



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

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS
ASFÁLTICAS PRODUZIDAS COM CAP MODIFICADO POR LIGNINA
PROVENIENTE DO EUCALIPTO**

Discente: Kênyo Roberto Ramos Ferreira Júnior

Orientadora: Prof. Dr^a. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Carina Silvani

CAMPINA GRANDE – PB

Junho/2019

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS
ASFÁLTICAS PRODUZIDAS COM CAP MODIFICADO POR LIGNINA
PROVENIENTE DO EUCALIPTO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPINA GRANDE – PB

Junho/2019

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

KÊNYO ROBERTO RAMOS FERREIRA JÚNIOR

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

Área de habilitação: Geotécnica

Sub-área: Pavimentação

Orientadora: Prof. Dr^a. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

Co-Orientadora: Prof. Dr^a. Carina Silvani

CAMPINA GRANDE – PB

Junho/2019

F383a Ferreira Júnior, Kênyo Roberto Ramos.
Avaliação das propriedades mecânicas de misturas asfálticas produzidas com CAP modificado por lignina proveniente de eucalipto / Kênyo Roberto Ramos Ferreira Júnior. – Campina Grande, 2019.
45 f.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2019.

"Orientação: Prof.^a Dr.^a Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça; Coorientação: Prof.^a Dr.^a Carina Silvani".

Referências.

1. Pavimentação. 2. Ligante Asfáltico. 3. Propriedades. I. Mendonça, Ana Maria Gonçalves Duarte. II. Silvani, Carina. III. Título.

CDU 625.8(043)

KÊNYO ROBERTO RAMOS FERREIRA JÚNIOR

**AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MISTURAS
ASFÁLTICAS PRODUZIDAS COM CAP MODIFICADO POR LIGNINA
PROVENIENTE DO EUCALIPTO**

A referida monografia de conclusão de curso foi apresentada às 12:00 do dia 28 de Junho de 2019, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil, na Unidade Acadêmica de Engenharia Civil, vinculada ao Centro de Tecnologias e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande. A candidata foi arguida pela banca examinadora abaixo descrita. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho:

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça
Universidade Federal de Campina Grande

Profa. Dra. Carina Silvani
Universidade Federal de Campina Grande

Profa. Dra. Aline Figueirêdo Nóbrega de Azeredo
Universidade Federal de Pernambuco

Christian Rafael Ziegler
Universidade Federal de Campina Grande

Conrado César Vitorino
Universidade Federal de Campina Grande

Campina Grande, PB
Julho de 2019.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me permitir caminhar até aqui. Porque tudo o que tenho hoje, eu já sonhei um dia. Sou imensamente grato pelo discernimento, saúde e força para levantar todos os dias até a obtenção deste grande objetivo.

Ao meu pai, meus avós, meus tios, meu irmão, meus primos e todos os meus familiares, que foram suporte e que de tudo fizeram para me propiciar alcançar essa conquista. Por sempre confiar, aconselhar e acompanhar. E principalmente por serem exemplo.

À minha companheira, Jéssica Costa, por ser um verdadeiro suporte nesta caminhada, sempre apoiando e me fazendo progredir.

À todos os meus amigos; do curso que estiveram comigo nessa jornada, pois é impossível chegar até aqui só; de infância, que seguem representando bastante, apesar das distâncias.

À grande professora Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça, a gratidão pela orientação nessa pesquisa, sempre solícita, disposta a tirar dúvidas e instruir de modo que a pesquisa estivesse sempre no rumo certo. Além da gratidão, fica a admiração pela grande pessoa e profissional.

Ao Laboratório de Engenharia de Pavimentos da UFCG, onde encontrei espaço, material e equipamentos para a realização deste trabalho. Além de ser auxiliado por várias pessoas as quais agradeço nos nomes de Christian, Jadilson e Nildinho.

A Deus, por iluminar o meu caminho, ao
meu pai, Kênyo Roberto, meus avós,
Jorge e Marlene, meus tios, Kátia,
Jorge, Katienne, Klebyo e Helena, ao
meu irmão, Matheus, aos meus primos,
à Jéssica e aos meus amigos,
DEDICO.

“A persistência é o menor
caminho do êxito”

Charles Chaplin

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Distribuição dos grupos químicos no asfalto..... | 18 |
| Figura 2: Representação genérica das estruturas químicas das frações: saturados, asfaltenos, resinas e aromáticos..... | 19 |
| Figura 3 :Estrutura Química do Betume..... | 20 |
| Figura 4: Estrutura Química da Lignina..... | 20 |
| Figura 5: Curva Granulométrica..... | 25 |
| Figura 6: Ensaio de Resistência à Compressão Diametral | 28 |
| Figura 7: Ensaio de Módulo Dinâmico..... | 29 |
| Figura 8: Ensaio de Penetração..... | 30 |
| Figura 9: Ponto de Amolecimento..... | 31 |
| Figura 10: Viscosidade rotacional..... | 32 |
| Figura 11: Resultados do ensaio de Resistência à Compressão Diametral..... | 33 |
| Figura 12: Resultados do ensaio de Módulo de Resiliência..... | 34 |
| Figura 13: Resultados da Relação da Resistência Retida à Tração..... | 35 |
| Figura 14: Curvas mestras para os ligantes puro e modificado..... | 36 |
| Figura 15: Módulo Dinâmico a 4,4°C..... | 36 |
| Figura 16: Módulo Dinâmico a 21,1°C..... | 37 |
| Figura 17: Módulo Dinâmico a 37,8°C..... | 37 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 01: Granulometria..... | 24 |
| Tabela 02: Temperaturas de Usinagem e Compactação dos ligantes asfálticos puro e modificado..... | 33 |

LISTA DE ABRVIATURAS

| | |
|-----------|--|
| AASHTO | American Association of State Highway and Transportation Officials |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| ASTM | American Society for Testing Materials |
| CAP | Cimento Asfáltico de Petróleo |
| CBUQ | Concreto Betuminoso Usinado a Quente |
| CP | Corpo de Prova |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes |
| LEP | Laboratório de Engenharia de Pavimentos |
| ME | Método de Ensaio |
| MR | Módulo de Resiliência |
| N | Número |
| NBR | Norma Brasileira Registrada |
| NM | Norma Mercosul |
| PB | Paraíba |
| RRT | Relação de Resistência Retida à Tração |
| RT | Resistência à Tração |
| SUPERPAVE | Superior Performing Asphalt Pavements |
| UFCG | Universidade Federal de Campina Grande |

RESUMO

A pavimentação asfáltica brasileira, assim como de outros países, necessita constantemente de avaliação e renovação devido à deterioração dos pavimentos, notadamente dos pavimentos asfálticos. As patologias existentes são originárias do mau uso da via devido a grandes solicitações para as quais o pavimento não foi projetado, de deficiências na execução do processo construtivo, do emprego de materiais com propriedades insuficientes para atender à necessidade, e ainda das condições climáticas atuantes, entre outras causas. A modificação de ligantes asfálticos é uma prática que visa aumentar a resistência às deformações permanentes, reduzir as trincas ocasionadas por fadiga ou por variações térmicas, além de, conseqüentemente, melhorar as condições de segurança e conforto das rodovias e reduzir custos com manutenções. Assim, este estudo tem como objetivo avaliar as propriedades mecânicas de misturas asfálticas produzidas com CAP modificado por lignina proveniente do eucalipto nos teores de 3 e 6%. A resistência a tração apresentou valor mais alto no teor 3% de eucalipto no ligante e conclui-se que este material possui a rigidez mais adequada a este parâmetro. Houve aumento do Módulo de Resiliência com o incremento do teor de eucalipto no ligante asfáltico; Quanto a Resistência Retida à Tração, houve diminuição em relação ao ligante puro mostra que nesta condição parcialmente saturada as amostras com adição de teores de eucalipto apresentam menor adesão agregado-ligante mais evidente na amostra de teor 3%; O ensaio de Módulo Dinâmico confirmou que adição de teores de eucalipto na mistura confere um aumento na rigidez. A partir da realização de ensaios de módulo de resiliência, Lottman modificado, tração indireta e módulo dinâmico. Observou-se que adição da lignina ao ligante proporcionou melhorias de suas propriedades.

Palavras-chave: ligante asfáltico; propriedades; pavimentação.

ABSTRACT

Brazilian asphalt paving, as well as other countries, is constantly in need of evaluation and renovation due to the deterioration of pavements, notably asphalt pavements. The existing pathologies originate from the bad use of the road due to large requests for which the pavement was not designed, deficiencies in the constructive process execution, the use of materials with insufficient properties to meet the need, and also of the current climatic conditions, among other causes. The modification of asphalt binders is a practice that aims to increase permanent deformation resistance, reduce cracks caused by fatigue or thermal variations, as well as, consequently, improve the conditions of safety and comfort of the highways and reduce costs with maintenance. Thus, this study aims to evaluate the mechanical properties of asphalt mixtures produced with lignin-modified CAP from eucalyptus at levels of 3 and 6%. The tensile strength presented a higher value in the 3% eucalypt content in the binder and it was concluded that this material has the most adequate stiffness to this parameter. There was increase of the Resilience Module with the increase of the eucalyptus content in the asphalt binder. As for tensile strength, there was a decrease in relation to the pure binder, which shows that in this partially saturated condition the samples with addition of eucalyptus contents present a lower aggregate-binder adhesion more evident in the 3% sample; The Dynamic Modulus assay confirmed that addition of eucalyptus contents in the blend gives an increase in stiffness. From the realization of resilience modulus tests, modified Lottman, indirect traction and dynamic modulus. It was observed that addition of the lignin to the binder provided improvements in its properties.

Key words: Asphalt binder; properties; paving.

SUMÁRIO

| | | |
|----------|---|----|
| 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 | 18 |
| 2.1. | LIGANTES ASFÁLTICOS | 19 |
| 2.1.1. | CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS LIGANTES ASFÁLTICOS 20 | |
| 2.1.2. | CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP) | 21 |
| 2.2. | LIGNINA: ORIGEM, PROPRIEDADES E INCORPORAÇÃO AO CAP | 22 |
| 2.2.1. | Lignina proveniente do eucalipto | 24 |
| 3. | MATERIAIS E MÉTODOS | 25 |
| 3.1. | MATERIAIS | 25 |
| 3.2. | MÉTODOS | 25 |
| 3.2.1. | CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS | 26 |
| 3.2.1.1. | Análise granulométrica por peneiramento | 26 |
| 3.2.1.2. | Massa específica real dos agregados graúdos | 27 |
| 3.2.1.3. | Massa específica real dos agregados miúdos | 27 |
| 3.2.2. | DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS | 28 |
| 3.2.3. | CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO | 29 |
| 3.2.3.1. | Penetração | 29 |
| 3.2.3.2. | Ponto de Amolecimento | 29 |
| 3.2.3.3. | Viscosidade Rotacional | 29 |
| 3.2.4. | PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS | 30 |
| 3.2.4.1. | Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral | 30 |
| 3.2.4.2. | Módulo de Resiliência | 30 |
| 3.2.4.3. | Lottman Modificado | 31 |
| 3.2.4.4. | Módulo Dinâmico | 31 |
| 4. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 32 |
| 5. | CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS | 40 |
| 5.1. | Considerações Finais | 40 |
| 5.2. | Sugestões para pesquisas futuras | 41 |
| | REFERÊNCIAS | 42 |

1. INTRODUÇÃO

O asfalto é um dos mais antigos e versáteis materiais de construção utilizados pelo homem. O uso em pavimentação é um dos mais importantes entre todos e um dos mais antigos. Na maioria dos países, a pavimentação asfáltica é a principal forma de revestimento. No Brasil, cerca de 95% das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Faxina (2006), a pavimentação asfáltica e os materiais nela empregados são assuntos que já há muito tempo figuram no rol das áreas da engenharia civil mais intrigante a engenheiros e pesquisadores. A grande variedade dos materiais de pavimentação e a própria variabilidade a eles inerente, associadas às diversas condições de carregamentos e configurações de eixos de veículos, além das diferentes condições climáticas às quais esses materiais são submetidos, representam peças de um quebra-cabeça muitas vezes difícil de ser arranjado apropriadamente. O conhecimento amplo e preciso das propriedades desses materiais, isolados ou combinados das mais diversas formas nas misturas asfálticas, é uma ferramenta potencial para facilitar a reunião adequada dessas peças.

Há várias razões para o uso intensivo do asfalto em pavimentação, sendo as principais: proporciona forte união dos agregados, agindo 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., 2008).

Devido à importância socioeconômica para o desenvolvimento sustentável do país e ao grande patrimônio público representado pelas estradas, cabe à engenharia rodoviária o grande desafio de inovar com tecnologias e formas de gerência que reduzam o custo total do transporte do país, garantindo a manutenção e o fornecimento de uma maior extensão de rodovias em boas condições para os usuários (VASCONCELOS, 2004).

Para a maioria das aplicações rodoviárias, os asfaltos convencionais têm bom comportamento, satisfazendo plenamente os requisitos necessários para o desempenho adequado das misturas asfálticas sob o tráfego e sob as condições

climáticas. No entanto, para condições de volume de veículos comerciais e peso por eixo crescente, ano a ano, em rodovias especiais ou nos aeroportos, em corredores de tráfego pesado canalizado e para condições adversas de clima, com grandes diferenças térmicas entre inverno e verão, tem sido cada vez mais necessário o uso de modificadores das propriedades dos asfaltos (BERNUCCI et al, 2008).

De acordo com Bassa et al. (2007) nos processos de produção de celulose, a lignina e os extrativos presentes na madeira são indesejáveis. Levando em consideração o estudo iniciado por Santos (2017), utilizando lignina proveniente de pinus e eucalipto para modificar o ligante asfáltico, o presente estudo busca analisar as propriedades mecânicas de misturas asfálticas produzidas com Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) modificado por lignina extraída do eucalipto.

1.1. JUSTIFICATIVA

A pavimentação de estradas no país é algo que não estagna, muito pelo contrário, uma vez que a população e a frota de veículos crescem cada vez mais. Entretanto, a rápida degradação do pavimento é algo que chama a atenção tendo em vista que os projetos não estão suportando a demanda atual.

Para que sejam atendidas as necessidades, os serviços de engenharia realizados para a instalação e manutenção de vias pavimentadas podem acarretar em intensas movimentações de terra, alterações de micro sistemas climáticos, fauna e flora, além de possíveis desapropriações.

Com a modificação de um componente do CAP, pela utilização da lignina proveniente do eucalipto, promove-se otimização de suas características mecânicas, que produzirá um material mais duradouro além de maior harmonia desta mistura asfáltica com o meio ambiente.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Este projeto teve como objetivo principal avaliar as propriedades mecânicas de misturas asfálticas produzidas com ligante modificado por adição de lignina proveniente do eucalipto nos teores de 3 e 6%.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar mecanicamente a mistura asfáltica contendo teores de 3% e 6% de lignina proveniente do eucalipto;
- Avaliar a qualidade da mistura asfáltica com ligante modificado comparado a mistura com ligante puro.

1.3. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO -TCC

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

Introdução – Introdução, Justificativa, Objetivos da Pesquisa e Organização do Trabalho de Conclusão de Curso;

Fundamentação Teórica – São abordados assuntos relacionados aos ligantes asfálticos, tais como sua composição química, como também ao uso de copolímeros em sua composição e ácidos com componentes fosfóricos;

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 que pretende-se obter a partir da utilização de lignina proveniente do eucalipto no Cimento Asfáltico de Petróleo;

Considerações finais e sugestões para pesquisas futuras

Por fim, estão as referências, onde serão listadas as pesquisas citadas no Trabalho de Conclusão de Curso.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Brasil já possuiu grandes extensões de ferrovias, o que fizeram deste o principal modal de transporte por bastante tempo. Outros, como o aquaviário e o aeroaviário são extremamente importantes, dada a condição e extensão territorial do país. Contudo, o sistema de transporte mais utilizado atualmente é o rodoviário. Para construção, operação e manutenção da malha rodoviária são alocados grandes recursos. Buscando-se otimizar, atenta-se aos aspectos que promovem desgaste ou diminuição da vida útil deste objeto.

Vários são os fatores que influenciam e propiciam a degradação das rodovias, entre os quais se destacam: (a) aumento do volume de tráfego; (b) excesso de carga transportada por eixo; (c) pressão de enchimento dos pneus elevada; e (d) pouco planejamento e realizações de intervenções/conservações. Todos esses fatores aliados às condições ambientais, às quais são submetidas as rodovias brasileiras, fazem com que a sua vida útil diminua. Para tentar solucionar e/ou diminuir o efeito desses fatores, visando melhorar as condições estruturais e funcionais das rodovias, deve-se fiscalizar, mediante postos de pesagens, as cargas transportadas por eixo pelos veículos, assim como realizar levantamentos das condições das rodovias periodicamente para que, desta maneira, seja realizado um planejamento de conservações, intervenções e restaurações necessário para as rodovias. Outra forma, bastante explorada, é a busca por materiais que melhorem a durabilidade e o comportamento dos materiais que compõem a estrutura do pavimento, proporcionando um aumento na sua vida útil (SOBREIRO,2014).

O conhecimento da constituição e das propriedades do pavimento é essencial para a compreensão acerca da manutenção deste. Segundo Osmari (2016), os revestimentos de pavimentos flexíveis são formados por misturas constituídas principalmente por agregados pétreos e ligantes asfálticos e têm funções de resistir às solicitações do tráfego e distribuí-las às camadas inferiores do pavimento, além de proporcionar boas condições de conforto e segurança aos usuários.

2.1. LIGANTES ASFÁLTICOS

Ligantes asfálticos são materiais que constituem uma pequena parte das misturas asfálticas empregadas no revestimento de pavimentos rodoviários juntamente com agregados pétreos e outros materiais como cal hidratada. Sua presença é essencial para os revestimentos uma vez que confere às misturas uma série de propriedades que, atreladas às características dos agregados e a fatores externos como meio ambiente e configuração das cargas, possibilitam a observação de um comportamento satisfatório quando solicitadas pela ação do tráfego. O estudo dos processos aos quais os ligantes asfálticos estão sujeitos é necessário para a seleção adequada de materiais para a execução de pavimentos e o desenvolvimento de misturas mais resistentes e duradouros (OSMARI, 2016).

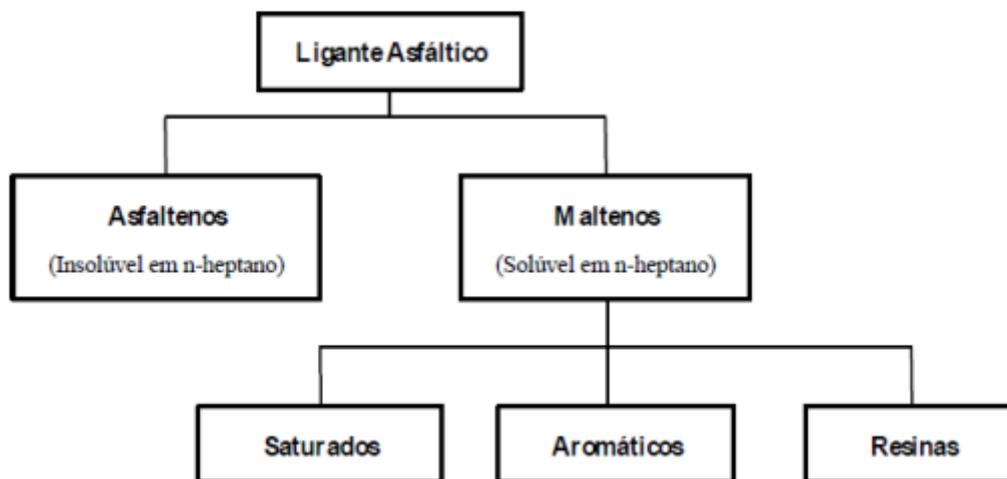
O comportamento do ligante asfáltico é abordado por Sobreiro (2014), o qual afirma que o material tem comportamento viscoelástico, ou seja, apresenta características elásticas e viscosas ao mesmo tempo. Quando é submetido a altas temperaturas se comporta como um fluido viscoso, e em baixas temperaturas apresenta comportamento próximo ao sólido elástico. Sabe-se que o pavimento, durante sua vida útil, está submetido a temperaturas intermediárias, portanto apresenta os dois tipos de comportamentos.

A modificação de ligantes asfálticos visa melhorar o comportamento mecânico e em consequência, o desempenho funcional dos pavimentos, superando algumas desvantagens do ligante puro, pois podem proporcionar principalmente o aumento da resistência ao acúmulo de deformações permanentes, resistência ao aparecimento de trincas por fadiga e contração térmica, mas também retardar o envelhecimento prematuro do Cimento Asfáltico de Petróleo e melhorar a interação com os agregados (SANTOS, 2017).

2.1.1. CARACTERIZAÇÃO E PROPRIEDADES DOS LIGANTES ASFÁLTICOS

As propriedades do CAP dependem da fonte e do processo de refino que o originou. O conhecimento da química do CAP é vital para o esclarecimento de processos que ocorrem na pavimentação (Figura 1). O CAP é composto basicamente por duas frações, os maltenos - constituídos pelos compostos saturados, aromáticos e resinas, que apresentam baixa polaridade e os asfaltenos - que constitui a fração mais pesada e polar do ligante asfáltico (MORALES, 2004).

Figura 1: Distribuição dos grupos químicos no asfalto.

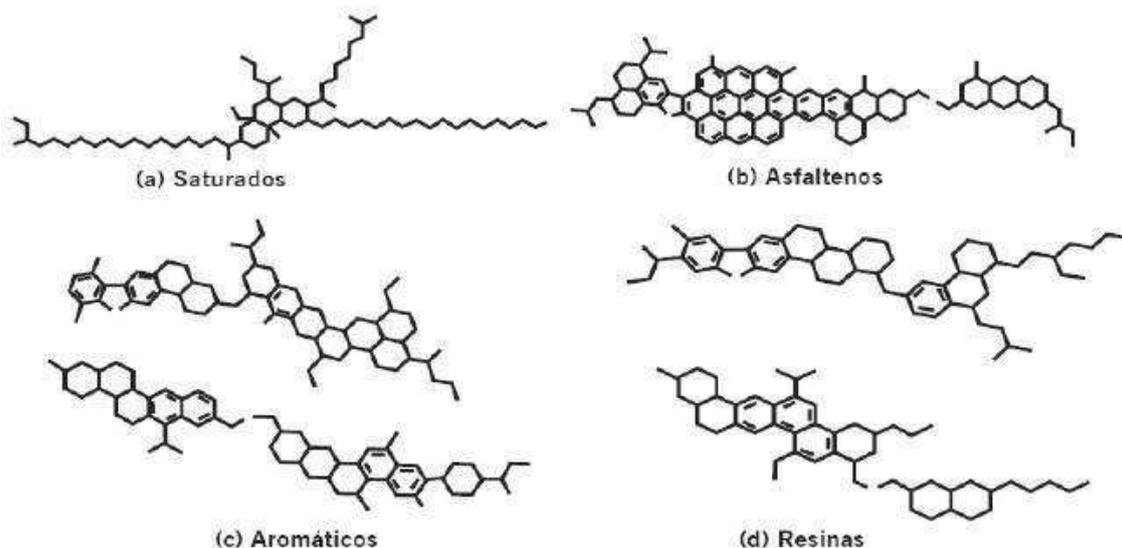


Fonte: Gama, 2016.

De acordo com Shell (2005), os asfaltenos constituem de 5% a 25% do ligante. O aumento no teor de asfaltenos produz um ligante asfáltico mais consistente, mais viscoso, com valores de penetração mais baixos e ponto de amolecimento maior. Quanto à fase maltênica, os saturados são cadeias lineares e ramificadas de hidrocarbonetos, com peso molecular similar ao dos aromáticos, e constituem de 5% a 20% do ligante asfáltico. As resinas atuam como agentes dispersantes dos asfaltenos e, assim como estes, são compostos por hidrogênio e carbono, com pequenas quantidades de oxigênio, enxofre e nitrogênio. Os aromáticos compreendem o menor peso molecular dos compostos do ligante asfáltico, representam a maior proporção do meio de

dispersão dos asfaltenos, constituem cerca de 40% a 65% do total do ligante asfáltico (Figura 2).

Figura 2: Representação genérica das estruturas químicas das frações: saturados, asfaltenos, resinas e aromáticos.



Fonte: Bernucci et al., 2008.

2.1.2. CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

O cimento asfáltico é obtido especialmente para apresentar características adequadas para o uso na construção de pavimentos. Ele pode ser obtido por um dos três processos de destilação apresentados anteriormente e, sendo assim, receberá o nome de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), ou ser obtido em Jazidas Naturais recebendo o nome de Cimento Asfáltico Natural (CAN). Estes materiais são semisólidos à temperatura ambiente, e necessitam de aquecimento para terem consistência apropriada ao envolvimento de agregados, possuem características de flexibilidade, durabilidade, aglutinação, impermeabilização e elevada resistência à maioria dos ácidos, sais e álcalis (SOUZA, 1995).

A consistência está relacionada ao estado físico do material. Quando os ligantes asfálticos encontram-se em temperaturas intermediárias, apresentam

consistência semi-sólida; em temperaturas baixas, consistência sólida; e em temperaturas altas, consistência líquida (FAXINA, 2006).

Todas as propriedades físicas do asfalto estão associadas à sua temperatura. O modelo estrutural do ligante como uma dispersão de moléculas polares em meio não-polar ajuda a entender o efeito da temperatura nos ligantes asfálticos (BERNUCCI et al., 2006).

Em temperaturas muito baixas, as moléculas não têm condições de se mover umas em relação às outras e a viscosidade fica muito elevada; nessa situação o ligante se comporta quase como um sólido. À medida que a temperatura aumenta, algumas moléculas começam a se mover podendo mesmo haver um fluxo entre as moléculas. O aumento do movimento faz baixar a viscosidade e, em temperaturas altas, o ligante se comporta como um líquido. Essa transição é reversível. Um dos critérios mais utilizados de classificação dos ligantes é a avaliação da sua suscetibilidade térmica, por algum ensaio que meça direta ou indiretamente sua consistência ou viscosidade em diferentes temperaturas. A faixa de temperatura correspondente à transição entre sólido e líquido é influenciada pela proporção dos quatro componentes do ligante asfáltico e pela interação entre eles (BERNUCCI et al., 2008).

2.2. LIGNINA: ORIGEM, PROPRIEDADES E INCORPORAÇÃO AO CAP

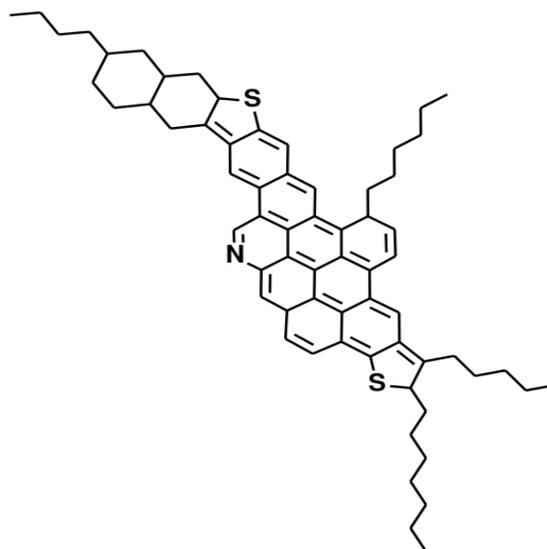
A atividade biológica produz 300 bilhões de toneladas por ano de biomassa vegetal através da fotossíntese. A celulose e a lignina são os constituintes mais importantes e por consequência os polímeros naturais mais abundantes na Terra, (NAUCER et al., 2003).

Segundo Souza (2012), a constituição química da madeira é classificada pelos componentes fundamentais que são os constituintes macromoleculares como celulose, hemiceluloses e a lignina, que representam cerca de 95% da estrutura total da madeira. Os outros 5% são classificados como compostos que não formam parte essencial da estrutura da madeira, denominados extrativos.

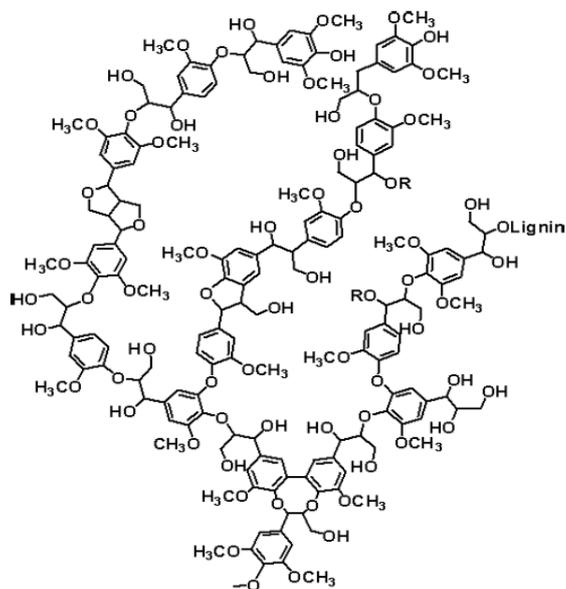
CAMARGO et al. (2016) atenta para o fato de que o uso de materiais alternativos não derivados de petróleo tem sido considerado e incentivado devido a mudanças climáticas, flutuações no preço do petróleo e/ou mudanças nas operações de refinarias. Além disto, o aumento de preço dos ligantes asfálticos tende a continuar, indicando que o material continuará progressivamente a ficar mais caro. Adicionalmente, a emissão de gases prejudiciais à saúde provenientes de ligantes asfálticos derivados de fontes de petróleo é outro problema ambiental e ocupacional a ser considerado, devido aos compostos aromáticos e de enxofre que são emitidos durante a sua aplicação. É de grande interesse que se tenha um ligante de origem vegetal para a produção de materiais para a pavimentação que exiba propriedades de recobrimento, espalhamento e compactação, preferencialmente formulado com materiais de fontes renováveis, dentre estas, resinas e gomas naturais provenientes de árvores, látex natural, óleos vegetais, lignina, celulose, álcoois, glicerol, dentre outros. Outra vantagem de ligantes não derivados de petróleo é a possibilidade de adição de corantes, podendo ainda trazer reduções nas temperaturas de superfícies das rodovias, devido ao efeito de aumento da reflexão da luz solar.

Ligantes asfálticos modificados são aqueles cujas características (química e/ou física e propriedades mecânicas) foram alteradas pela adição de um agente, que pode ser extensores (enxofre, lignina), oxidantes (compostos de Manganês), antioxidantes (carbamatos, sais de cálcio, fenóis e aminas) e polímeros (elastômeros, plastômeros e fibras) (BRINGEL, 2007) (Figura 3 e Figura 4).

De acordo com CASTRO (2009), a lignina pode ser extraída nos diversos processos de polpação da madeira, sendo o Processo Kraft (reação da madeira com hidróxido de sódio + sulfeto de sódio) o mais usual no contexto industrial brasileiro, onde 81% do processamento é realizado dessa maneira.

Figura 3: Estrutura Química do Betume

Fonte: Bernucci et al., 2008

Figura 4: Estrutura Química da Lignina

Fonte: Apostila UFPR – Madeira, 2013.

2.1.1. Lignina proveniente do eucalipto

O gênero *Eucalyptus* é originário da Austrália, Tasmânia e outras ilhas da Oceania. São mais de 700 espécies reconhecidas botanicamente. Estas

espécies têm propriedades físicas e químicas tão diversas que fazem com que os eucaliptos sejam usados para as mais diversas finalidades como, lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel, chapas de fibras e de partículas, até movelaria, geração de energia, medicamentos, entre outros. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores, são 5,5 milhões de hectares plantados com este gênero, com uma produtividade média de 39 m³/ha/ano. A produtividade, contudo, depende de diversos fatores, como o local de plantio, os tratamentos culturais e os insumos disponibilizados (EMBRAPA, 2018)

Segundo ABRAF (2010), o gênero *Eucalyptus* tem-se constituído na principal fonte de celulose no Brasil (corresponde a 66,5% do total de florestas plantadas no país, sendo que 70% dessas áreas são destinadas à produção de celulose e papel).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

Para realização desta pesquisa foram utilizados os seguintes materiais:

- Ligante convencional: O ligante foi obtido da distribuidora Stratura Asfaltos S/A (antiga Ipiranga Asfaltos S/A). Foi utilizado o CAP 50/70.
- Lignina: A lignina utilizada neste estudo foi proveniente do eucalipto e cedida pelo Laboratório de Química Inorgânica da Universidade Federal de Viçosa.

3.2. MÉTODOS

A metodologia utilizada para realização desta pesquisa encontra-se descrita a seguir:

3.2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS AGREGADOS

Para caracterização dos agregados (gráudo e miúdo) utilizados neste estudo, foram realizados os seguintes ensaios: Análise granulométrica por peneiramento DNIT – ME 083/98; Massa específica real dos agregados gráudos DNIT – ME 081/98; Massa específica real dos agregados miúdos DNIT – ME 084/95;

3.2.1.1. Análise granulométrica por peneiramento

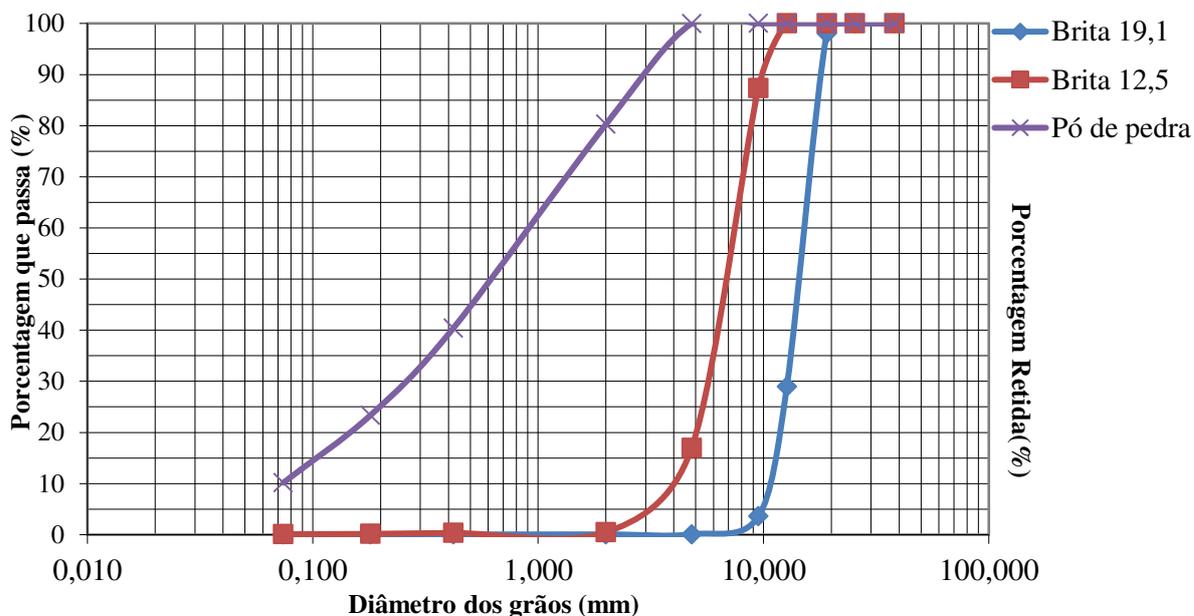
Segundo a norma DNIT-ME 083/98, a análise granulométrica por peneiramento dos agregados gráudos e miúdo utilizados no presente trabalho foi realizada com peneiras de malhas de abertura 0,075mm, 0,18mm, 0,42mm, 2,0mm, 4,8mm, 9,5mm, 12,7mm e 19,1mm. O material utilizado foi colocado em estufa a 110°C por 4 horas para a retirada da umidade e o peneiramento foi realizado manualmente. A massa total foi separada em intervalos de tamanhos de grãos, de forma que calculou-se quanto de massa de cada intervalo corresponde a massa total, em percentual (Tabela 1)

Tabela 1 – Granulometria

| Quantidade passante (%) | | | | |
|--------------------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|------------------------|
| Peneira (N) | Peneira (mm) | Brita 19 | Brita 12,5 | Pó de Pedra |
| 1" | 25,4 | 100,00 % | 100,00 % | 100,00 % |
| 3/4" | 19,1 | 97,29 % | 100,00 % | 100,00 % |
| 1/2" | 12,7 | 27,97 % | 100,00 % | 100,00 % |
| 3/8" | 9,5 | 2,86 % | 94,30 % | 100,00 % |
| Nº 4 | 4,8 | 0,14 % | 40,09 % | 99,15 % |
| Nº 10 | 2,0 | 0,12 % | 6,45 % | 77,35 % |
| Nº 40 | 0,42 | 0,12 % | 2,86 % | 35,14 % |
| Nº 80 | 0,18 | 0,11 % | 1,90 % | 18,22 % |
| Nº 200 | 0,074 | 0,08 % | 1,10 % | 6,47% |

Já na Figura 05 está ilustrada a curva granulométrica dos agregados.

Figura 05 – Curva Granulométrica



3.2.1.2. Massa específica real dos agregados graúdos

Segundo o DNIT-ME 081/98, as amostras foram separadas: 3.000g de brita 19mm e 2.000g de brita 12,5mm. Em seguida lavou-se as amostras para remoção de impurezas e colocou-se em estufa a 110°C por 4 horas. Após resfriamento à temperatura ambiente, as amostras ficaram imersas em água por 24 horas à temperatura ambiente. Em seguida o material foi retirado e seco superficialmente para pesagem da massa saturada com superfície seca. Logo após pesou-se a massa submersa. Após mais 4 horas em estufa seguido por resfriamento à temperatura ambiente, pesou-se sua massa seca.

3.2.1.3. Massa específica real dos agregados miúdos

Segundo DNIT 084/95, foram selecionadas duas amostras, cada uma apresentando 500 gramas de pó de pedra. Utilizou-se o material passante na peneira 4,8mm e retido na peneira 0,075mm. O pó de pedra foi colocado imerso em água e em repouso por 24 horas. Em seguida, secou-se os materiais.

Colocou-se o agregado em um tronco-cônico para verificação do estado de umidade da amostra.

Em um picnômetro, colocou-se 500 gramas de agregado miúdo em conjunto com água. Preencheu-se a amostra com água destilada. O picnômetro foi mantido durante uma 1 hora em banho a temperatura constante para, em seguida, completa-lo com água destilada e determinar-se a massa do picnômetro com água e amostra. Pesou-se para o material ser retirado do picnômetro e levado para estufa (105 ± 5) °C. Por fim, determinou-se a massa específica aparente do agregado miúdo.

3.2.2. DOSAGEM DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

Foi utilizada a metodologia Superpave para a dosagem das misturas asfálticas. Consiste no uso de um compactador giratório, o qual aplica uma energia de amassamento mais representativa da compactação no campo.

A compactação dos corpos de provas foi realizada por amassamento com o auxílio do compactador giratório, segundo a norma ASTM D 6925-09 (*Standard Test Method for Preparation and Determination of the Relative Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Specimens by Means of the Superpave Gyratory Compactor*).

3.2.2.1. Mistura

Em misturador FISATOM MODELO 722 adicionou-se teores de 3% e 6% da lignina proveniente de eucalipto para produção do ligante modificado. Tais teores foram selecionados pois esta pesquisa buscou realizar caracterização mecânica do estudo iniciado por Santos (2017).

Inicialmente aqueceu-se as amostras do ligante puro em estufa a 120 °C. Logo após, iniciou-se a mistura deste CAP puro em rotações de 300 rpm. Atingindo 160°C adicionou-se a lignina e aumentou-se o número de rotações gradativamente para 2000 rpm por 30 minutos.

3.2.3. CARACTERIZAÇÃO DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO

3.2.3.1. Penetração

Seguindo a norma DNIT-ME 155/2010, este ensaio mede a profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha de 100 g penetra verticalmente numa amostra de ligante, por 5 segundos, à temperatura de 25°C.

3.2.3.2. Ponto de Amolecimento

Seguindo a norma DNIT-ME 131/2010, o ponto de amolecimento tem como objetivo a medição da consistência do CAP com a variação de temperatura. Busca-se determinar em qual temperatura o ligante atinge certo estado de escoamento.

Basicamente consiste na temperatura na qual o asfalto atinge a placa inferior da aparelhagem ao amolecer quando aquecido.

3.2.3.3. Viscosidade Rotacional

Seguindo NBR 15184/2004 e ASTM D4402-15, mede-se a viscosidade do asfalto a altas temperaturas, no ensaio de viscosidade rotacional. É de fundamental importância para saber as temperaturas de usinagem e de compactação pois está diretamente ligada a capacidade do ligante aglutinar-se com os agregados e na sua trabalhabilidade.

Utilizou-se o viscosímetro rotacional Brookfield DV-III ULTRA, acoplado a um controlador de temperatura THERMOSEL. Mediu-se a viscosidade dinâmica em centipoise (cP), a 135 °C, 150 °C e 177 °C, para cada teor de ligante adicionado e para o ligante puro.

3.2.4. PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

3.2.4.1. Resistência à Tração Indireta por Compressão Diametral

O ensaio de compressão diametral permite simular um plano de ruptura idêntico ao plano de aplicação da carga, e tem por objetivo determinar a resistência à tração de corpos de prova cilíndricos de misturas betuminosas. A norma que regulamenta o ensaio é a ME 138/94 do DNIT. Para a realização do ensaio foram moldados corpos-de-prova no compactador giratório SUPERPAVE com teor de CAP obtido através da dosagem Superpave e com incorporação de lignina nos teores definidos: 3 e 6%.

Para promover o carregamento ao longo das geratrizes opostas do corpo de prova é aplicado, em frisos metálicos com o comprimento do corpo de prova, deslocamento progressivo em um plano diametral vertical até que o corpo de prova se rompa (Figura 06).

Figura 06 – Ensaio de Resistência à Compressão Diametral



3.2.4.2. Módulo de Resiliência

Os ensaios de carga repetida em que a força aplicada atua sempre no mesmo sentido de compressão, de zero a um máximo e depois diminui até anular-se, ou atingir um patamar inferior, para atuar novamente após pequeno intervalo de repouso, procuram reproduzir as condições de campo. A amplitude

e o tempo de pulso dependem da velocidade do veículo e da profundidade em que se calculam as tensões de deformações produzidas.

O ensaio do Módulo de Resiliência (MR) foi realizado segundo a Norma (ME 135/10) do DNIT. Os resultados foram obtidos com o auxílio do *software* UTS0031.39 *IndirectTensileModulus Test*, utilizando a prensa UTM-25.

3.2.4.3. Lottman Modificado

O ensaio de Lottman Modificado também é conhecido como Ensaio de Resistência ao Dano por Umidade Induzida e avalia a adesividade das misturas asfálticas. O ensaio foi realizado em CPs cilíndricos moldados segundo a metodologia Superpave. O ensaio consiste na avaliação de misturas asfálticas quanto a sua suscetibilidade à água, já que este afeta o desempenho e a vida de serviço dos pavimentos. Foi realizado segundo a norma da AASHTO T 283.

3.2.4.4. Módulo Dinâmico

Segundo AASHTO TP-62/2009, este ensaio tem como objetivo caracterizar a rigidez e as propriedades visco elásticas das misturas asfálticas. Obteve-se a curva mestra para as temperaturas de 4,4°C, 21°C e 37,4°C durante o carregamento de uma tensão de compressão senoidal com frequências de 0,1; 0,5; 1; 5; 10 e 25Hz, em corpos de prova com 10 cm de diâmetro e 15 cm de altura (Figura 07).

Figura 07 – Ensaio de Módulo Dinâmico



4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção serão apresentados os resultados e discussões pertinentes relativas a etapa experimental de adição de lignina proveniente de eucalipto nos teores de 3% e 6%, desde a caracterização física do CAP 50/70 até a caracterização mecânica das misturas.

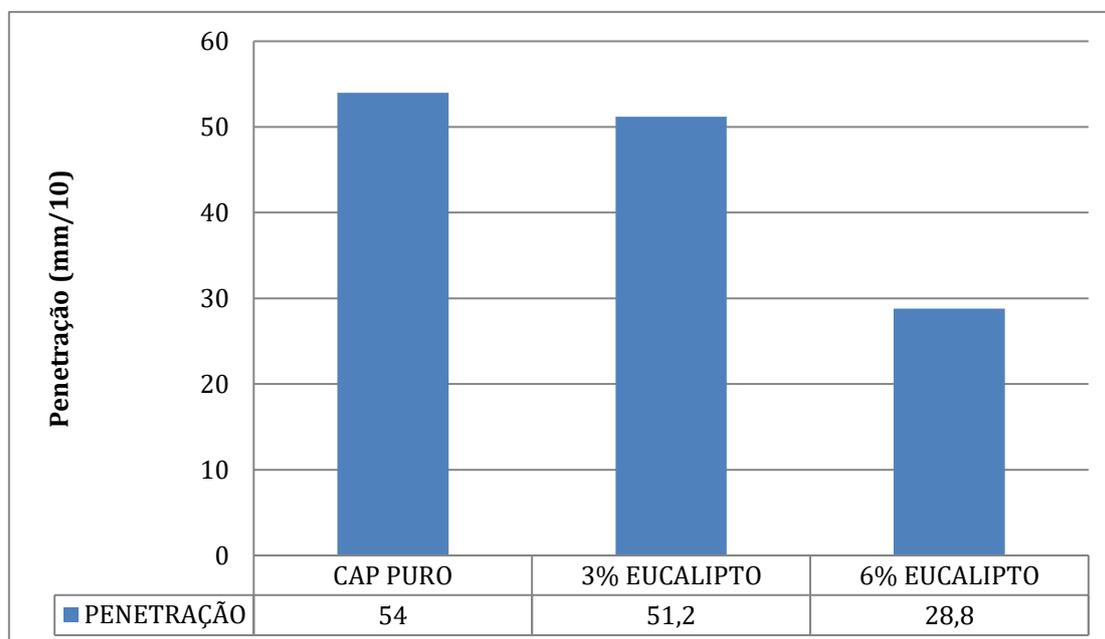
Com a adição da lignina ao ligante asfáltico CAP 50/70 pretende-se analisar propriedades mecânicas das misturas asfálticas, tais como: redução das deformações permanentes, trincas ocasionadas por fadiga ou por variações térmicas e redução dos custos com manutenção dos pavimentos.

4.1. CARACTERIZAÇÃO DO LIGANTE ASFÁLTICO

4.1.1. Ensaio de penetração

O presente ensaio permite a classificação do ligante asfáltico quanto a sua consistência.

Figura 08 – Resultados do Ensaio de Penetração



A redução da penetração do ligante com a adição do teor de 6%, por exemplo, para 28,8 décimos de milímetro (Figura 08), mesmo ficando fora da especificação da ANP para o ligante de referência (CAP 50/70), não pode à princípio ser considerado um ponto negativo, porque tal especificação não é

própria para o material em estudo e está apenas servindo de base para comparação dos resultados entre os ligantes puro e modificados (SANTOS, 2017).

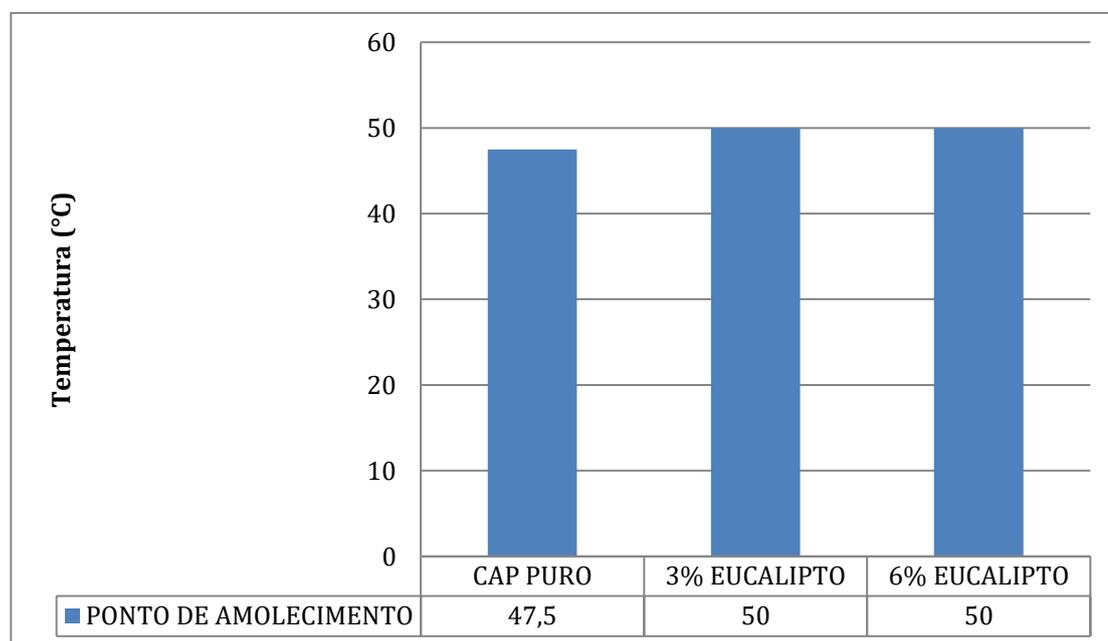
Segundo Carvalho (2018), há de se considerar que o aditivo promove redução da viscosidade, o que vai de encontro com o aumento da consistência encontrado no ensaio para as misturas.

Os resultados mostram que com o incremento do teor de eucalipto na mistura há redução nos valores de penetração, ou seja, há aumento da consistência e elevação da dureza.

4.1.2. Ensaio de ponto de amolecimento

Segundo Luz (2019), este é um parâmetro que está relacionado com a manutenção das propriedades do ligante a altas temperaturas e ao aumento da resistência à deformação permanente.

Figura 09 – Resultados de Ponto de Amolecimento



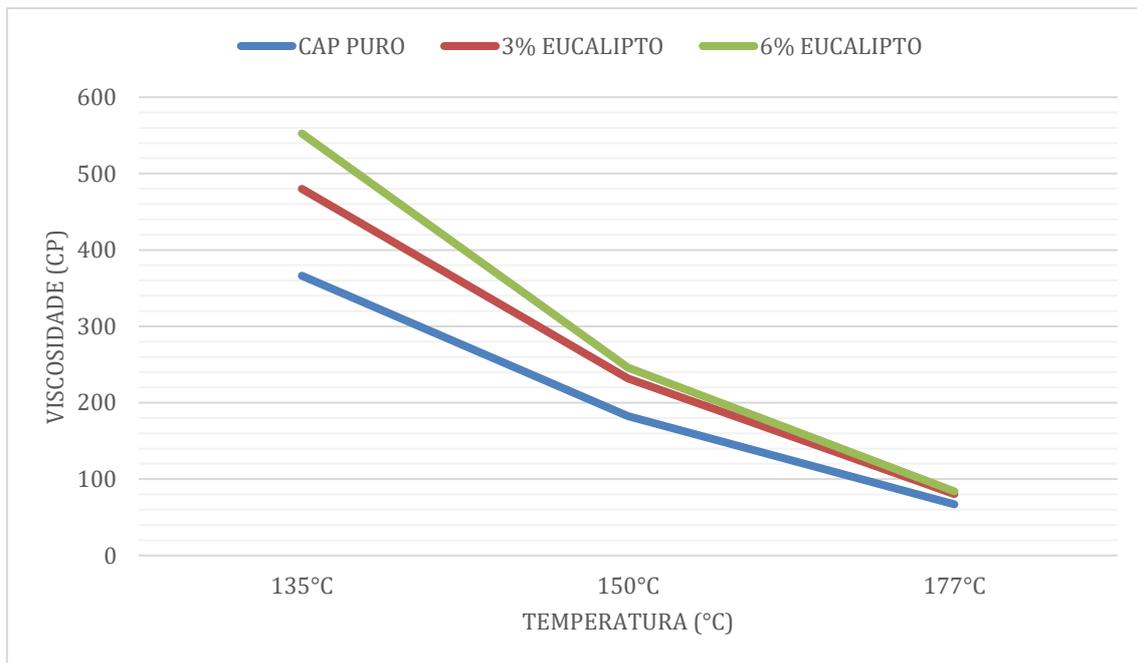
Observa-se que há aumento nas temperaturas de ponto de amolecimento dos ligantes modificados (Figura 09). É possível afirmar então que com temperaturas mais altas asfaltos produzidos com o ligante modificado serão menos sensíveis se comparados aos produzidos com o ligante puro.

De acordo com ANP 19/2005, o valor mínimo da temperatura para o ponto de amolecimento é de 46°C. Desta forma, o ligante puro está em conformidade com a determinação.

4.1.3. Viscosidade rotacional

Este ensaio determina as temperaturas de compactação e usinagem, de forma a usar as misturas asfálticas com sua melhor trabalhabilidade.

Figura 10 – Resultados de Viscosidade Rotacional



Os resultados mostram que o CAP puro é mais fluido que os ligantes modificados. Segundo ANP 19/2005, o valor mínimo é de 274 CP a 135°C, 112 CP a 150°C e 28-114 CP a 177°C. Dessa forma, as amostras ensaiadas enquadram-se na resolução da Agência Nacional de Petróleo.

Segundo Gama (2016) viscosidades muito baixas podem provocar escorregamento da mistura asfáltica quando compactada pela ação dos rolos compactadores.

Tabela 02 – Temperaturas de Usinagem e Compactação dos ligantes asfálticos puro e modificado

| Temperatura | CAP Puro | 3% EUCALIPTO | 6% EUCALIPTO |
|------------------|----------|--------------|--------------|
| Usinagem (°C) | 152 | 159 | 161 |
| Compactação (°C) | 138 | 144 | 146 |

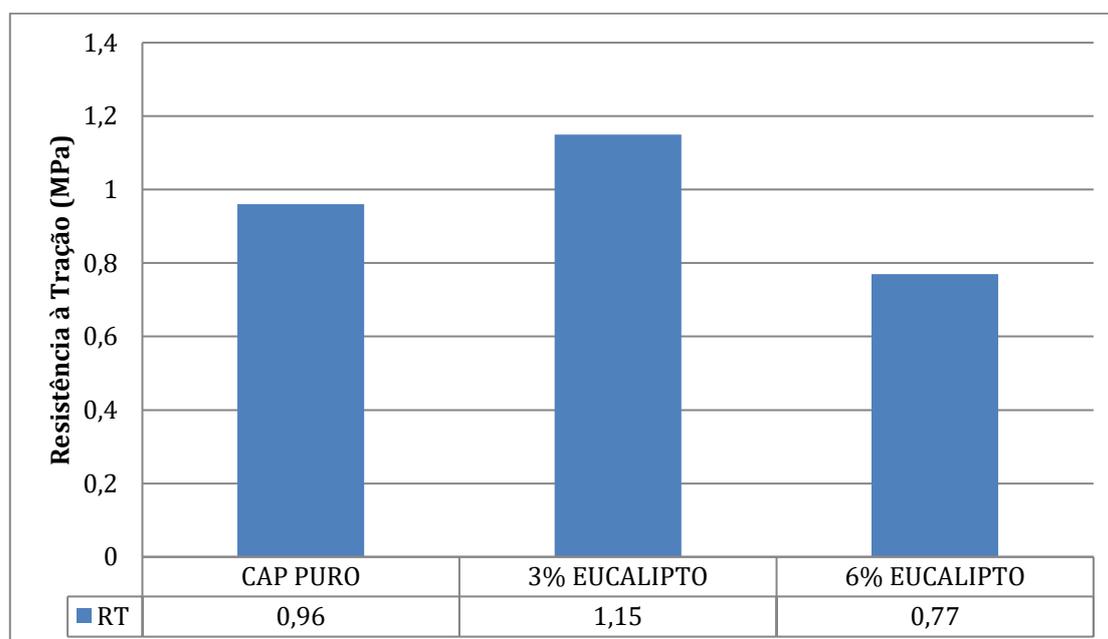
Segundo DNIT 031/2006 – ES, o aumento na temperatura de usinagem para a adição dos teores de eucalipto não é representativo pois a temperatura que o ligante deve ser utilizado na mistura asfáltica deve estar no intervalo entre 107°C e 177°C.

Os valores calculados encontram-se em conformidade com DNIT-ME 385/1999, que determina que o aquecimento não deve superar a temperatura de 180°C.

4.2. CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA

4.2.1. Resistência à tração indireta por compressão diametral

Figura 11 – Resultados do ensaio de Resistência à Tração por Compressão Diametral

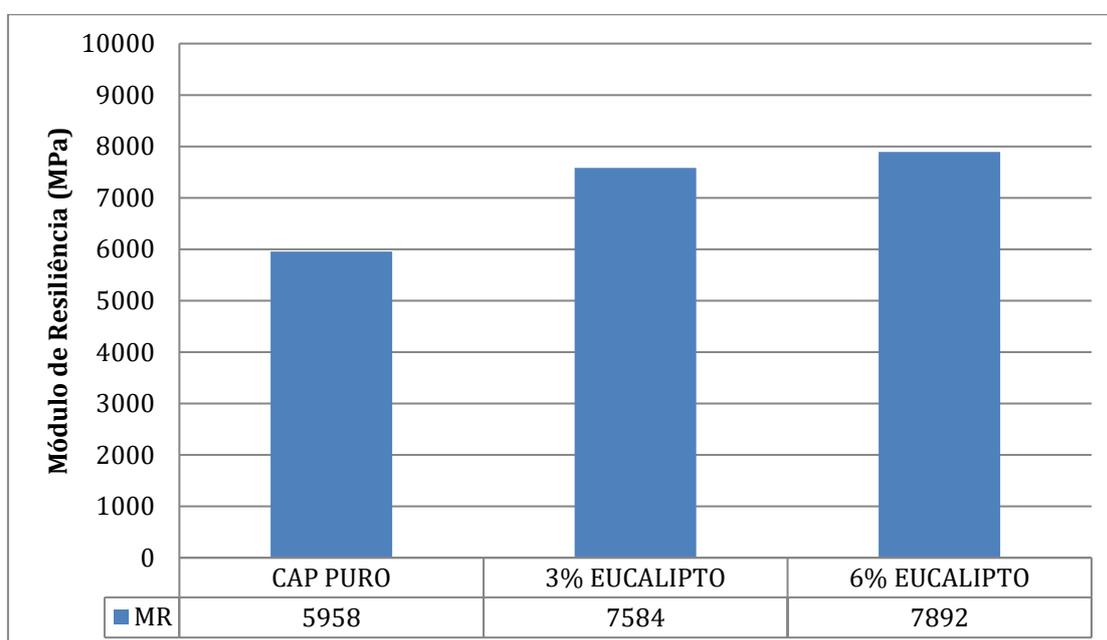


De acordo com DNT ES031/2006, para misturas asfálticas de camadas destinadas a rolamento, o limite mínimo de resistência à tração é de 0,65MPa. Observa-se que tal determinação é atendida (Figura 11).

Observa-se um aumento da Resistência à tração para o teor 3% de eucalipto, o que é injustificável pois de acordo com Souza (2012) este valor deveria diminuir. A diminuição esperada ocorre para o teor 6%.

4.2.2. Módulo de resiliência

Figura 12 – Ensaio de Módulo de Resiliência



Os resultados mostram aumento no Módulo de Resiliência com o incremento do teor de eucalipto no ligante asfáltico (Figura 12). O parâmetro em análise é diretamente relacionado a rigidez, ou seja, quanto mais viscoso, o MR deve ser maior.

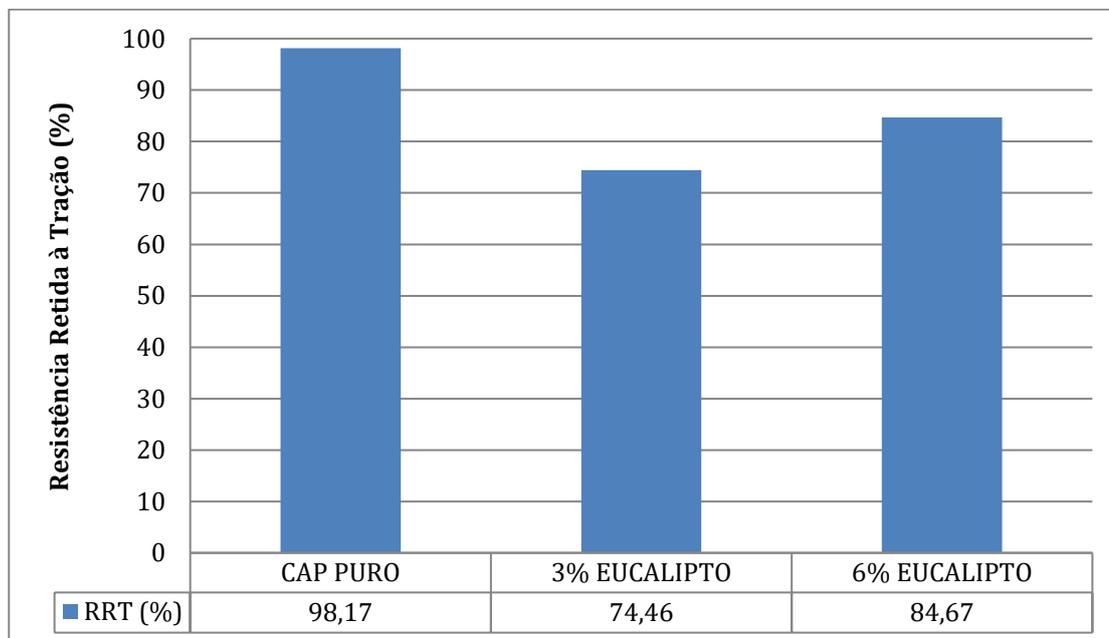
Segundo Santos (2015), assim como para o parâmetro RT, os valores não indicam linearidade do MR com a viscosidade. O aumento no estado de rigidez das misturas asfálticas no campo está associado ao aumento adicional de viscosidade provocado pelos efeitos de endurecimento do material em serviço.

Houve variação que está de acordo com *Bernucci et al.* (2008) que afirma que os valores de MR a 25°C devem estar no intervalo de 2000 MPa a 8000 MPa.

4.2.3. Dano por umidade induzida – Lottman modificado

Na Figura 13 observam-se os resultados referentes aos ensaios de Relação da Resistência Retida à Tração (RRT).

Figura 13 – Relação da Resistência Retida à Tração

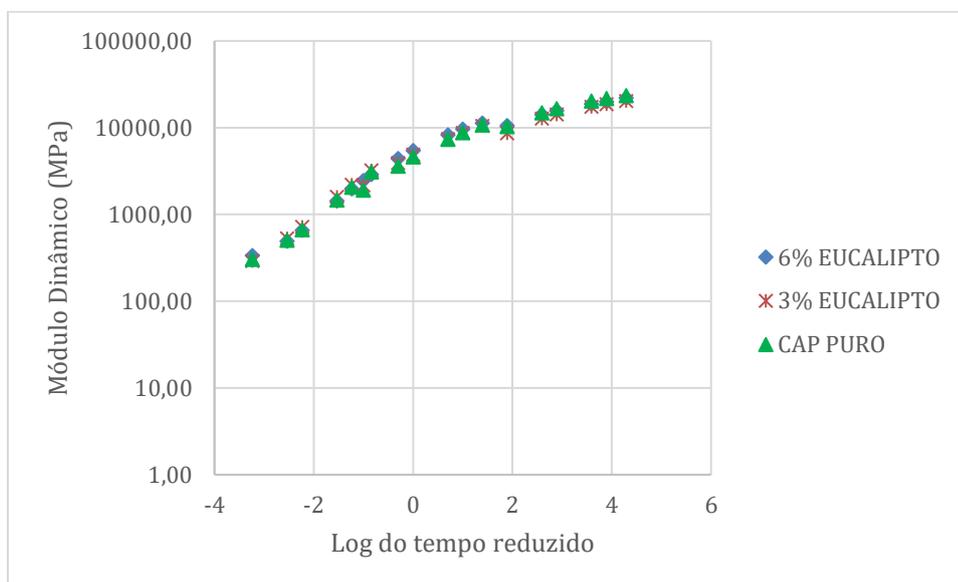


Observa-se que o teor 3% de eucalipto no ligante apresenta Relação da Resistência Retida à Tração inferior a 80%, que é o limite mínimo definido pela AASHTO T283/2002. Para o ligante puro e com teor 6% de eucalipto verifica-se esta condição. Entretanto, DNIT 031/2006 define que o valor mínimo deve ser de 70% (Figura 13).

Todavia, a diminuição da RRT em relação ao ligante puro mostra que nesta condição parcialmente saturada as amostras com adição de teores de eucalipto apresentam menor adesão agregado-ligante.

4.2.4. Módulo dinâmico

Figura 14 – Curvas mestras para os ligantes puro e modificado



Observa-se que as curvas das diferentes amostras são bem próximas uma da outra. A rigidez das amostras diminui com menor frequência de aplicação de carga. Com o aumento de temperatura há redução na rigidez da mistura.

Os resultados do ensaio de Módulo Dinâmico para cada temperatura do ensaio estão ilustrados nas Figuras 15, 16 e 17.

Figura 15 – Módulo Dinâmico a 4,4°C

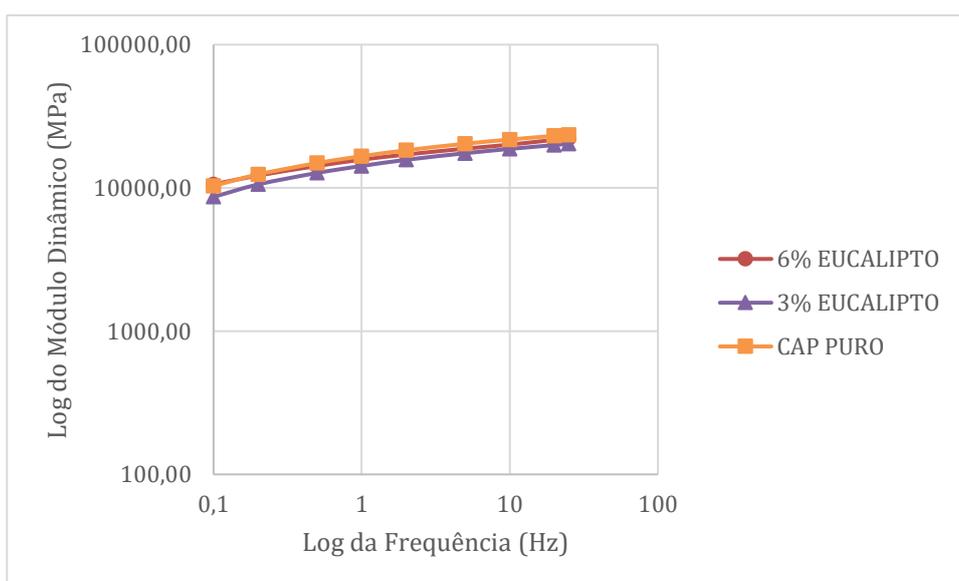


Figura 16 – Módulo Dinâmico a 21,1°C

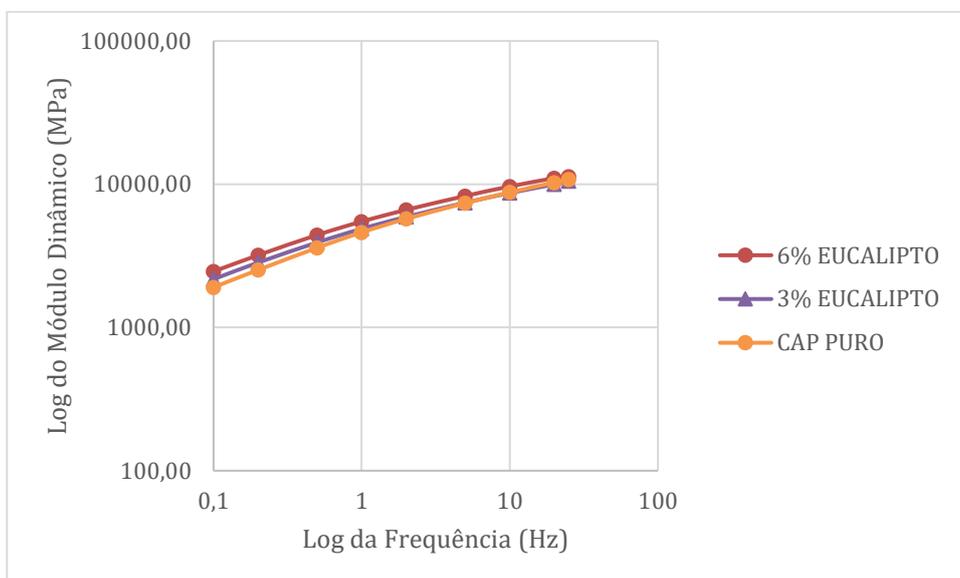
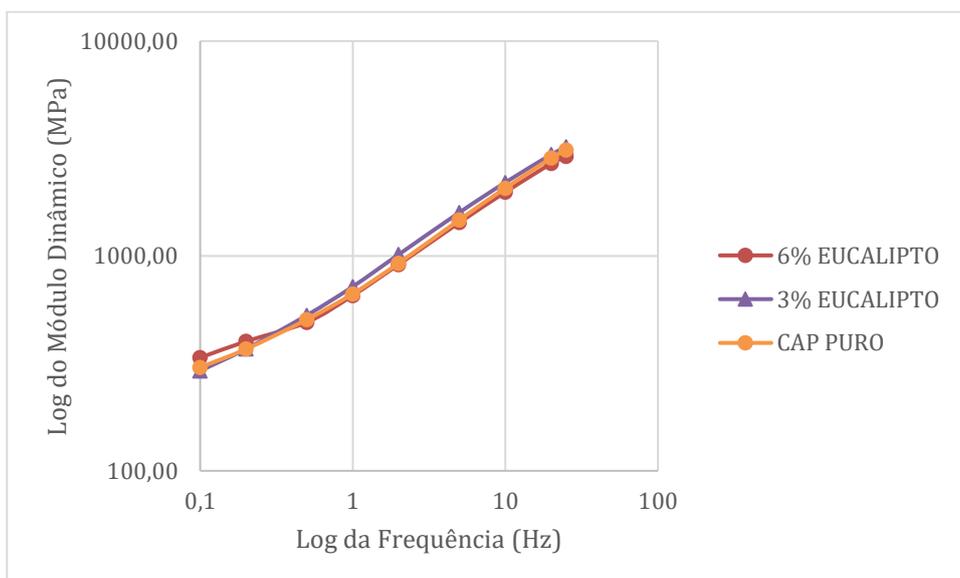


Figura 17 – Módulo Dinâmico a 37,8°C



De acordo com os resultados nota-se que a adição de teores de eucalipto na mistura confere um aumento na rigidez. Para as temperaturas mais elevadas 21,1°C e 37,8°C, os maiores valores de módulo dinâmico foram respectivamente dos teores de 6% e 3% de eucalipto.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

5.1. Considerações Finais

Este trabalho teve como objetivo principal a caracterização mecânica de mistura asfáltica contendo teores de 3% e 6% de lignina proveniente do eucalipto, sendo possível concluir o seguinte:

- Houve aumento nas temperaturas de ponto de amolecimento dos ligantes modificados de modo que é possível afirmar que sob temperaturas no ambiente mais altas asfaltos produzidos com o ligante modificado serão menos sensíveis do que asfaltos produzidos com ligante puro;
- Com o incremento do teor de eucalipto na mistura há aumento da consistência e elevação da dureza uma vez que houve redução nos valores de penetração;
- A resistência a tração apresentou valor mais alto no teor 3% de eucalipto no ligante e conclui-se que este material possui a rigidez mais adequada a este parâmetro. Pois, partindo do ligante puro para o teor 3% observa-se um aumento da RT e partindo para o teor de 6% de eucalipto no ligante observa-se diminuição da RT;
- Houve aumento do Módulo de Resiliência com o incremento do teor de eucalipto no ligante asfáltico;
- Quanto a Resistência Retida à Tração, houve diminuição em relação ao ligante puro mostra que nesta condição parcialmente saturada as amostras com adição de teores de eucalipto apresentam menor adesão agregado-ligante mais evidente na amostra de teor 3%;
- O ensaio de Módulo Dinâmico confirmou que adição de teores de eucalipto na mistura confere um aumento na rigidez.

Por fim é possível concluir que a lignina proveniente de eucalipto em seu teor de 6% pois apresentou melhorias mais significativas nas propriedades mecânicas das misturas asfálticas se comparado ao ligante puro.

5.2. Sugestões para pesquisas futuras

- Promover a experimentação em campo, de modo que trechos pavimentados possam validar os estudos realizados em laboratório;
- Ampliar a caracterização mecânica para resultados ainda mais aprofundados, com o incremento do teor de 9% de eucalipto e ensaio de Flow Number;
- Uso de outras faixas de granulometria;

REFERÊNCIAS

ABRAF. Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. Anuário estatístico da ABRAF 2010 ano base 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR.pdf>> Acesso em 03 de novembro de 2018.

ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de celulose relacionada a precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73p Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

Bernucci, L., Mota, L., Ceratti, J. & Soares, J. (2006). **Pavimentação asfáltica: Formação para engenheiros**. Rio de Janeiro: Petrobras.

BRINGEL, Raquel Moraes. **Estudo Químico e Reológico de Ligantes Asfálticos Modificados por Polímeros e Aditivos** [manuscrito] / Raquel Moraes Bringel – 2007.

CAMARGO, I., VASCONCELLOS, K., BERNUCCI, L., MOREIRA, J., ZEMA, D., VASCONCELOS, R., GUATIMOSIM, F., LEAL, F., LEAL, J., OMENA, W., FERREIRA, A. **USO DE BIOLIGANTE PARA CAMADAS DE REVESTIMENTOS DE PAVIMENTOS RODOVIÁRIOS**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 1, p. 133-147, jan.-mar., 2011. ISSN 0103-9954.

CARDOSO, Gabriel Valim et al. **EFEITO DO TEOR DE LIGNINA DA MADEIRA DE *Eucalyptus globulus* Labill. NO DESEMPENHO DA POLPAÇÃO KRAFT**. *Ciênc. Florest.* [online]. 2011, vol.21, n.1, pp.133-147. ISSN 0103-9954. <http://dx.doi.org/10.5902/198050982756>. D'ALMEIDA, M. L. O. Celulose e papel. In: SENAI; IPT. Tecnologia de fabricação de pasta celulósica. 2. ed. São Paulo: Escola SENAI Theobaldo de Nigris, 1988. v. 1, cap. 3.

CARVALHO, J. R. **Estudo do comportamento do asfalto modificado com óleo de girassol visando à obtenção de misturas mornas**. 2018. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2018.

CASTRO, H. F. **Papel e Celulose**. 2009. 30 f. Apostila 4 (Disciplina Processos Químicos Industriais II). Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de Lorena, Lorena, 2009.

D'ALMEIDA, M. L. O. Composição química dos materiais lignocelulósicos. In: PHILIPP, P. (Rev.); D'ALMEIDA, M. L. O. (Coord.). **Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica**. São Paulo: Departamento de Divulgação

do IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.), 1988, p. 45-106.

FAXINA, A. L. **Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha**. 2006. 311 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

FERNANDES, M. R. S. **Efeito de aditivo tipo óleo e enxofre na reologia de asfaltos modificados com SBS**. 2009. 118 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2009.

GARCÍA, H.F.; MARTIN, J.F.; RODRIGUEZ, J.J. **Posibilidades de aproveitamento de la lignina em la indústria química**. Ingeniería Química, Octubre, 249-254, 1984.

<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/lignina20132.pdf>
<Acesso em: 01 de novembro de 2018>

<https://www.embrapa.br/florestas/transferencia-de-tecnologia/eucalipto/tema><Acesso em: 01 de novembro de 2018>

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS - IPR. DNIT 155/2010-ME: **Material asfáltico – Determinação da penetração – Método de ensaio**. Rio de Janeiro. 2010.

LUZ, P. M. S. G. **Avaliação reológica do ligante asfáltico 50/70 modificado com lignina das madeiras pinus e eucalipto**. 108 f. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – PB, 2019.

MORALES, m. G., partal, p., navarro, F. J. **Viscous Properties and Microstructure of Recycled EVA Modified Bitumen**. Fuel., v. 83, p.31-38. 2004.

Morilha, J.. **Estudo sobre ação de modificadores no envelhecimento dos ligantes asfálticos e nas propriedades mecânicas e da fadiga das misturas asfálticas**. Dissertação (Mestrado)., Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2004.

OSMARI, Patrícia Hennig. **Caracterização química, reológica e de morfologia superficial de ligantes asfálticos modificados por diferentes agentes rejuvenescedores**. 2016. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, 2016.

ROSA JÚNIOR, J. M. **Estudo das propriedades reológicas do cimento asfáltico de petróleo (CAP 50/70) modificado com polímeros funcionalizados**. 2015. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.

SANTOS, N. S. dos. **Propriedades reológicas do ligante asfáltico (CAP 50/70) modificado por adição de lignina**. 2017. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, Brasil, 2017.

Shell. (2003). **The Shell bitumen handbook**. 5. ed. Cambridge.

SOBREIRO, F. P. **Efeito da adição de ácidos fosfóricos no comportamento reológico de ligantes asfálticos puros e modificados com copolímero SBS**. 2014. 346 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

Souza, A. M., Ramos, C. R., Motta, L. M. G., et al., **Curso de técnicas de laboratório em ligantes e misturas asfálticas**. IBP, Rio de Janeiro, 1995.

SOUZA, F. M. L de. **Estudo comparativo da madeira e polpação de *Eucalyptusurophylla* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* em dois modelos silviculturais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)– Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.