análise termodiferencial e termogravimétrica, bem como a calorimetria diferencial exploratória, visando avaliar o efeito ocasionado ao ligante asfáltico. Verificou-se que a adição do óleo de copaíba ao ligante asfáltico possibilitou a obtenção de melhorias das propriedades físicas contribuindo diretamente para a redução da temperatura de usinagem e compactação.

**Palavras-chave:** Propriedades Térmicas; aditivo; ligante asfáltico.

## **ABSTRACT**

The analysis of chemical, physical and mechanical modifications presented by green additive modified petroleum asphalt cement, when subjected to different temperature levels, given a time interval, under both empirical and experimental observation conditions, provides a more refined understanding about the thermal behavior presented by the flexible asphalt binder, widely used in the execution of the current Brazilian road network. Based on this, the main objective of this work is to analyze the physical and thermal properties of the modified CAP 50/70 asphalt binder by adding copaiba oil at 4% and 5% before and after short term aging-RTFO. Physical characterization tests were performed, highlighting: penetration, softening point, viscosity, for the thermal behavior were performed the tests of thermodiferential and thermogravimetric analysis, as well as the exploratory differential calorimetry, aiming to evaluate the effect caused to the asphalt binder. It was found that the addition of copaiba oil to the asphalt binder made it possible to obtain improvements in physical properties, contributing directly to the reduction of the machining and compaction temperature.

**Keywords:** Thermal Properties; additive; asphalt binder.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. Justificativa.....	16
1.2. Objetivos .....	17
1.2.1. Objetivo Geral.....	17
1.2.2. Objetivos Específicos.....	17
1.3. Organização do Trabalho de Conclusão de Curso - TCC.....	17
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1. Infraestrutura da Malha Rodoviária .....	19
2.2. Cimento Asfáltico de Petróleo .....	22
2.2.1 Natureza .....	22
2.2.2. Propriedades Químicas do Cimento Asfáltico de Petróleo .....	23
2.2.3. Composições de Misturas Asfálticas .....	24
2.2.4. Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo.....	27
2.2.5. Análise Térmica de Ligantes Asfálticos Modificados .....	30
2.2.6. Envelhecimento da Mistura Asfáltica .....	32
2.2.7. Ligantes Modificados por Oleaginosas .....	33
2.2.8. Olho de Copaíba.....	35
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
3.1. Materiais.....	38
3.1.1. Ligante asfáltico.....	38
3.1.2. Óleo de Copaíba.....	38
3.2. Métodos .....	39
3.2.1. Procedimento de mistura.....	39
3.2.2. Nomenclatura das amostras .....	40
3.2.3. Caracterização Reológica Básica dos Ligantes.....	40
3.2.4. Ensaio de Penetração .....	41

3.2.5.	Ponto de Amolecimento.....	41
3.2.6.	Viscosidade Rotacional .....	42
3.2.7.	Determinação das propriedades térmicas dos ligantes .....	42
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	44
4.1	Caracterização Reológica Básica dos Ligantes .....	44
4.1.1	Procedimento de Envelhecimento a curto prazo.....	44
4.1.2	Ensaio de penetração .....	45
4.1.3	Ponto de amolecimento .....	47
4.1.4	Ensaio de viscosidade rotacional antes do envelhecimento a curto prazo - RTFO.....	49
4.1.5	Ensaio de viscosidade rotacional antes do envelhecimento a curto prazo - RTFO.....	50
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS ..	52
6.	REFERÊNCIAS.....	54

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário de transporte se consolida como o modal mais utilizado para o estabelecimento do tráfego de pessoas e movimentações de cargas para diferentes pontos do território nacional brasileiro. Correspondendo a cerca de 60% e 90% do transporte total de cargas e passageiros, respectivamente (CNT, 2018).

A partir disso, a forte predominância do modo rodoviário na matriz de transportes brasileira com 1.7 milhão de quilômetros de extensão de estradas pavimentadas ou não (CNT, 2018), somada ao crescente número da frota de veículos automotores terrestres em circulação equivalente a 65,8 milhões de acordo com o levantamento efetuado pelo IBPT (2018), demandam ao poder público elevados custos de construção, pavimentação, adequação da capacidade e, principalmente, manutenção das estradas que, quando não atendidos, proporcionam insegurança e prejuízos econômicos à nação (FERNANDES et al., 2010)

Diante desse contexto, é imprescindível lançar mão do aprimoramento das tradicionais técnicas e materiais implementados na execução construtiva da infraestrutura de estradas, embasados no desenvolvimento de pesquisas e estudos minuciosos referentes às propriedades mecânicas e térmicas de materiais componentes da estrutura, além da introdução de materiais aditivos alternativos, economicamente viáveis e sustentáveis que proporcionem melhor versatilidade e resistência às adversidades climáticas e à excedência da capacidade de sustentação de cargas transeuntes na via (PAMPLONA et al., 2012).

Visando atender à uma demanda crescente por alternativas sustentáveis, que explorem o potencial da biodiversidade brasileira, são praticados os asfálticos modificados, especificamente aqueles constituídos por modificadores oleaginosos que objetivam otimizar propriedades já verificadas na camada asfáltica tradicionalmente executada, como impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local (BERNUCCI et al., 2008).

Diante do exposto, a incorporação de óleos aromáticos, como o óleo de copaíba – objeto de estudo dessa pesquisa – como aditivo natural no cimento asfáltico de petróleo, além de contribuir para as propriedades mencionadas anteriormente, possibilitam, segundo Ferreira (2018), a diminuição das elevadas temperaturas

impostas de usinagem e compactação (TUC), contribuindo para uma significativa diminuição da emissão de gases poluentes no processo. Sendo, portanto, possível observar a influência da adição do modificador nas propriedades térmicas do material asfáltico.

### **1.1. Justificativa**

A análise térmica do cimento asfáltico de petróleo de penetração 50/70, aditivado com óleo de copaíba, quando submetido ao envelhecimento a curto prazo associado ao processo de produção da mistura asfáltica, na estufa de filme fino rotativo (RTFO), se configura como ferramenta importante no levantamento de informações acerca da volatilização e oxidação apresentadas pela estrutura do material, corroborando com a construção de um entendimento mais preciso relacionado à complexidade do processo de envelhecimento que, segundo Huang et al. (1996, apud NASCIMENTO; FAXINA, 2012), proporciona modificações de natureza química e física, que estão diretamente associadas a mecanismos de ruínas da camada asfáltica, como desagregação, trincamento por fadiga e/ou por origem térmica. Desse modo, através da análise efetuada, é possível estabelecer a influência do envelhecimento a curto prazo sobre as propriedades reológicas do ligante modificado, contribuindo com a possibilidade de inclusão de critérios de controle para as especificações desses materiais (NASCIMENTO; FAXINA, 2012).

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Este projeto tem como objetivo avaliar o efeito da adição de óleo de copaíba no comportamento do ligante asfáltico CAP 50/70 nos teores de adição de 4 e 5%.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Analisar o efeito da adição de óleo de copaíba nas propriedades físicas do ligante asfáltico CAP 50/70;
- ✓ Avaliar o comportamento reológico do ligante modificado por adição de óleo de copaíba após envelhecimento a curto prazo;
- ✓ Avaliar o comportamento térmico do ligante modificado por adição de óleo de copaíba após envelhecimento a curto prazo através da calorimetria diferencial exploratória;
- ✓ Avaliar a perda de massa ocorrida com o aumento da temperatura para o ligante asfáltico modificado por adição de óleo de copaíba após envelhecimento a curto prazo.

## **1.3. Organização do Trabalho de Conclusão de Curso - TCC**

O texto deste Trabalho de Conclusão de Curso -TCC encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos e Organização da pesquisa.

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados aos ligantes asfálticos, modificação de ligantes asfálticos e propriedades térmicas dos ligantes.

Materiais e Métodos – São apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

Resultados e Discussões – São apresentados os resultados obtidos para o comportamento térmico dos ligantes asfálticos.

Considerações Finais e Sugestões para pesquisas futuras – São apresentadas as considerações obtidas para os objetivos da pesquisa e indicadas sugestões para estudos futuros que potencializem a área de concentração da pesquisa.

Por fim, estão as Referências, onde serão listadas as pesquisas citadas neste estudo.

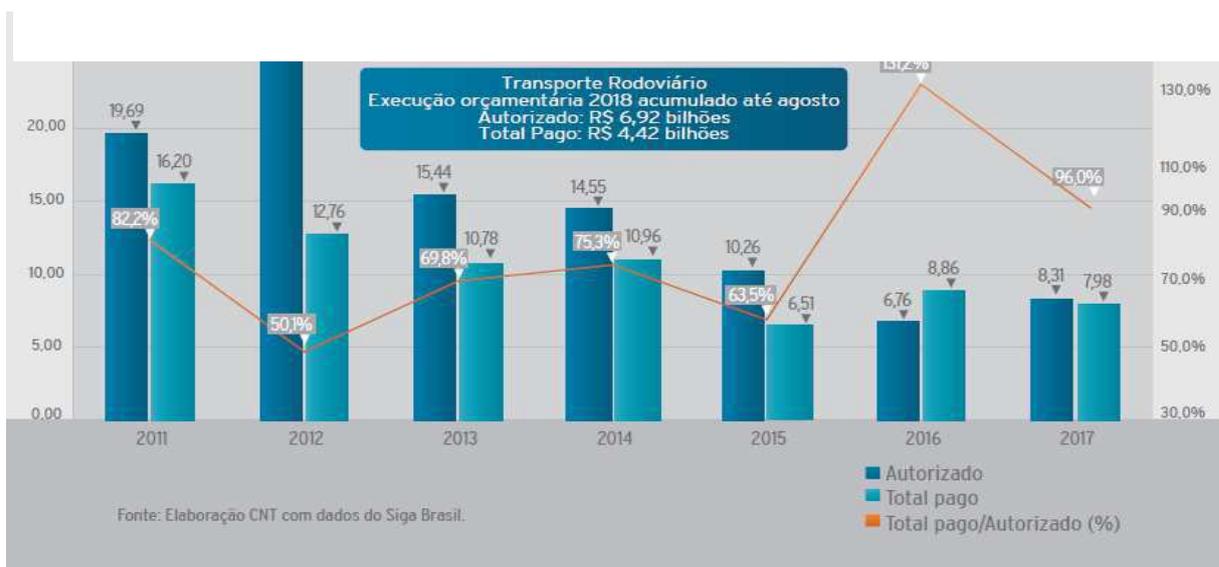
## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. Infraestrutura da Malha Rodoviária

A predominância do modo rodoviário de transporte para movimentação de cargas e pessoas é observada, quando comparada ao demais modais mais utilizados de locomoção na matriz brasileira, constituída pelo sistema aeroviário, aquaviário, ferroviário e dutoviário. Apresentando, segundo o boletim estatístico CNT (2018), uma extensão total de 1.735.607 km de estradas e rodovias, nas quais trafegam 61,1% das cargas, como também, 92.529.213 milhões de passageiros por todo território nacional.

Paralela à relevância apresentada pelo modal rodoviário, apresenta-se o baixo investimento histórico por parte das autoridades responsáveis no que tange à infraestrutura da matriz. Através do Gráfico 1, é possível verificar a comparação entre os valores autorizados e o total pago de investimentos públicos federais na infraestrutura de transporte rodoviário entre os anos de 2011 e 2017, constatando a deficiência ao atendimento das demandas e, conseqüente, não impulsionamento da economia da nação (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2018).

**Gráfico 1:** Comparação entre os valores Autorizados e o Total Pago. Investimento público federal, Infraestrutura de transporte rodoviário – Brasil, 2011 – 2017.



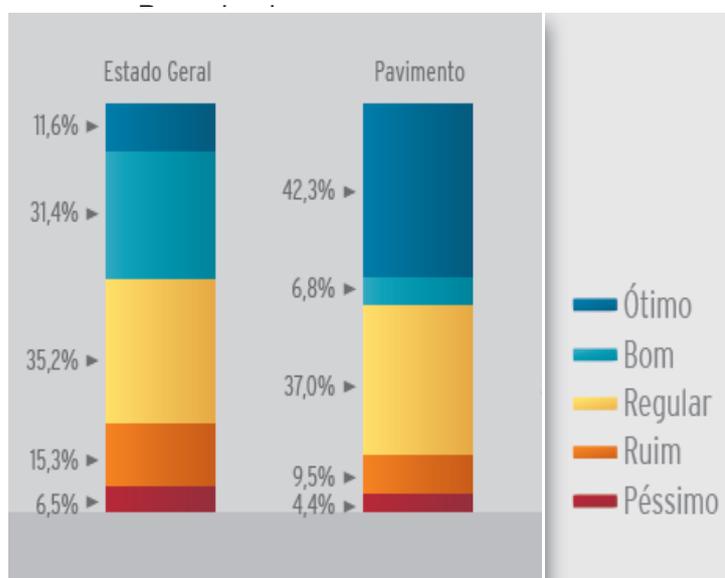
Fonte: Elaboração CNT com dados do Siga Brasil.

De acordo com o ex-presidente da Confederação Nacional de Transporte, Clésio Andrade:

A falta de investimentos é a principal causa das péssimas condições das rodovias brasileiras. Para corrigir os problemas mais urgentes, reconstrução, restauração e readequação das vias desgastadas, são necessários R\$ 48,08 bilhões. Isso é sete vezes mais do que o orçado pelo governo federal para todas obras em transporte rodoviário este ano. O orçamento 2018 para infraestrutura rodoviária é R\$ 6,92 bilhões (2018, p. 1).

O baixo índice de investimentos somado à sobrecarga a qual é submetida por ser a principal plataforma de tráfego nacional, implica em modestos índices no quadro de qualidade estrutural das vias rodoviárias. Através da 22ª edição da Pesquisa CNT de Rodovias, juntamente com SEST SENAT, a qual abrange toda a extensão da malha pavimentada federal e as principais rodovias estaduais pavimentadas, foi possível identificar que, dos 107.161 km analisados, 57,0% apresentam algum tipo de problema no estado geral. Em relação ao pavimento, mais especificamente, 50,9% dos trechos avaliados receberam classificação regular, ruim ou péssima (2018, p. 1), como é observado no Gráfico 2, onde é explicitada a avaliação das rodovias, objetos de estudo da pesquisa.

**Gráfico 2:** Avaliação das Rodovias

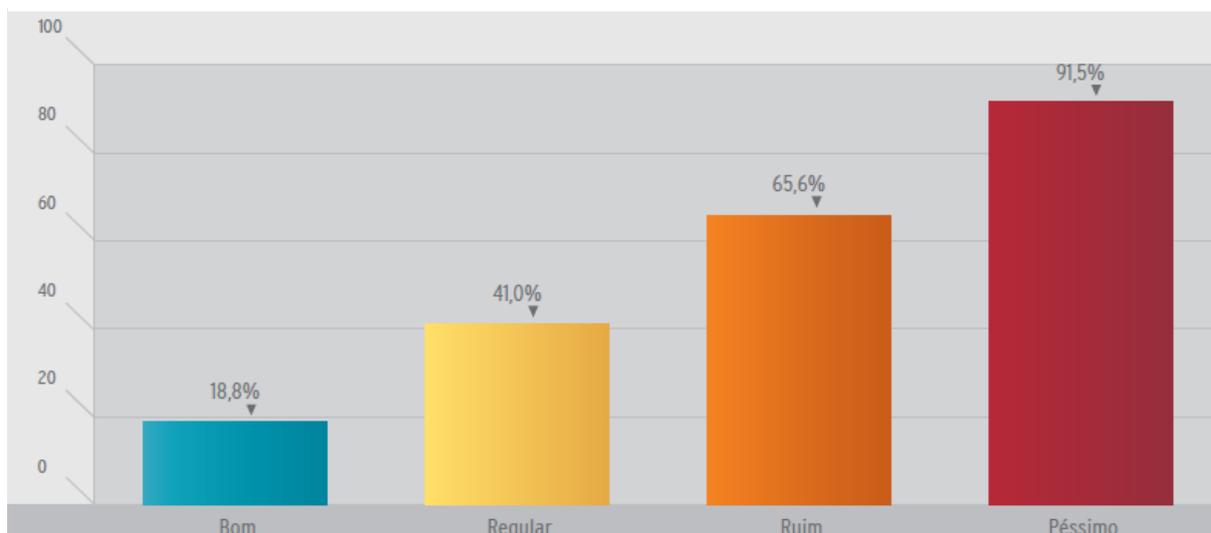


**Fonte:** Pesquisa CNT de Rodovias 2018

Diante do exposto, é importante ressaltar que problemas estruturais oriundos da camada superficial do pavimento geram um aumento médio de 26,7% no custo operacional do transporte. Rodovias deficientes reduzem a segurança viária,

aumentam o custo de manutenção de veículos, além do consumo de combustível, lubrificantes, pneus e freios (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2018, p. 6), informação ratificada no Gráfico 3, onde são relacionados os custos operacionais em percentagem com o nível de qualidade do pavimento da rodovia.

**Gráfico 3:** Aumento do custo operacional conforme o estado do pavimento das rodovias (%)



**Fonte:** Elaboração CNT com dados da NTC & Logística

No tocante às questões ambientais, em função das inadequações do pavimento estima-se que, em 2018, haja um consumo desnecessário de 876,78 milhões de litros de diesel nas rodovias brasileiras, o que representa um adicional de 2,32 MtCO<sub>2eq</sub> emitidos pela combustão de diesel (PESQUISA CNT DE RODOVIAS, 2018, p. 9), acarretando, um aumento da poluição atmosférica e, como consequência, uma elevação da temperatura devido ao efeito estufa.

Neste sentido, o desenvolvimento de estudos relacionados à introdução do óleo de copaíba como aditivo ambientalmente sustentável à estrutura do CAP, tem como objetivos gerais o aproveitamento deste resíduo para se obter benefícios nas propriedades térmicas, mecânicas, físicas e químicas da mistura asfáltica, obtendo-se, portanto, patamares de excelência no que diz respeito à qualidade do asfalto que pode ser implementado nas vias rodoviárias que delineiam o Brasil, proporcionando desenvolvimento econômico atrelado à sustentabilidade ambiental.

## **2.2. Cimento Asfáltico de Petróleo**

### **2.2.1. Natureza**

De acordo com o Instituto de Asfalto (2002), citado por Lima (2008, p.10) a terminologia da palavra asfalto é proveniente da língua grega e significa firme, estável. E, segundo a mesma fonte, na Antiguidade, o material asfáltico apresentava larga aplicabilidade como argamassa nas edificações, em blocos de pavimento, calafetagem de navios, aplicações de impermeabilização e preparação de múmias. Essa versatilidade nas aplicações é observada e estendida até os dias atuais, através da sua utilização como cimento para colar, revestimento e impermeabilizantes de objetos.

. A utilização do material em pavimentação é constatada como uma das mais recorrentes e antigas aplicações, especialmente dentro dos limites das fronteiras brasileiras, onde cerca de 95% das estradas e rodovias pavimentadas são constituídas de revestimento asfáltico. Sua ampla aplicabilidade no cenário nacional se deve à forte união dos agregados constituintes da mistura, proporcionada pelo material que atua como um ligante que permite flexibilidade controlável; é impermeabilizante, é durável e resistente à ação da maioria dos ácidos, dos álcalis e dos sais, podendo ser utilizado aquecido ou emulsionado, em amplas combinações de esqueleto mineral, com ou sem aditivos. (BERNUCCI et al., 2010).

No que tange à sua origem, o asfalto pode ser considerado como natural, sendo este identificado nas Normas Brasileiras como CAN – Cimento Asfáltico Natural –, o qual geralmente é encontrado em bancos de asfalto naturais provenientes de intempéries ocorridas ao longo do tempo, como também pode ser classificado como pirogênico ou industrial, quando oriundo da destilação do petróleo de base asfáltica.

Segundo Benucci et. al. (2007), citado por Portugal (2016, p. 22) no Brasil é utilizado a denominação cimento asfáltico de petróleo (CAP) para designar o produto que usado recorrentemente como revestimento nas estradas, o qual apresenta basicamente característica semissólida à baixas temperaturas, viscoelásticoplástica à temperatura ambiente e viscosa sob altas temperaturas, se enquadrando, portanto, em limites de consistência para determinadas temperaturas. E, de acordo com o mesmo autor, a característica de termoviscoelasticidade do material é manifestado no comportamento mecânico, sendo suscetível à velocidade subjugada, ao tempo de

utilização, à intensidade do carregamento aplicado e à temperatura de serviço. O comportamento termoviscoelástico é mais comumente assumido do que o termoviscoplastico, com suficiente aproximação do real comportamento do material.

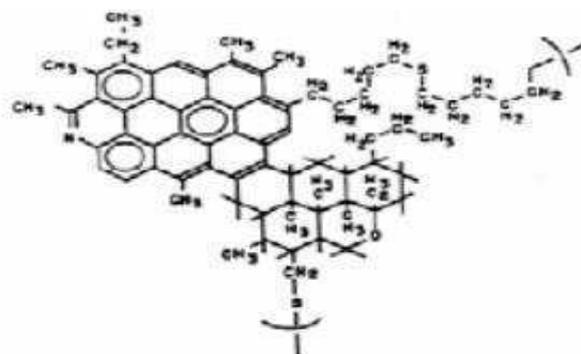
E, conforme Backx (2014), é obtido através de processos industriais controlados de destilação de petróleo nas refinarias e recebe esta denominação quando apresenta propriedades físicas adequadas à pavimentação.

### 2.2.2. Propriedades Químicas do Cimento Asfáltico de Petróleo

O ligante asfáltico é constituído de 90-95% hidrocarbonetos e 5 – 10% heteroátomos - O, S, N, V, Ni, Fe, Mg, Ca - (BACKX, 2014). Formado, conforme Fernandes (2009), citado por Portugal (2016) por composto saturados (S), aromáticos (A), resinas (R) e asfaltenos (A), sendo caracterizados por sua composição SARA. As propriedades físicas, mecânicas e reológicas do asfalto são definidas através da sua composição química, particularmente da proporção existente entre asfaltenos e maltenos na sua estrutura.

A partir disso, no que diz respeito à estrutura do asfalto, os compostos saturados influenciam negativamente à susceptibilidade térmica; os aromáticos contribuem para melhoria das propriedades físicas do ligante; as resinas melhoram a ductibilidade do material; e os asfaltenos contribuem para um aumento da viscosidade, tornando o asfalto menos susceptível às variações de temperatura (MORALES, E COL., 2004, citado por BRINGEL, 2007). Através da Figura 1 é possível observar a estrutura hipotética de uma molécula de asfalto.

**Figura 1:** Estrutura de uma Molécula de Asfalto



**Fonte:** Leite, 2003 apud Marques, 2007, consultado em Lima (2008, p. 13)

Neste sentido, os CAPs brasileiros, mais especificamente, têm baixo teor de enxofre e de metais, e alto teor de nitrogênio. Sua composição química é bastante complexa sendo que o número de átomos de carbono por molécula varia de 20 a 120. A composição química do CAP tem influência no desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas, mas sua maior influência será nos processos de incorporação de agentes modificadores (MARCONDES et al., 2010).

De acordo com Bernucci et al. (2010), A variabilidade da composição química do material asfáltico ocorrerá devido à fonte do petróleo, assim como, às modificações induzidas nos processos de refino e durante o envelhecimento na usinagem e em serviço. A partir disso, através de uma análise elementar dos asfaltos manufaturados é possível apresentar as seguintes proporções de componentes: carbono de 82 a 88%; hidrogênio de 8 a 11%; enxofre de 0 a 6%; oxigênio de 0 a 1,5% e nitrogênio de 0 a 1%. A Tabela 1 mostra um exemplo de composição química de alguns ligantes asfálticos.

**Tabela 1:** Exemplos de composições químicas de asfaltos por tipo de cru (Leite, 2003).

Origem	Mexicano	Boscan Venezuela	Califórnia Estados Unidos	Cabiúnas Brasil	Cabiúnas Brasil
Refinaria	-	RLAM Bahia	-	Regap Minas Gerais	Replan São Paulo
Carbono %	83,8	82,9	86,8	86,5	85,4
Hidrogênio %	9,9	10,4	10,9	11,5	10,9
Nitrogênio %	0,3	0,8	1,1	0,9	0,9
Enxofre %	5,2	5,4	1,0	0,9	2,1
Oxigênio %	0,8	0,3	0,2	0,2	0,7
Vanádio ppm	180	1.380	4	38	210
Níquel ppm	22	109	6	32	66

Fonte: Pavimentação Asfáltica - Formação Básica para Engenheiros

### 2.2.3. Composições de Misturas Asfálticas

É sabido que as composições de misturas, em outras palavras, a dosagem de materiais, está relacionada com a obtenção no momento do preparo da correta proporção dos componentes constituintes que serão introduzidos em uma determinada mistura. A partir disso, para uma dosagem adequada, é necessário

conhecer as quantidades dos materiais que serão utilizados, a temperatura de mistura e o procedimento que deve ser cumprido para que o resultado seja o especificado pela norma. É importante conhecer-se bem o método de dosagem e, principalmente, os impasses que surgem durante a moldagem de corpos de prova. Finalmente, deve-se chegar a soluções e alternativas que contribuirão para uma mistura dentro das especificações (SOARES,2000).

Conforme explicitado no relatório final produzido pela Autopista Litoral Sul (2014), as alterações na configuração de carregamento dos veículos comerciais, o aumento do volume da frota circulante e as características de clima específicas de cada região são fatores que têm motivado a evolução dos procedimentos de dosagem de misturas asfálticas ao longo dos anos. Assim, existem formas diferentes de compactação podendo ser por impacto, amassamento, ou vibratória, que podem resultar em amostras de diferentes formas: cilíndricas, prismáticas ou trapezoidais conforme é ilustrado na Figura 2.

**Figura 2:** Exemplos de corpos-de-prova de diversas formas e compactadores de misturas



**Fonte:** Pavimentação Asfáltica – Formação Básica para Engenheiros

Mediante o exposto, a dosagem de uma mistura asfáltica, segundo Bernucci (2010), tem consistido até os dias atuais na escolha, através de procedimentos experimentais, de um teor dito “ótimo” de ligante, a partir de uma faixa granulométrica predefinida. O teor de projeto de ligante asfáltico varia de acordo com o método de dosagem e é função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros.

O método de dosagem Marshall de misturas asfálticas é o mais difundido e utilizado mundialmente e, especialmente no Brasil. Este método foi desenvolvido no Mississippi Highway Department por Bruce Marshall em 1939, isto é, foi concebido no decorrer da 2ª Guerra Mundial como um procedimento para definir a proporção de agregado e ligante capaz de resistir às cargas de roda e pressão de pneus das aeronaves militares (BERNUCCI, 2010). O corpo de engenheiros dos E.U.A. através de extensivas pesquisas e estudos correlatos, melhorou e adicionou certas características ao procedimento do teste Marshall e desenvolveu um projeto de norma para a mistura (Asphalt Institute, 1989). Apesar da dosagem ser considerada empírica, diante da falta de aparelhagem moderna dos laboratórios brasileiros, este método torna-se de fundamental importância para o projeto de misturas asfálticas e para o controle tecnológico das mesmas (SOARES, 2000).

A partir disso, em consonância com Batista et al. (2010), o ensaio de Marshall para dosagens de misturas asfálticas é realizado, adotando-se os seguintes procedimentos:

- Determina-se inicialmente, o peso específico real do cimento asfáltico de petróleo e agregados. Quanto a faixa granulométrica a ser utilizada para o agregado, é utilizada a norma vigente mais adequada, sendo as faixas do DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte) a mais utilizadas.
- Realiza-se o ensaio, a partir de critérios de projeto para energia a ser transmitida ao pavimento, sendo, portanto, aplicada energia equivalente de compactação à mistura. A mistura com agregado asfalto é feita com restrições a viscosidade do betume que, por sua vez, limita a temperatura a ser empregada na mistura.

- Tendo-se corpos de prova moldados em diferentes teores estes serão submetidos à aplicação de esforços axiais na prensa Marshall a fim de se obter a estabilidade e a fluência das amostras.
- Obtém-se parâmetros para a determinação do teor ideal ao projeto, a partir de gráficos obtidos através da aplicação de esforços axiais à amostra, e por medidas de seu peso específico aparente. A escolha do teor ótimo pode também partir da análise de volume de vazios juntamente com a relação betume/vazios através de um método gráfico
- Observa-se, por vezes, a necessidade de verificação de parâmetros externos ao método para assegurar o resultado. São necessários limites apresentados pelo DNIT-ES 031/2004 para o volume de vazios, relação de betume/vazios, estabilidade e resistência a tração.

Diante disso, a dosagem correta de uma determinada mistura asfáltica é um procedimento importante. O teor de projeto de ligante, deve ser criteriosamente escolhido, devido à grande influência que o mesmo exerce sobre o pavimento, traduzida nas deformações apresentadas pelo revestimento asfáltico com excesso de ligante em sua constituição devido à ação do tráfego e, contrariamente, na pouca durabilidade, permeabilidade, sujeição à fissuração e baixa resistência ao desgaste superficial de um pavimento com deficiência de ligante em sua composição.

#### **2.2.4. Caracterização do Cimento Asfáltico de Petróleo**

A partir do ano de 2005, por intermédio da Resolução 019/2005 da Agência Nacional de Petróleo (ANP), foi adotada uma nova especificação para os Cimentos Asfálticos de Petróleo empregados em pavimentação (PORTUGAL, 2016).

Além da ANP e, conforme explicitado em Moraes (2018, p. 28), o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte – DNIT –, caracteriza os ligantes asfálticos segundo faixas de consistência, tipos ou graus. Essa faixa padronizada refere-se às medidas obtidas a partir de ensaios de penetração (ASTM D5, 2005; NBR 6576, 2007). A partir disso e, como é possível observar através da Tabela 2, os Cimentos Asfálticos de Petróleo são classificados em 30-45, 50-70, 85-100 e 150-200, através da medição, em décimos de milímetros, da profundidade que

a agulha penetra durante 5 segundos em uma amostra de ligante a temperatura de 25°C - temperatura essa considerada a temperatura média do pavimento em serviço.

**Tabela 2:** Caracterização dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por Penetração

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS		
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950	E 102	ME 004/94
a 135 °C, mín		192	141	110	80			
a 150 °C, mín		90	50	43	36			
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60			
OU								
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402	
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155			
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81			
a 177 °C, SP 21		76 - 285	57 - 285	28 - 114	28 - 114			
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)			
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92	ME 149/94
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min							D 2872	
Variação em massa, máx (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5			
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36	
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5	ME 003/99

**Fonte:** Norma DNIT 095/2006 – EM Cimento Asfáltico de Petróleo – Especificação de Material

Diante do exposto, os ensaios de caracterização especificados através das normas citadas acima são: penetração, viscosidade, ponto de amolecimento, ductilidade, solubilidade, durabilidade, ponto de fulgor e massa específica. Além disso, como forma de complementação aos ensaios citados, são efetuados ensaios reológicos que se fundamentam na metodologia SUPERPAVE. Essas análises utilizam vários equipamentos, dentre estes o reômetro de cisalhamento dinâmico (DSR) e não apenas ensaios empíricos (MOTHÉ, 2009, citado por FERREIRA, 2018 p. 28).

Conforme Airey (2003), citado por Cavalcante (2016, p.41), o desenvolvimento de estudos acerca da reologia do material asfáltico se faz importante no entendimento das reações apresentadas pelo ligante, quando submetido à carregamentos diversos. Conseqüentemente, as propriedades reológicas do ligante asfáltico são definidas em função da sua resposta à tensão/deformação/tempo/temperatura.

Diante desse aspecto e, em consonância com Shenoy (2001), apud Faxina (2006), citado por Cavalcante (2016, p.41), ocorrem três razões pelas quais é possível identificar essa importância no estudo reológico mencionado:

1. Possibilidade de diferenciar ligantes asfálticos obtidos de diferentes petróleos e por diferentes processos de refino;
2. Orientação da seleção das temperaturas para as operações de usinagem e construção das camadas asfálticas;
3. Determinação de como as propriedades reológicas se relacionam com os defeitos do pavimento.

As propriedades reológicas dos ligantes asfálticos, as quais evidenciam características de escoamento e deformações apresentadas pelo material, podem ser separadas em duas categorias: propriedades reológicas fundamentais e propriedades reológicas empíricas. As empíricas correspondem às medidas obtidas de ensaios de natureza puramente experimentais, dentre as quais as mais comuns são as medidas de penetração, de ponto de amolecimento, de viscosidade Saybolt Furol, de resiliência, de ductilidade e de retorno elástico. As fundamentais são fornecidas por ensaios que determinam propriedades fundamentais, como viscosidade aparente, medida no viscosímetro rotacional (Brookfield), viscosidade cinemática, medida no viscosímetro capilar, módulo complexo, ângulo de fase, módulo de armazenamento, módulo de dissipação e viscosidade complexa, medidas no reômetro de cisalhamento (DSR), rigidez sob baixas temperaturas e taxa de relaxação sob baixas temperaturas, obtidas no reômetro de flexão em viga (BBR) (FAXINA, 2006, citado por PORTUGAL, 2016 p.24).

Por fim, Corroborando com Shenoy (2001), apud Faxina (2006), citado por Cavalcante (2016, p.41), é possível concluir que o comportamento viscoelástico dos ligantes asfálticos, sob diferentes níveis de tensão e de temperatura, deve ser compreendido para que as caracterizações relativas ao desempenho estejam

diretamente relacionadas aos defeitos do pavimento. Esse último, definido como importante objeto de estudo no campo de planejamento, construção e manutenção de estradas de rodagem brasileiras.

### **2.2.5. Análise Térmica de Ligantes Asfálticos Modificados**

Segundo Anitelli (2013), a temperatura é um fator muito importante nas características do ligante asfáltico, uma vez que ela altera sua viscosidade. Essa característica permite a eficiência das operações de usinagem e compactação. Dessa forma, é importante controlar a temperatura no momento da usinagem da mistura, pois somente assim o asfalto se apresenta com baixa viscosidade e consegue escoar e recobrir mais facilmente a superfície do agregado.

A partir disso, o asfalto deve envolver e conectar os agregados, não se descolar e resistir à ação do clima e da água. A viscosidade, dentre os fatores relacionados ao asfalto, é a característica mais frequentemente ligada ao fenômeno de adesão e absorção. Pode ser compreendida como uma medida de mobilidade molecular, a qual quantifica a magnitude das forças atrativas em líquidos e é influenciada diretamente pela temperatura (MAZIDJADEH, BROVOLD, 1968, citado por ANITELLI, 2013).

Em consonância com o mesmo autor mencionado anteriormente, as forças intermoleculares diminuem em temperaturas mais altas e, conseqüentemente, isso implica em aumento do poder de molhagem. Esse processo é o que permite que o asfalto consiga cobrir uma área maior de superfície do agregado. Em contrapartida, se aquecido a temperaturas mais altas que as recomendadas, ocorre a queima de componentes do asfalto e a mistura apresenta um enrijecimento em sua estrutura maior (ANITELLI, 2013).

Diante das informações explicitadas, é possível verificar a importância de ser efetuado o levantamento de estudos relacionados à susceptibilidade térmica do ligante asfáltico ou, em outras palavras, o seu comportamento reológico, lançando mão de análises térmicas minuciosas, efetuadas em condições controladas, através de ensaios prescritos em norma, para que assim sejam evitados problemas a posteriori relacionados ao desempenho do pavimento, como deformação permanente em função da baixa consistência apresentada pelo material, sob altas temperaturas ou, em cenários contrários, o estabelecimento de trincas na estrutura devido à elevada rigidez do corpo asfáltico, sob baixas temperaturas.

É sabido que cerca de 5% da mistura asfáltica é composta de asfalto, como também, o bom desempenho da lâmina asfáltica em serviço está diretamente relacionado ao bom desenvolvimento da adesão agregado/asfalto e, por consequência, da coesão da mistura. Dessa forma, pode-se utilizar, também, a alternativa da modificação do asfalto com o intuito de melhorar as características de adesão e coesão demandadas (ANITELLI, 2013).

O asfalto modificado pode ser definido como o produto da dissolução ou incorporação de aditivos que apresentem estabilidade ao longo do tempo, bem como estabilidade às variações de temperatura submetidas. São adicionados ao material asfáltico para modificar suas propriedades físicas e reológicas (ANGUAS et al., 2004, citado por LIMA, 2008 p. 26). Em concordância com o mesmo autor, o grau e o tipo de melhoramento da estrutura do material asfáltico dependerão da interação asfalto-modificador, ressaltando que um só modificador não pode obter todas as melhorias no desempenho das misturas asfálticas modificadas. As possíveis melhorias podem ser listadas conforme a seguir:

- Redução da susceptibilidade térmica;
- Aumento da coesão interna;
- Melhoria da elasticidade e flexibilidade à baixas temperaturas;
- Melhoria no comportamento à fadiga;
- Aumento da resistência ao envelhecimento;
- Redução da deformação permanente;

A partir disso, o desenvolvimento de pesquisas de cunho científico e tecnológico acerca de análises térmicas de Cimentos Asfálticos de Petróleo modificados por aditivos, visa à obtenção de um maior conhecimento acerca das soluções práticas relacionadas à prevenção da formação de defeitos acentuados e prejudiciais à estrutura asfáltica, como também, almeja atingir patamares ótimos em suas propriedades gerais, atendendo conseqüentemente à crescente demanda no cenário nacional de aplicação de ligantes asfálticos mais eficientes nas estradas em serviço que delineiam o Brasil.

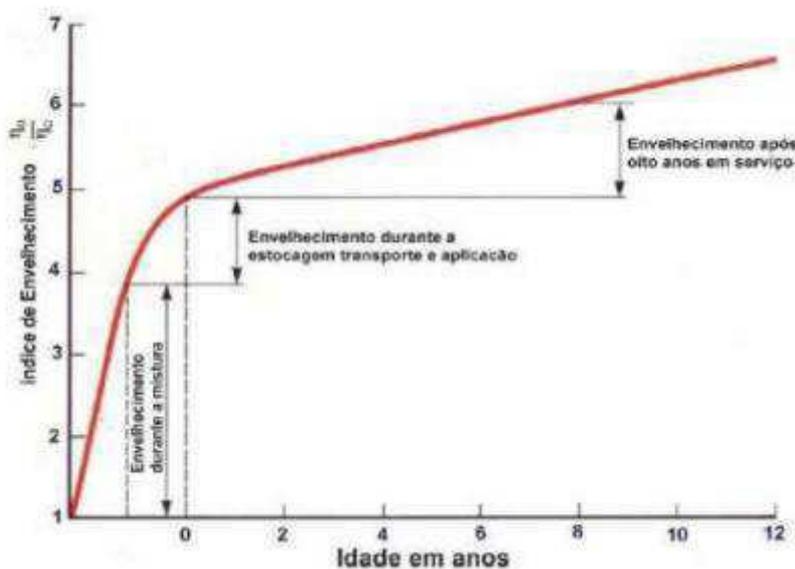
### 2.2.6. Envelhecimento da Mistura Asfáltica

Um dos fatores que influencia o desempenho e as características físicas, químicas e reológicas do ligante asfáltico é o fenômeno conhecido como envelhecimento. Fatores como: oxidação, volatilização, polimerização e tixotropia, assim como, os efeitos da luz, água e reações químicas com os agregados contribuem para este processo. O envelhecimento ocorre durante todas as fases de estocagem, usinagem, transporte, manuseio, aplicação e vida de serviço do ligante, acarretando aumento da sua consistência e tornando-o mais quebradiço, menos dúctil e, conseqüentemente, proporcionando a ocorrência do aumento da viscosidade (MORILHA, 2004; ZEGARRA, 2007, citado por CAVALCANTE, 2016).

A partir disso, separa-se o envelhecimento em duas fases: o envelhecimento a curto prazo e o envelhecimento a longo prazo. O primeiro é vinculado à exposição ao ar e ao calor durante a produção da mistura asfáltica, o segundo, por sua vez, desenvolve-se ao longo da vida útil da camada asfáltica. No envelhecimento a curto prazo, volatilização e oxidação ocorrem em paralelo. A volatilização é um fenômeno predominantemente físico, que se expressa na perda de componentes voláteis do ligante asfáltico e é comumente avaliada através de medidas de perda de massa. Por outro lado, a oxidação é um fenômeno de natureza química, com conseqüências mais complexas sobre o comportamento reológico do ligante asfáltico e, por esta razão, de mais difícil mensuração (NASCIMENTO; FAXINA, 2017).

De acordo com Morilha (2004), citado por Bringel (2007), o envelhecimento do ligante ocorre em três etapas: a primeira, de maior impacto, ocorre na usinagem da mistura asfáltica e representa cerca de 60% do envelhecimento; a segunda ocorre durante a estocagem, transporte, espalhamento e compactação, representando cerca de 20% do envelhecimento total; e a terceira etapa ocorre durante a vida útil do revestimento e se dá devido a ação do meio ambiente, representando cerca de 20% do envelhecimento total sofrido pelo ligante. Essas informações são corroboradas na Figura 3 explicitada a seguir, na qual é possível verificar o comportamento do material asfáltico, no que diz respeito ao processo de envelhecimento nas etapas de construção e de utilização, por intermédio da representação da curva do índice de envelhecimento, dada pela razão  $\eta/\eta_0$  -  $\eta$  é a viscosidade em uma dada condição de envelhecimento e  $\eta_0$  é a viscosidade inicial do ligante asfáltico - versus a idade em anos.

**Figura 3:** Envelhecimento do ligante asfáltico nas etapas de construção e de utilização do pavimento.



Fonte: Adaptado de (WHITEOAK, 1991, consultado em CAVALCANTE, 2016)

Como é possível observar e concluir, a elaboração de estudos acerca do comportamento do CAP sob condições de envelhecimento a curto prazo, isto é, durante o processo de usinagem e aplicação, é de extrema valia, uma vez que nessa fase ocorre o processo de envelhecimento de maior impacto, ou seja, é observado o endurecimento do material de forma mais significativa, em função da perda de voláteis e oxidação superficial (LEITE et. al. 2010, citado por CAVALCANTE, 2016).

### 2.2.7. Ligantes Modificados por Oleaginosas

A aplicação de óleos vegetais como modificadores adicionados ao processo de produção do Cimento Asfáltico de Petróleo, tem sido objeto de estudo de pesquisas de cunho científico e tecnológico recentes, uma vez que foi observado a capacidade dos óleos de provocarem mudanças positivas que proporcionam a otimização das propriedades reológicas, físicas e químicas no material asfáltico, além de ser apresentado como uma alternativa sustentável e economicamente viável.

A partir disso, Souza (2012), realizou uma pesquisa utilizando o óleo de Mamona como aditivo ao ligante asfáltico CAP 50/70. O estudo objetivou avaliar o potencial de utilização do óleo de Mamona em reduzir as temperaturas de usinagem e compactação (TUC) ao adicioná-lo ao ligante convencional CAP 50/70, em outras palavras, objetivou-se analisar a funcionalidade do óleo como material aditivo. Em

síntese, o autor conseguiu uma redução de aproximadamente 8,1°C nos processos de usinagem e compactação da mistura asfáltica, devido à adição de 5% de óleo de mamona, o que proporcionou uma mistura em termos volumétricos e mecânicos satisfatórios, indicando que “o óleo de mamona” se mostra como um aditivo promissor para as misturas asfálticas usinadas a quente” (SOUZA, 2012, citado por Cavalcante, 2016).

Outra pesquisa que pode ser mencionada foi a realizada por Costa et al. (2015), na qual é analisada a influência da adição do óleo de linhaça nas propriedades apresentadas pelo Cimento Asfáltico de Petróleo. Resumidamente, as amostras que continham o óleo como aditivo modificador, apresentaram uma significativa redução em sua viscosidade e temperaturas de trabalhabilidade, assim a mistura obteve uma redução na sua temperatura de usinagem e compactação, mantendo as características do CAP. Portanto, o acréscimo de óleo de linhaça ao CAP 50/70, configura-se, também, como uma excelente alternativa para tornar a usinagem e aplicação deste ligante mais econômica (COSTA et. al., 2015).

Outro exemplo verificado de pesquisa com oleaginosa foi realizada por Silveira et. al. (2014) que avaliaram as propriedades reológicas sob altas temperaturas de ligantes asfálticos modificados com óleo da moringa. Os autores concluíram que o CAP Puro apresenta penetração e ponto de amolecimento compatíveis com a sua classificação. A adição sucessiva de óleo de moringa ao CAP Puro teve como resultados a diminuição do ponto de amolecimento e aumento da penetração. A adição de óleo nas misturas até o valor de 1% apresentou valores de penetração e ponto de amolecimento compatíveis com o CAP Puro. Isto indica que o acréscimo de óleo de moringa possui limitações, as quais são responsáveis por assegurarem as propriedades aceitáveis dos ligantes modificados. Para a porcentagem de 7%, além de não ser possível obter resultados para a penetração, o ponto de amolecimento ocorreu em baixa temperatura. Esta, em alguns lugares, está próximo da temperatura média ambiente, o que inviabiliza a aplicação deste teor de mistura (SILVEIRA et. al., 2014, citado por CAVALCANTE, 2016).

Diante do exposto, a realização de estudos acerca da utilização de óleos vegetais como aditivos funcionais para obtenção de propriedades ótimas no ligante asfáltico é realidade no cenário atual, uma vez que esse modificador atende a necessidade da atual busca por alternativas práticas, sustentáveis e economicamente favoráveis.

### 2.2.8. Olho de Copaíba

Segundo Lloyd (1898), o óleo-resina é extraído da árvore da copaíba, apresentando uma cor que varia de amarelo ouro a marrom, dependendo da espécie. Esse mesmo óleo tem sido utilizado desde a época da chegada dos portugueses ao Brasil, na medicina tradicional popular e silvícola para diversas finalidades, e hoje se encontra como um dos mais importantes produtos naturais amazônicos comercializados, sendo também exportado para Estados Unidos, França, Alemanha e Inglaterra (Veiga Junior & Pinto, 2002).

A origem do nome copaíba relaciona-se ao tupi “cupa-yba”: a árvore de depósito, ou que tem jazida, em referência ao óleo armazenado em seu interior. Popularmente conhecidas como copaibeiras ou paud’óleo, as espécies de copaíba são largamente distribuídas nas regiões amazônica e centro-oeste do Brasil, sendo o óleo de copaíba extraído de várias espécies de *Copaifera* (*Leguminosae-Caesalpinioideae*). No território brasileiro ocorrem mais de vinte espécies (CASCON et al., 2000, citado por FERREIRA, 2018). Através da Figura 4, é possível observar a árvore pertencente à espécie *Copaifera Langsdorffii*, na qual é retirado o óleo de copaíba - objeto de estudo do presente trabalho.

**Figura 4:** Árvore da Copaíba (*Copaifera Langsdorffii*)



Fonte: Sítio da Mata Bambus

Conforme Cascon (2004), o óleo-resina é proveniente de canais esquizo-lizígeos que funcionam como secretores, localizados em todas as partes da árvore. São canais formados pela dilatação de espaços intercelulares (meatos). O caráter mais saliente desse aparelho está no lenho, onde os canais longitudinais, distribuídos

em faixas concêntricas, nas camadas de crescimento demarcadas pelo parênquima terminal, reúnem-se com traçados irregulares em camadas lenhosas muitas vezes sem se comunicarem (ALENCAR, 1982). Há exsudação das árvores de *Copaifera* em condições patológicas (Brito et al., 2005), sendo então o óleo, segundo Alencar (1982), produto da desintoxicação do organismo vegetal, e que funciona como defesa da planta contra animais, fungos e bactérias.

Diante do exposto e, em consonância com Veiga Junior & Pinto, (2002) é possível concluir que o óleo-resina pode ser obtido através da perfuração no tronco da copaibeira e, uma técnica específica tem sido destacada como a única prática não agressiva e, é hoje a mais utilizada, consistindo na perfuração do tronco com um trado de aproximadamente 2 metros de diâmetro em dois furos. O primeiro deve ser feito 1 metro acima da base da planta e o segundo de 1 a 1,5 metros acima do primeiro. Insere-se então um cano de PVC de 3/4 de polegada nos orifícios, por onde o óleo escoar, e reserva-se o óleo. Após a finalização da extração, veda-se o orifício para proteção contra fungos e cupins com o uso de argila ou tampa vedante de plástico, sendo ambas de fácil retirada para posteriores colheitas de óleo com maior facilidade de manipulação (OLIVEIRA et al., 2006; RAMOS, 2006).

É importante destacar que a produção anual por árvore pode chegar, segundo alguns autores, a 50 litros/árvore (MATTA, 1913; GRIEVE, 1995). A média de retirada de óleo, por vez para cada árvore, varia de 0,3 a 3 litros, dependendo da espécie e condições às quais está submetida, e algumas árvores podem chegar a fornecer até 30 litros em uma só retirada. Não há, porém, estudos definitivos sobre o tempo necessário para uma copaibeira recompor o óleo extraído. Sabe-se também que não se extrai óleo de todas as árvores de copaíba, mas não existem estudos precisos da média de árvores efetivamente fornecedoras de óleo, o que pode variar de acordo com as características do solo, clima, espécie da *Copaifera* e época seca ou chuvosa (Rigamonte Azevedo et al., 2004).

O óleo de copaíba tem sido utilizado extensivamente em diversas funções, tais como combustível, na indústria de perfumes, na indústria de vernizes, solventes em pinturas de porcelanas, aditivo na confecção de borracha sintética, aditivos de alimentos, na indústria de cosméticos, além de ser usado na medicina popular, indígena e na indústria farmacêutica. A partir dessas informações, é possível constatar, através dessa diversificada funcionalidade do óleo-resina, que a execução de estudos científicos acerca da utilização do material como possível aditivo

modificador da estrutura asfáltica se faz interessante, uma vez que o CAP modificado pelo óleo poderá apresentar propriedades melhoradas quando comparadas ao CAP puro, atendendo, portanto, a demanda atual por um asfalto mais eficiente durante o seu tempo de serviço.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1. Materiais

Os materiais utilizados na pesquisa foram:

##### 3.1.1. Ligante asfáltico

O ligante asfáltico utilizado como objeto de estudo para a pesquisa foi doado pela empresa JBR Engenharia LTDA, classificado como CAP de penetração 50/70, convencional. A amostra foi denominada de “Ligante Puro”.

##### 3.1.2. Óleo de Copaíba

O óleo de copaíba, como aditivo oleaginoso, foi facilmente adquirido na feira central em Campina Grande/PB. A Figura 5 ilustra o óleo de copaíba utilizado neste estudo.

**Figura 5:** Óleo de Copaíba



Fonte: <https://www.naturezadivina.com.br/oleo-de-copaiba-667.html>. Acesso em 07/06/2019.

## 3.2. Métodos

A Figura 6 ilustra o fluxograma das etapas da pesquisa.

**Figura 6:** Fluxograma das etapas das pesquisas



### 3.2.1. Procedimento de mistura

A produção do ligante modificado ocorrerá a partir da adição de teores do óleo de copaíba nos teores de 4 e 5% em um misturador mecânico (FISATOM, Modelo 722). Para que ocorresse a mistura do material, primeiramente as amostras de ligante puro serão aquecidas em estufa a uma temperatura de aproximadamente 120 °C. Posteriormente este ligante será colocado em um misturador mecânica com rotações de 300 rpm. Quando atingida uma temperatura de 160 °C, serão adicionadas as percentagens de óleo de copaíba e a partir daí elevou-se as rotações para 2.000 rpm, mantendo a mistura por 30 minutos em cada um dos teores para a obtenção do material perfeitamente homogeneizado.

Passado, então, o tempo de 30 minutos de agitação, a mistura será retirada do aparelho para esfriar em temperatura ambiente e ser estocada da maneira adequada. A metodologia utilizada nestes procedimentos tomou como base trabalhos realizados por Faxina (2006) e Souza (2012).

### 3.2.2. Nomenclatura das Amostras

Na Tabela 3 encontra-se as amostras usadas na pesquisa e suas respectivas nomenclaturas para identificação.

**Tabela 3:** Nomenclatura das Amostras da Pesquisa

AMOSTRAS	NOMENCLATURAS
Ligante Puro Convencional	CAP 50/70
CAP 50/70 + 4% Óleo de Copaíba	4% Óleo de Copaíba
CAP 50/70 + 5% Óleo de Copaíba	5% Óleo de Copaíba

### 3.2.3 Caracterização Reológica Básica dos Ligantes

Foram utilizados ensaios para estabelecer as propriedades reológicas fundamentais do ligantes asfálticos puro e modificado.

A fim de caracterizar os ligantes asfálticos foram realizados os ensaios de penetração, ponto de amolecimento e viscosidade rotacional, após o procedimento de RTFO, seguindo a metodologia apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4:** Ensaios de caracterização reológicas básicas dos ligantes asfálticos

PROCEDIMENTO	METODOLOGIA
Penetração	DNIT 155/2010-ME
Ponto de amolecimento	DNIT 131/2010-ME
Viscosidade Rotacional	ABNT NBR 15184
Envelhecimento a curto prazo	ABNT 15235/09

### 3.2.4 Ensaio de Penetração

Segundo DNIT (2010), penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra verticalmente na amostra de material sob condições prefixadas de carga, tempo (5 segundos) e temperatura (25°C).

O procedimento será realizado para se obter três medidas individuais de penetração, a média é aceita se a diferença entre as medidas desses. A Figura 7 mostra o equipamento utilizado para a realização desse ensaio.

**Figura 7:** Aparelho utilizado para realização do ensaio de penetração.



### 3.2.5 Ponto de Amolecimento

O ponto de amolecimento é uma medida empírica determinada pela menor temperatura na qual uma esfera metálica passa por um anel, ambos padronizados, preenchido com o material betuminoso e percorre uma determinada distância, sob condições pré-estabelecidas. É um método desenvolvido para medir a temperatura na qual o asfalto possui uma determinada consistência.

Neste ensaio, duas bolas de aço com peso e dimensões especificadas são posicionadas no centro de um anel metálico padronizado, cada. O conjunto é colocado dentro de um béquer contendo água à temperatura normal. Aquece-se a água contida no béquer a uma taxa controlada a fim de provocar o amolecimento do ligante asfáltico. Ao amolecer, o ligante não suporta mais o peso da bola, fazendo com que

as esferas se desloquem para o fundo do béquer e, ocorrendo isso, anota-se a temperatura na qual as esferas tocam a placa do fundo do conjunto padrão de ensaio. Caso a diferença de temperatura entre as duas amostras exceda 2°C, tem-se a necessidade de realizar novamente o ensaio.

### **3.2.6 Viscosidade Rotacional**

O ensaio de viscosidade rotacional permite determinar a viscosidade dos ligantes e suas propriedades de consistência. É utilizada nas análises relacionadas com as operações de bombeamento e a estocagem dos ligantes asfálticos. A partir dos dados obtidos neste ensaio foi possível obter-se a curva viscosidade-temperatura.

Utilizou-se um controlador de temperatura, juntamente ao viscosímetro rotacional, o qual permitiu fazer a medição do torque necessário para que a haste de prova (spindle) rodasse ao ser mergulhado no ligante à temperatura, resistência à penetração e ponto de amolecimento já definidos, sob velocidade constante e uniforme. A rotação obtida determinou uma força necessária para vencer a resistência que a viscosidade do material fluido oferece ao movimento rotacional. O ensaio foi realizado nas temperaturas de 135°C, 150°C e 177°C.

### **3.2.7 Determinação das propriedades térmicas dos ligantes**

#### **3.2.7.1. Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)**

As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) do ligante puro e do ligante modificado por adição de óleo de copaíba serão realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5°C/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas será de 1000°C e o padrão utilizado nos ensaios de DTA será o óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) calcinado. A Figura 8 ilustra o equipamento utilizado para realização do ensaio.

**Figura 8:** Equipamento utilizado para realização do ensaio de DTA e TG



#### 3.2.7.2. Calorimetria Diferencial Exploratória

Para a calorimetria exploratória diferencial (DSC), será utilizado o equipamento DSC-60A, Shimadzu. As curvas DSC foram obtidas em atmosfera de nitrogênio com vazão constante de  $50 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}$ , utilizando-se uma cápsula de alumínio prensada. Serão usados aproximadamente 2 mg da amostra, e procedeu-se à análise da temperatura inicial de  $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$  até a temperatura máxima de  $450 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , com taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}$

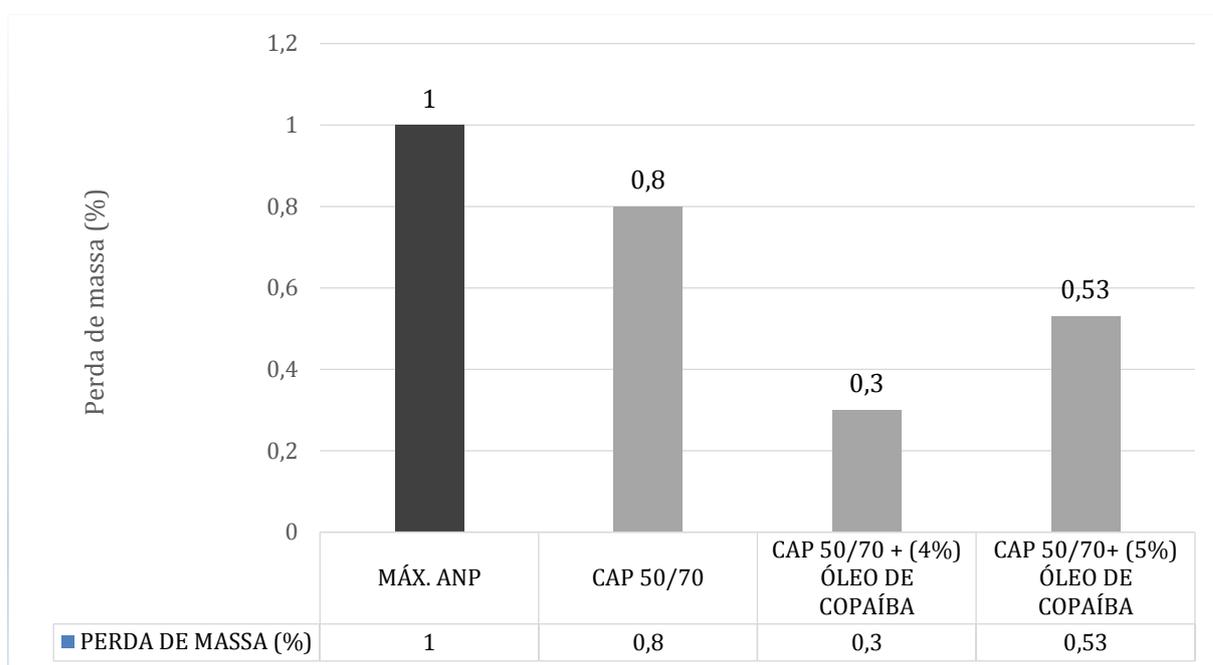
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Caracterização Reológica Básica dos Ligantes

#### 4.1.1 Procedimento de Envelhecimento a curto prazo

O Gráfico 4, apresenta os resultados obtidos para a perda de massa do ligantes puro e modificados após o envelhecimento.

**Gráfico 4:** Perda de massa



De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que os teores de adição de 4% e 5% permitiram obter perda de massa que atende aos critérios estabelecidos pelas especificações Superpave, os valores alcançados não ultrapassaram 1%.

Conforme resultados obtidos verifica-se que o ligante asfáltico puro apresentou a maior perda de massa. Para o ligante modificado obteve-se uma redução da perda de massa da ordem de 62% e 34% respectivamente, no entanto observa-se que o aumento do teor de óleo de copaíba ao ligante asfáltico contribuiu para intensificação da perda de massa. Este fato se deve a uma maior volatilização sofrida pelo ligante ocasionada pela perda de elementos voláteis em sua constituição.

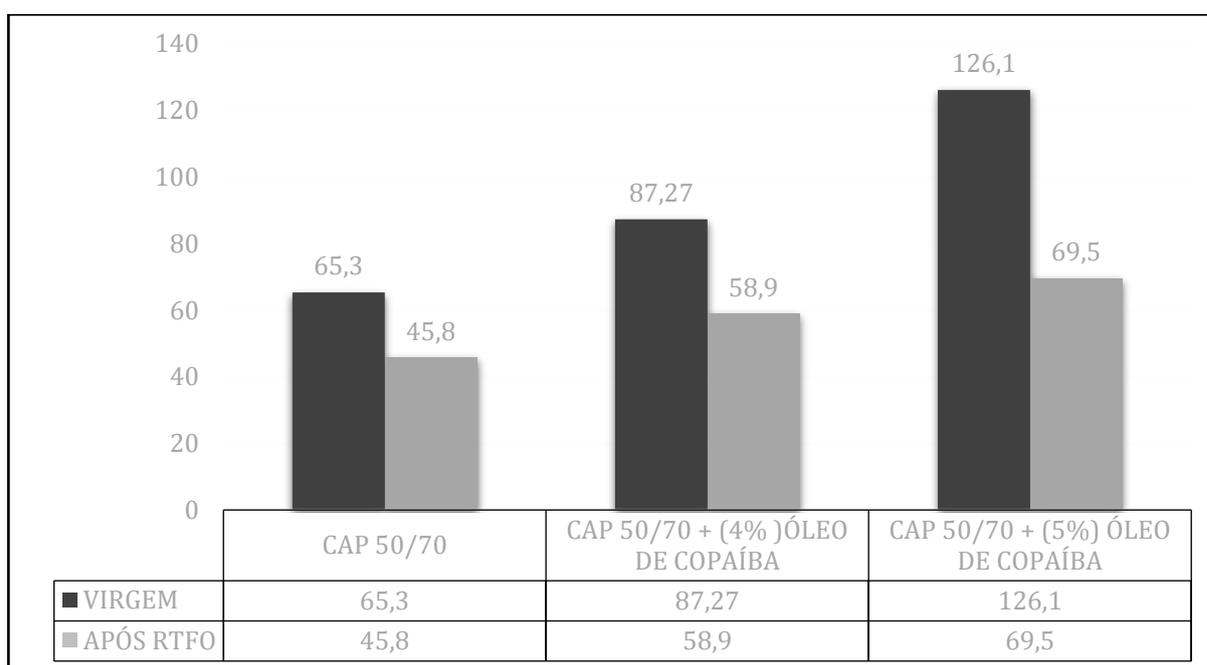
Deste modo, pode-se destacar que a modificação do ligante com o óleo de copaíba mostrou-se benéfica por oferecer menor perda de massa em comparação com o ligante puro.

Tayth et al. (2014) observaram em seu estudo que quanto maior o teor do óleo, mais sujeito ao envelhecimento estará o ligante por ele modificado em razão da solubilização de parte da fração asfáltica.

#### 4.1.2 Ensaio de penetração

A resolução nº 19 da Agência Nacional de Petróleo - ANP (2005) estabelece uma faixa de classificação para os valores da penetração dos ligantes CAP 50/70, 50 a 70 décimos de milímetro, esse intervalo está ilustrado no Gráfico 5 para os resultados obtidos no ensaio de penetração das amostras antes e após o envelhecimento a curto prazo-RTFO.

**Gráfico 5:** Ensaio de penetração



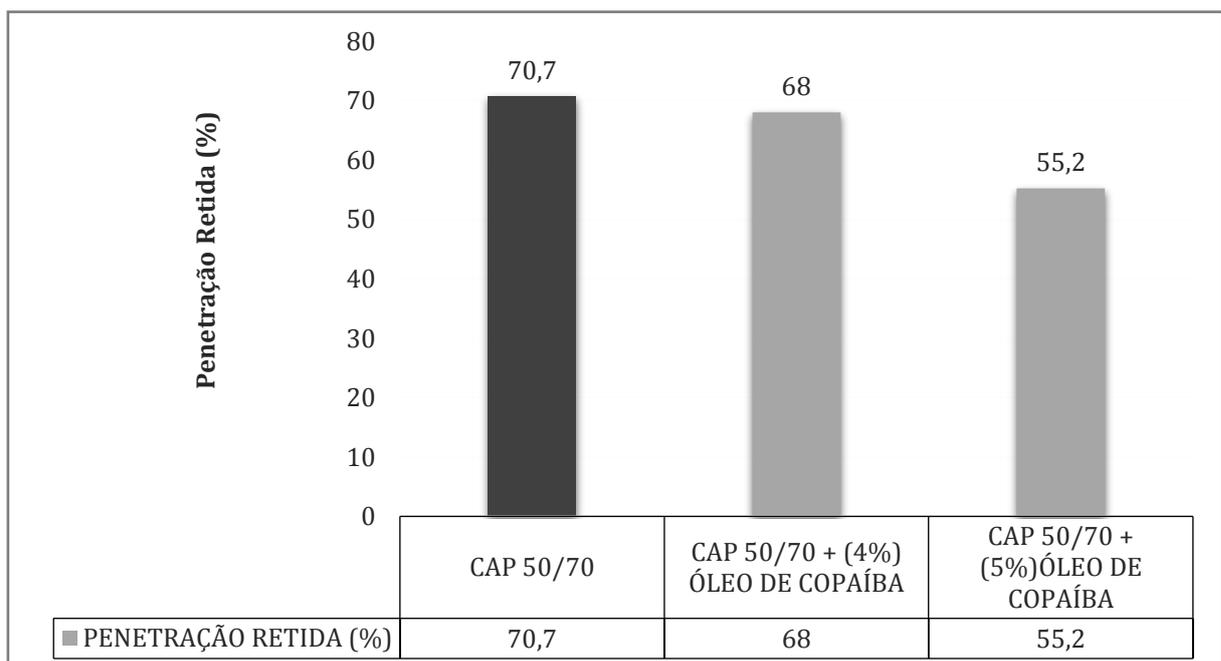
De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que a adição de óleo de copaíba contribuiu para o aumento crescente na penetração do ligante, corroborando os resultados obtidos por Costa (2015) e Portugal (2016) que analisaram o efeito da

adição de modificadores oleicos a ligantes asfálticos, e indicaram a redução da rigidez do ligante com o aumento crescente da adição do agente modificador.

Baseado nos parâmetros proposto pela Resolução ANP n° 19/2005 tanto o ligante asfáltico puro como o ligante modificado por adição de óleo de copaíba atenderam ao critério da especificação e se enquadraram no intervalo estabelecido pela norma.

Observa-se que após o procedimento de envelhecimento a curto prazo, ocorreu uma redução maior da penetração para os teores em estudo indicando uma elevação da dureza do material provocada pela oxidação que ocorreu com a amostra ao decorrer do procedimento. De acordo com Bulatovic *et al.* (2014), o aumento de dureza do ligante asfáltico após o processo é proveniente do aumento de asfaltenos do ligante envelhecido, modificando assim a sua composição química. Sob esse aspecto Silva (2011) avalia os resultados em termos de penetração retida que mede a capacidade que um ligante possui de manter sua característica de penetração após o procedimento de envelhecimento em estufa RTFO. Segundo a ANP 32/2010, este valor deve ser de no mínimo 60%, ou seja, quanto mais próximo de 100%, menor será a sensibilidade do ligante ao envelhecimento e, portanto, maior será a sua resistência a oxidação. Esses resultados obtidos para o ligante em estudo estão apresentados na Gráfico 6.

**Gráfico 6:** Penetração Retida

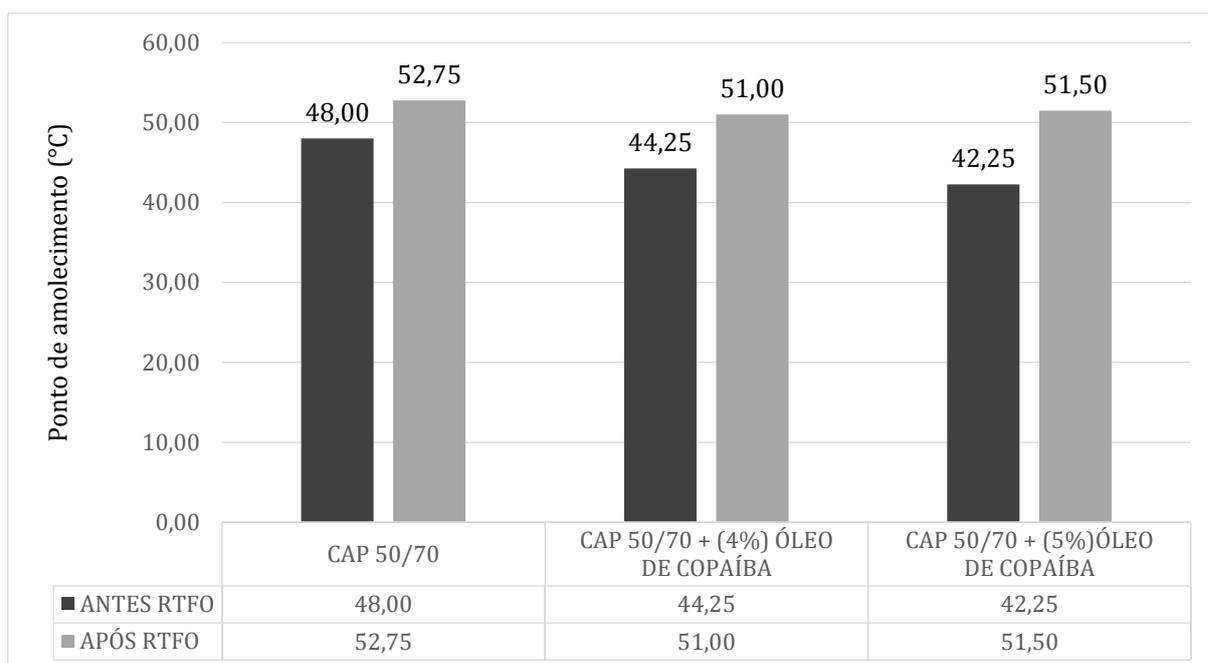


Conforme resultados ilustrados no Gráfico 6 verifica-se que os valores obtidos para o ligante modificado com óleo de copaíba foram inferiores aos alcançados para o CAP 50/70 puro. Conseqüentemente, a sensibilidade do ligante aumentou com a adição de óleo de copaíba, desta forma, observou-se que a modificação tornou o ligante mais susceptível ao envelhecimento.

#### 4.1.3 Ponto de amolecimento

O Gráfico 7 ilustra os resultados obtidos para o ponto de amolecimento do ligante asfáltico puro e modificado por adição de óleo de copaíba antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO.

**Gráfico 7:** Ensaio de ponto de amolecimento



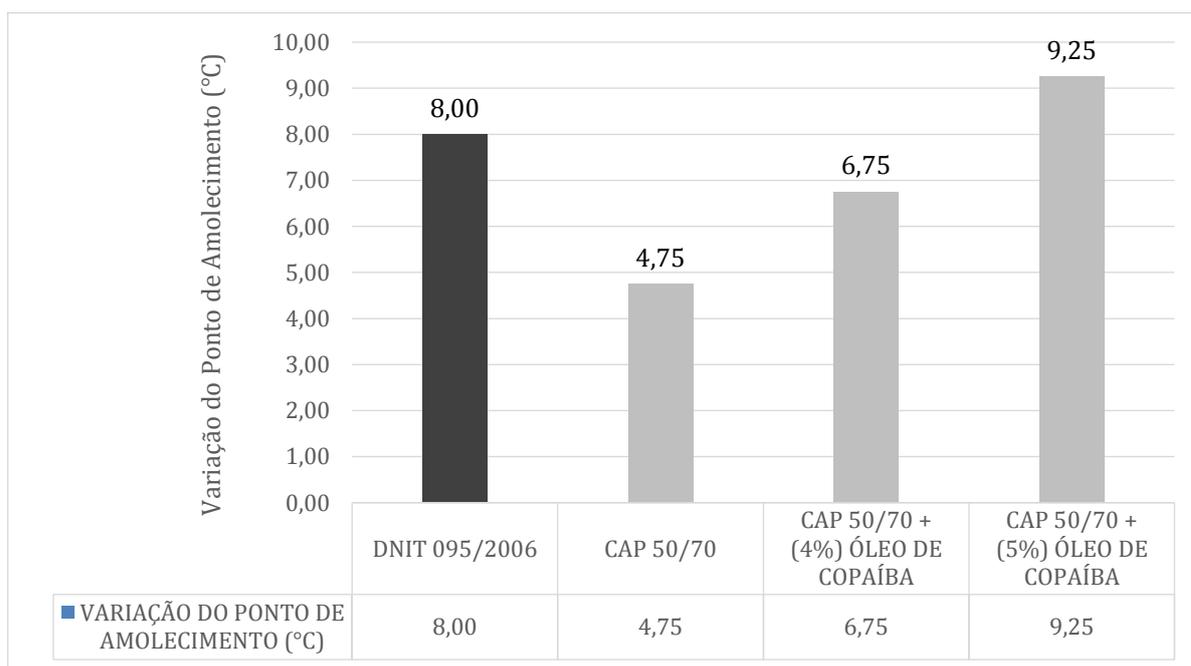
De acordo com os resultados expostos no Gráfico 7, observa-se que houve uma tendência a diminuição do ponto de amolecimento para o ligante modificado com óleo de copaíba, para as condições antes e após envelhecimento a curto prazo-RTFO quando comparado ao ligante puro. Este fato reitera a afirmação de que a adição do óleo contribui para a diminuição da rigidez conforme verificada para a penetração, destacando-se o teor de 5% de adição de óleo de copaíba ao ligante antes do

envelhecimento a curto prazo, onde obteve menor temperatura do ponto de amolecimento.

A resolução da ANP nº 19 /2005 estabelece o limite mínimo para os valores de ponto de amolecimento para o CAP 50/70, que é uma temperatura de 46°C na condição normal. Dessa forma, pôde observar que a adição de 4% e 5% de óleo de copaíba antes do envelhecimento indicaram um valor inferior ao estabelecido pela norma.

A norma DNIT 95/2006 – EM determina que após o procedimento RTFO, a variação do ponto de amolecimento não deve ultrapassar um máximo de 8°C quando comparado ao ligantes antes do envelhecimento a curto prazo. O Gráfico 8 apresenta a variação desse parâmetro e nota-se que apenas para o teor de adição de 5% de óleo de copaíba não se enquadra dentro dos parâmetros normativos.

**Gráfico 8:** Variação do ponto de amolecimento



Existe uma relação entre o ponto de amolecimento e a penetração, sendo estes dois parâmetros inversamente proporcionais, pois um indica rigidez da mistura e outro a suscetibilidade do material a mudanças de temperatura. Na medida em que a carga particulada é adicionada ao ligante, este torna-se mais resistente a variações térmicas. No campo, isto reflete na maior resistência do material tornar-se fluido, o

que contribui para a resistência a deformações permanentes (MARINHO FILHO, 2017).

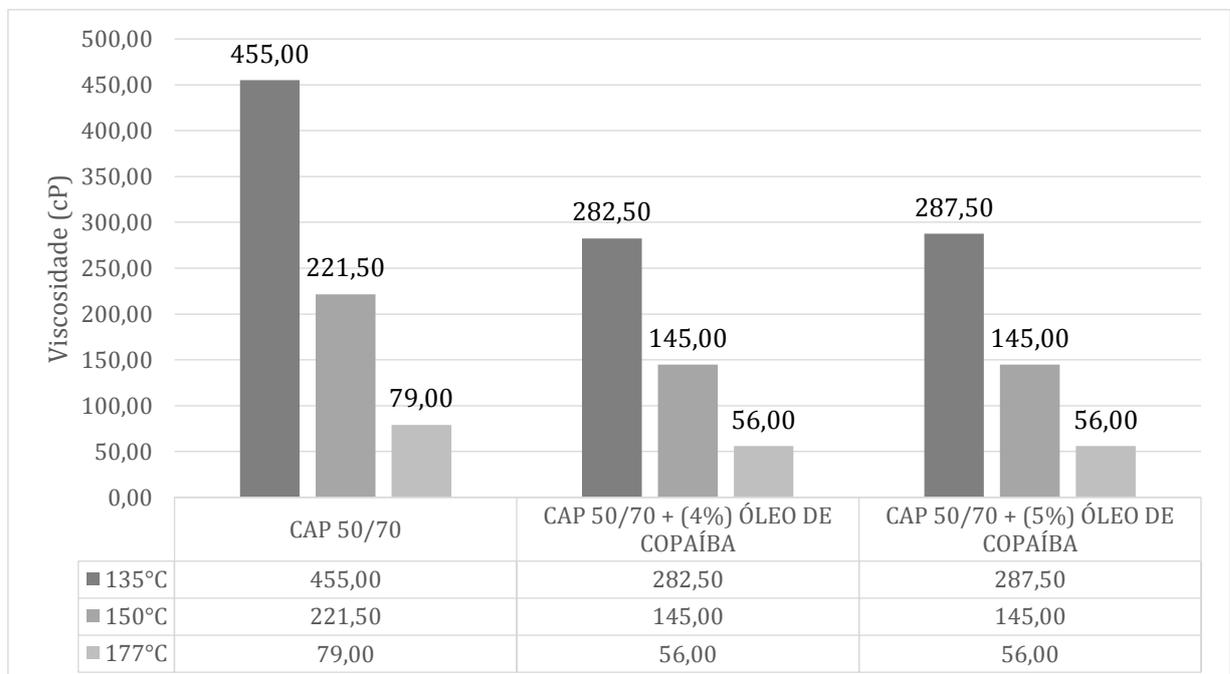
Lucena et al. (2016), estudaram a alteração das propriedades de consistência do ligante asfáltico com a adição de óleo de moringa nos teores de 0% a 3% e verificaram que o ligante puro teve como resultados a redução do ponto de amolecimento em função da modificação da sua viscosidade.

Estudos realizados por Zargar et al. (2012) também indicaram uma redução dos valores do ponto de amolecimento em relação ao ligante puro, diante do aumento do teor adicionado de óleo de cozinha residual

#### 4.1.4 Ensaio de viscosidade rotacional antes do envelhecimento a curto prazo - RTFO

O Gráfico 9 ilustra os resultados obtidos para o ensaio de viscosidade rotacional do ligante em estudo antes do envelhecimento a curto prazo.

**Gráfico 9:** Ensaio de viscosidade rotacional antes do envelhecimento a curto prazo-RTFO



Conforme resultados obtidos verifica-se que a adição do óleo de copaíba nos teores estudados contribuiu para a diminuição das viscosidades com relação ao CAP

puro, influenciando nas Temperaturas de Compactação e Usinagem (TCU), que por sua vez está relacionada com a trabalhabilidade do ligante.

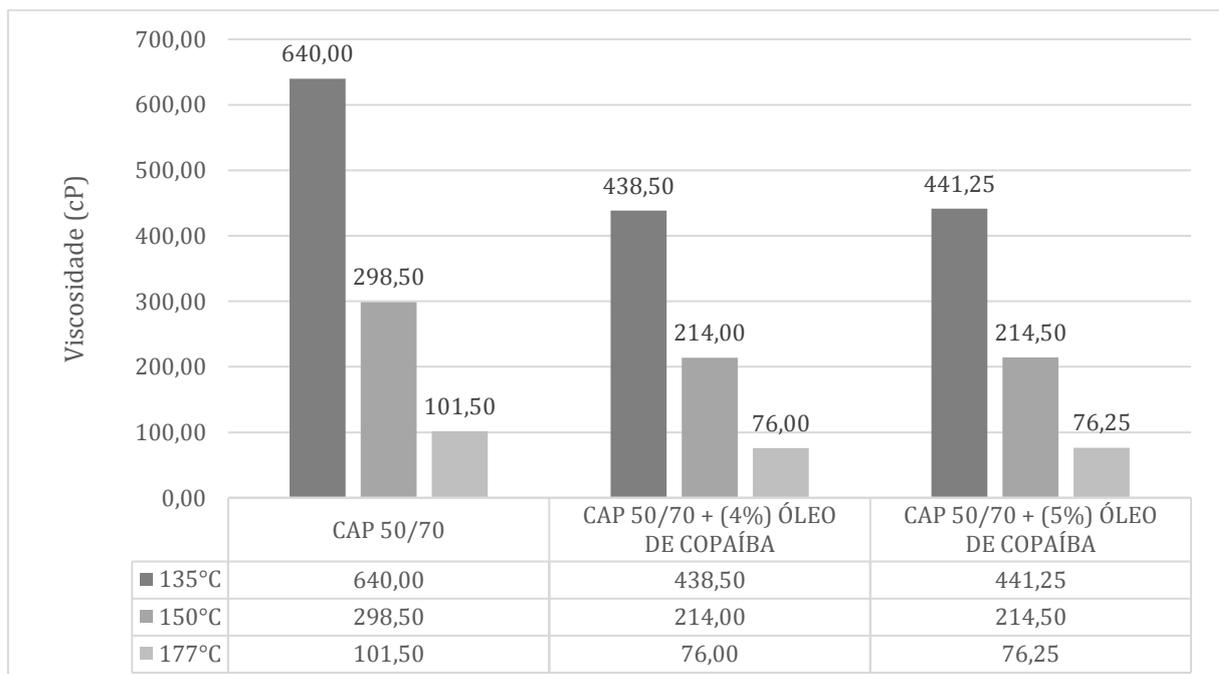
Observa-se que o comportamento do ligante modificado por adição do óleo de copaíba apresentou em todas as temperaturas uma menor viscosidade quando comparado ao ligante puro, considerando-se a diferença entre eles na temperatura de 135°C chegou a ser de 170 cP ou 37% aproximadamente, e finalizou na temperatura de 177°C em 23 cP ou 29%.

Este comportamento confere uma redução nas temperaturas de mistura e compactação. Ribeiro (2011) obteve resultados semelhantes quando estudou a incorporação do Líquido da Castanha de Caju (LCC) ao ligante nos teores de 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0%, obtendo as maiores reduções da viscosidade para a adição de 2% do líquido.

#### 4.1.5 Ensaio de viscosidade rotacional após o envelhecimento a curto prazo - RTFO

O Gráfico 10 ilustra os resultados obtidos para o ensaio de viscosidade rotacional do ligante em estudo após envelhecimento a curto prazo.

**Gráfico 10:** Viscosidade rotacional após o envelhecimento a curto prazo - RTFO



De acordo com os resultados ilustrados no Gráfico 10, observa-se que após envelhecimento o ligante apresentou um aumento médio da viscosidade em torno de 50%, que se deve ao fato de as misturas com o ligante serem produzidas em temperaturas demasiadamente elevadas podendo levar a oxidação do ligante devido ao envelhecimento ocasionado neste processo.

Observa-se que o ligante modificado em todas as situações apresentou valores de viscosidade inferiores aos obtidos para o ligante puro, pode-se notar o mesmo padrão de semelhança entre os teores de óleo de copaíba em estudo, mesmo com o acréscimo de viscosidade advindo do processo de envelhecimento nos ligantes.

O comportamento físico do CAP modificado com óleo de copaíba manteve os padrões encontrados na literatura (ASLI et al, 2011; ASLI et al, 2012; KAMARUDDIN, et al, 2014), que utilizaram óleo residual de cozinha em seus estudos e observaram uma redução da viscosidade do CAP.

Verificou-se que as amostras estudadas aumentaram a viscosidade após o envelhecimento, conforme o esperado. A oxidação depende da temperatura e do tempo, os quais alteram a composição química das frações do CAP, o que leva a um aumento do teor de asfaltenos, devido à oxidação de resinas polares e uma diminuição na percentagem de maltenos (ASLI, 2012).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

### 5.1 Considerações Finais

De acordo com os objetivos deste estudo, pôde-se considerar que:

Em relação ao comportamento físico, o ligante incorporado ao óleo de copaíba se mostrou menos susceptível ao envelhecimento quando comparado com o ligante puro, já que ele se torna muito rígido quando submetido às condições de envelhecimento a curto prazo;

As mudanças foram mais perceptíveis a partir de um aumento do ponto de penetração e conseqüente diminuição da consistência, além de uma diminuição do ponto de amolecimento deixando assim o ligante fora dos padrões esperados. A diminuição da resistência ao envelhecimento pôde ser percebida a partir de maiores variações dessas propriedades antes e após o envelhecimento nos ligantes modificados;

Considerando a importância das temperaturas de compactação e usinagem, foi visto que o emprego do óleo de copaíba em ligantes asfálticos nos teores em estudo ocasionou uma redução da temperatura de usinagem de até 11°C, em relação ao ligante puro, como no caso da adição de 5% do óleo após o envelhecimento, o que representa 7% de perda de temperatura. A temperatura de compactação atingiu uma redução de até 9°C, isso significa que promove uma maior economia de energia durante o aquecimento do ligante asfáltico na usina, o que pode vir a trazer uma grande economia.

Deste modo, o óleo de copaíba pode ser uma alternativa viável para emprego como aditivo redutor nas temperaturas de produção, como também do consumo de combustível e emissão de poluentes, fatos estes que agradam as esferas econômicas e ambientais. Desta forma, é necessário compensar até que ponto é vantajoso ter menores temperaturas de usinagem e compactação.

## 5.2 Sugestões para pesquisas futuras

Para melhor abordagem sobre o conteúdo tratado nessa pesquisa, sugere-se realizar os seguintes estudos adicionais:

- Avaliar as propriedades reológicas dos ligante modificado por adição de óleo de copaíba antes e após envelhecimento a curto prazo;
- Estudar a interferência da adição de óleo de copaíba nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas;

## 6. REFERÊNCIAS

ALENCAR, J. **Estudos silviculturais de uma população natural de *Copaifera multijuga Hayne - Leguminosae*, na Amazônia central**. 2 – produção de óleo resina. Acta Amazônica, v.12, n.1, p.79-82, 1982.

ANITELLI, Andre. **Estudo do Dano por Umidade de Misturas Densas com Ligantes Asfálticos Convencional e Modificado com Polímero SBS**. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

ASLI, H.; KARIM, M. R. **Implementation of waste cooking oil as RAP rejuvenator**. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Malaysia. v. 9, p. 1336-1350. 2011.

ASLI, H.; AHMADINIA, E.; ZARGAR, M.; KARIM, M. R. **Investigation on physical properties of waste cooking oil – Rejuvenated bitumen binder**. Construction and Building Materials. Malaysia. n. 37, p. 398-405. 2012.

AUTOPISTA LITORAL SUL. **Avaliação de métodos de dosagem de misturas asfálticas e sua relação com as propriedades mecânicas**. [S.l.], 2014.

AZAHAR, W. N. A. W.; BUJANG, M.; JAYA, R. P.; HAININ, M. R.; MOHAMED, A.; NGADI, N.; JAYANTI, D. S. **The potencial of waste cooking oil as bio-asphalt for alternative binder – an overview**. Jurnal Teknologi. Malaysia. v. 78, n. 4, p. 111-116, 2016.

BACKX, b. p. **cimento asfáltico de petróleo puro e modificado com suas**. in: coppe ufrj, 2014.

BATISTA, Ricardo M. *et al.* **Dosagem de asfalto pelo Método Marshall**. IX MPU, [S. l.], 2010.

BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2008.

BRINGEL, Raquel Moraes. **Estudo Químico e Reológico de Ligantes Asfálticos Modificados por Polímeros e Aditivos**. 2007. 174 f. Dissertação (Mestrado em Química Inorgânica) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

BRITO, M.V.H. et al. **Copaiba oil effect on urea and creatinine serum levels in rats submitted to kidney ischemia and reperfusion syndrome**. Acta Cirúrgica Brasileira, v.20, n.3, p.243-6, 2005.

CASCON, V. Copaíba - *Copaifera spp.* In: CARVALHO, J.C.T. **Fitoterápicos antiinflamatórios: aspectos químicos, farmacológicos e aplicações terapêuticas**. Ribeirão Preto: Tecmedd, 2004. 480p.

CAVALCANTE, Fabiano Pereira. **Efeito da Adição dos Óleos de Ricinus Communis e Linus Usitatissimum nas Propriedades Reológicas do Cimento Asfáltico de Petróleo Puro e Modificado**. 2016. 301 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Universidade de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

COSTA, D. B.; Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça; CANDIDO, T. G.; RODRIGUES, J. K. G.; COUTINHO, Y. **Influência da Adição de Óleo de Linhaça no Cimento Asfáltico de Petróleo**. In: I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – I CONEPETRO, 2015, Campina Grande – PB. Anais do I Congresso Nacional de Engenharia de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – I CONEPETRO, 2015.

COSTA, D. B.; Cavalcante, F. P.; Rodrigues, J. K. G.; Mendonça, A. M. G. D.; Lira, Y. C. (2015). **Influência da adição do óleo de linhaça nas propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo**. 44° RAPV e 17° ENACOR. Maceio/AL.

DO AMARAL, Gilberto Luiz; YAZBEK, Cristiano Lisboa; OLENIKE, João Eloi. **Frota Brasileira de Veículos em Circulação**. [S. l.: s. n.], 2018.

FAXINA, A. L. **Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha.** Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). São Carlos, São Paulo, SP. 286 fls, 2006.

FERNANDES, Paulo Roberto *et al.* **Avaliação de Ligante Asfáltico Brasileiro Processado na Unidade de Negócios da Petrobrás- Lubnor Puro e Modificado com Ácido Polifosfórico.** *In:* V CONNEPI, 2010, Maceió - AL. Artigo Científico [...]. [S. l.: s. n.], 2010.

FERREIRA, Caison Matheus. **Caracterização Física Do Cimento Asfáltico De Petróleo Cap 50/70 Modificado Por Adição De Óleo De Copaíba,** 2018, UFCG. Monografia.

GRIEVE, M. **A modern herbal.** London: Tiger books international, 1995. 221p.

KAMARUDDIN, N. H. M.; H.; HASSAN, N. A.; ABDULLAH, M. E.; YAACOB, H. **Evaluation of pavement mixture incorporating waste oil.** Journal Teknologi. Malaysia, n. 71:3 p. 93-98, 2014.

LIMA, Cristian. **Estudo da Incorporação de Resíduo Industrial Polimérico ao CAP.** Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Tereza Neuma de Castro Dantas. 2008. 101 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2008.

LLOYD, J.U. **Copaifera officinalis.** Chicago: The Western Druggist, 1898. 13p.

LUCENA, L. C. F. L.; SILVEIRA, I. V.; COSTA, D. B. **Avaliação de ligantes asfálticos modificados com óleo da Moringa Oleífera Lam para uso em misturas mornas.** Revista Matéria, Brasil, v. 21, n. 01, p. 72-82, 2016.

MARCONDES, c. p. **avaliação das modificações químicas no cimento asfáltico de petróleo.** *in:* cbecimat, 2010. artigo científico [...]. [s. l.: s. n.], 2010.

MATTA, A.A. **Flora medica braziliense**. Manaus: Imprensa Oficial, 1913. 318p.

MORAES, Thalita Maria. **Utilização da Cera de Carnaúba como Aditivo Redutor de Temperaturas de Usinagem e Compactação de Misturas Asfálticas**. 2018. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2018.

NASCIMENTO, Thalita Cristina Brito; FAXINA, Adalberto Leandro. **Avaliação dos efeitos da radiação ultravioleta sobre propriedades reológicas de ligantes asfálticos modificados com PPA e copolímeros SBS e SBR**. TRANSPORTES, [S. l.], ano 2017, v. 25, n. 1, p. 73-81, 25 out. 2016.

OLIVEIRA, E.C.P. et al. **Identificação da época de coleta do óleo-resina de copaíba (*Copaifera spp.*) no município de Moju-PA**. Revista Brasileira de Plantas medicinais, v.8, n.3, p.14-23, 2006.

**PESQUISA CNT DE RODOVIAS** 2018. [S. l.], 25 out. 2018. *E-book*.

PORTUGAL, Antônio Carlos. **Avaliação Reológica de Cimentos Asfálticos de Petróleo Modificados Com Óleo de Soja e de Milho**. 2016. 126 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.

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.

RAMOS, M.F.S. **Desenvolvimento de microcápsulas contendo a fração volátil de copaíba por spray-drying: estudo de estabilidade e avaliação farmacológica**. 2006. 132p. Tese (Doutorado em Ciências Farmacêuticas) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

RIGAMONTE; AZEVEDO, O.C. et al. **Copaíba: ecologia e produção de óleo-resina**. Rio Branco: EMBRAPA, MAPA, 2004. 28p.

SILVA, J. P. S. **Avaliação dos efeitos de produtos rejuvenescedores em misturas asfálticas**. 2011. 145 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade de Brasília. Brasília, DF.

SOARES, J. B.; CAVALCANTE, V. T. F. **Dosagem Passo a Passo**. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, COBENGE, 2000, Ouro Preto. Anais do XXXVIII Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia, COBENGE, 2000.

SOUZA, L. J. S. **Estudo das propriedades mecânicas de misturas asfálticas com cimento asfáltico de petróleo modificado com óleo de mamona**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, Paraíba, PB, 106 fls, 2012.

VEIGA Junior, V.F.; PINTO, A.C. **O Gênero *Copaifera* L.** Química nova, v.25, n.2, p.273-86, 2002.

ZARGAR, M.; AHMADINIA, E.; ASLI, H.; KARIM, M. R. **Investigation of the possibility of using waste cooking oil as a rejuvenating agent for aged bitumen**. Journal of Hazardous Materials. Malaysia. p. 254-258. 2012.