



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII, ARARUNA
CENTRO DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SAÚDE - CCTS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

VIVIANE DE OLIVEIRA FERNANDES

**ANÁLISE DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS UTILIZANDO COMO
ADITIVO A CERA DE ABELHA**

**ARARUNA - PB
2019**

VIVIANE DE OLIVEIRA FERNANDES

**ANÁLISE DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS UTILIZANDO COMO
ADITIVO A CERA DE ABELHA**

Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Pavimentação.

Orientadora: Profa. Ma. Maria das Vitórias do Nascimento.

**ARARUNA – PB
2019**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F363a Fernandes, Viviane de Oliveira.
Análise de misturas asfálticas mornas utilizando como aditivo a cera de abelha [manuscrito] / Viviane de Oliveira Fernandes. - 2019.
58 p. : il. colorido.
Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2019.
"Orientação : Profa. Ma. Maria Das Vitórias do Nascimento. , Coordenação do Curso de Engenharia Civil - CCTS."
1. Asfalto. 2. Pavimentação. 3. Propriedades Mecânicas. I.
Título
21. ed. CDD 625.85

VIVIANE DE OLIVEIRA FERNANDES

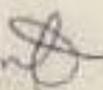
ANÁLISE DE MISTURAS ASFÁLTICAS MORNAS UTILIZANDO COMO
ADITIVO A CERA DE ABELHA.

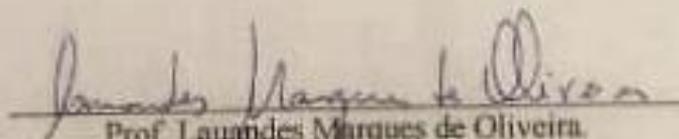
Trabalho de Conclusão de Curso em
Engenharia Civil da Universidade
Estadual da Paraíba, como requisito
parcial à obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Civil.

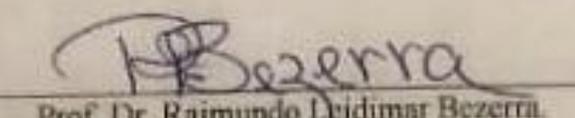
Área de concentração: Pavimentação.

Aprovada em: 26/06/2019

BANCA EXAMINADORA


Name dos Autores do Trabalho
Prof. Ma. Maria das Vitórias do Nascimento (Orientadora).
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Lauandes Marques de Oliveira.
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)


Prof. Dr. Raimundo Leidimar Bezerra.
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

A Deus pelo seu infinito amor, proteção e
companheirismo, DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sempre estive ao meu lado em todos os momentos, dando força e coragem em meus passos. Toda honra e glória a Ele.

A minha mãe Berta Lúcia e ao meu pai Clidimarco, por serem as minhas jóias raras aqui na Terra, a vocês minha eterna gratidão.

Ao meu irmão Vinicius e as minhas irmãs Vivian e Vanessa, por todo o companheirismo e amor. Aos meus avôs maternos e paternos pelos ensinamentos da vida, serei sempre grata por todas as palavras passadas. Aos meus familiares que torceram sempre por mim. Ao Victor, pelo companheirismo e apoio durante boa parte deste curso.

As minhas amizades adquiridas ao longo do curso, dando destaque a Josiclaudia e Jardelly, que estiveram boa parte do tempo ao meu lado, sendo sempre conhecidas como as trigêmeas da turma VIII de engenharia civil. Ao meu amigo Matheus Lima, por me ajudar nesta pesquisa, agradeço pela parceria.

Aos professores do Curso de Engenharia Civil da UEPB, em especial, a minha orientadora, Maria das Vitórias do Nascimento, pelo apoio e compreensão, que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Aos professores Lauandes Marques de Oliveira e Raimundo Leidmar Bezerra, por serem exemplos de profissionais, agradeço por todo o conhecimento passado.

Aos funcionários da UEPB, em especial ao técnico em laboratório/amigo Divaldo Lima, pela presteza e atendimento quando nos foi necessário.

Aos colegas de classe pelos momentos de amizade e apoio, que me fez crescer pessoalmente e profissionalmente ao longo deste tempo que passamos juntos.

**“A estrada é longa e árdua, mas o sucesso só alcançamos com muita
luta e perseverança. ”**
(Irene Aguiar)

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Porcentagem dos materiais para os corpos de prova. | 31 |
| Tabela 2 - Porcentagens de agregados com relação aos teores de CAP. | 32 |
| Tabela 3 - Quantidades de materiais utilizados para fabricação dos corpos de prova. | 32 |
| Tabela 4 - Massas específicas reais. | 33 |
| Tabela 5 - Limites de Vv e RBV para diferentes faixas granulométricas de concreto asfáltico. | 39 |
| Tabela 6 - Valores limites para o CAUQ de acordo com o DNIT. | 43 |
| Tabela 7 – Granulometria brita 19. | 43 |
| Tabela 8 - Granulometria brita 9,5. | 44 |
| Tabela 9 - Granulometria da Areia. | 44 |
| Tabela 10 - Valores obtidos de cada corpo de prova a base de CAP convencional. | 46 |
| Tabela 11 - Valores pesados dos corpos de prova para cada teor de CAP convencional. | 47 |
| Tabela 12 - Valores médios corrigidos das estabilidades de acordo com cada teor. | 47 |
| Tabela 13 - Valores obtidos para fluência com relação a cada teor. | 48 |
| Tabela 14 - Porcentagens de agregados com relação ao teor de CAP de 6,55%. | 49 |
| Tabela 15 - Quantidades de materiais utilizados para fabricação dos corpos de prova. | 49 |
| Tabela 16 - Medidas dos corpos de prova com CAP modificado. | 49 |
| Tabela 17 - Pesagens dos corpos de prova com o CAP modificado. | 50 |
| Tabela 18 - Valores médios corrigidos das estabilidades de acordo com cada temperatura. .. | 50 |
| Tabela 19 - Valores de fluência obtidos para fluência do CAP modificado. | 51 |
| Tabela 20 - Medidas dos corpos de prova confeccionados com o CAP modificado. | 52 |
| Tabela 21 - Valores da resistência à tração por compressão diametral (RT). | 52 |
| Tabela 22 - Parâmetros volumétricos encontrados nos corpos de prova com o CAP modificado. | 53 |
| Tabela 23 - Valores calculados e normativos dos parâmetros volumétricos. | 53 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1 - Composição granulométrica de projeto dentro das faixas limites para uso em camadas de rolamento..... | 45 |
| Gráfico 2 - Curva granulométrica dos agregados..... | 46 |
| Gráfico 3 - Cálculo do teor ótimo de CAP..... | 49 |
| Gráfico 4 - Estabilidade das misturas mornas..... | 50 |
| Gráfico 5 - Fluência das misturas mornas..... | 51 |
| Gráfico 6 – RT das misturas mornas..... | 52 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1- Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo. | 20 |
| Figura 2 - Esquema da cadeia dos constituintes da cera de abelha..... | 24 |
| Figura 3 - Variações médias de temperaturas de usinagem para os diversos tipos de misturas asfálticas. | 25 |
| Figura 4 - Esquema das variações térmicas das temperaturas de trabalho de duas vias, uma com o uso da mistura convencional a quente (esquerda) e outra com a mistura morna (direita). | 26 |
| Figura 5 - Localização do campus VIII em relação à cidade de Araruna (PB)..... | 27 |
| Figura 6 - Amostra do ligante Asfáltico..... | 27 |
| Figura 7 - Placas de cera de abelha..... | 28 |
| Figura 8 - Amostra do CAP 50/70 sendo pesada..... | 28 |
| Figura 9 - Amostra de cera de abelha sendo pesada. | 29 |
| Figura 10 - Proporções de cera de abelha e ligante obtidos, juntamente com o CAP aditivado. | 29 |
| Figura 11 - Sequência de peneiras utilizadas para o ensaio de peneiramento..... | 30 |
| Figura 12 - Agregados sendo pesados de acordo com o valor do teor de CAP. | 32 |
| Figura 13 - Agregados misturados e adicionados em estufa a 165°C. | 33 |
| Figura 14 - Amostra de ligante em estufa a 150°C..... | 34 |
| Figura 15 - CAP 50/70 adicionado na mistura de agregados. | 34 |
| Figura 16 - CAP 50/70 sendo misturado aos agregados com auxílio de uma colher metálica. | 34 |
| Figura 17 - Mistura de CAP 50/70 convencional e agregados sendo adicionados ao molde do compactador Marshall manual..... | 35 |
| Figura 18 - Compactador Marshall manual..... | 35 |
| Figura 19 - Corpo de prova sendo compactado com uso do compactador Marshall manual... .. | 35 |
| Figura 20 - Corpo de prova sendo desmoldado com auxílio de extrator. | 36 |
| Figura 21 - Corpos de prova Marshall produzidos com o CAP 50/70 convencional. | 36 |
| Figura 22 - Medição da altura de um corpo de prova Marshall. | 36 |
| Figura 23 - Medição do diâmetro de um corpo de prova Marshall. | 37 |
| Figura 24 - Corpo de prova Marshall sendo pesados ao ar. | 37 |
| Figura 25 - Corpo de prova Marshall sendo pesado imerso..... | 37 |
| Figura 26 - Agregados sendo pesados de acordo com o valor do teor de CAP de 6,55%. | 39 |
| Figura 27 - Corpos de prova em banho maria a 60°C..... | 40 |
| Figura 28 - Uma das amostras sendo seca após ser retirada do banho maria..... | 40 |
| Figura 29 - Corpo de prova acoplado a Prensa Marshall, para obtenção da estabilidade e fluência. | 40 |
| Figura 30 - Corpos de prova em banho maria a 25°C..... | 41 |
| Figura 31 - Corpo de prova acoplado no molde de compressão da prensa Marshall. | 41 |
| Figura 32 - Corpo de prova com plano diametral rompido..... | 42 |
| Figura 33- Granulometria da brita 19. | 43 |
| Figura 35 - Granulometria brita 9,5 mm. | 44 |
| Figura 36 - Granulometria da areia..... | 45 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Composição do concreto asfáltico..... | 31 |
|--|----|

RESUMO

Grande parte das pesquisas realizadas no ramo da pavimentação procuram criar novos materiais que gerem menores danos ao ambiente e pouco gasto energético. Cresce o uso de aditivos sintéticos e/ou naturais a serem adicionados aos ligantes, com o objetivo de melhorar principalmente a resistência mecânica do asfalto. As misturas mornas asfálticas, apresentam características positivas economicamente, e ambientalmente, pois seu modo de aplicação necessita temperaturas de usinagem e compactação inferiores às encontradas nas misturas convencionais a quente. O referente trabalho tem como finalidade avaliar os efeitos causados nas misturas asfálticas mornas com adição de 5% de cera de abelha, quando usinados e compactados em menores temperaturas, com objetivo de verificar as alterações ocorridas nos seus parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas, comparando com o desempenho do Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) em temperaturas convencionais. A metodologia usada se divide em três etapas, a primeira foi estabelecer a melhor porcentagem de cera de abelha a ser adicionada no Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), etapa esta desenvolvida em um projeto de pesquisa do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), onde foram verificadas no ligante as propriedades de Viscosidade Brookfield (D 4402/02), Ponto de amolecimento (NBR 6560/16) e Penetração (NBR 6576/07). A segunda fase foi determinada pela moldagem dos corpos de prova com o uso do CAP 50/70 em diferentes teores, com intuito de determinar o teor ótimo de asfalto. A terceira etapa foi estabelecida pela confecção dos corpos de prova com o CAP aditivado, utilizando as temperaturas de usinagem e compactação de 130°C e 140°C, para em seguida ser verificado os Parâmetros volumétricos, Estabilidade Marshall e Resistência a Tração por Compressão Diametral (RT). Para a Estabilidade Marshall foram encontrados os valores dos corpos de prova usinados e compactados a 130°C de 9958,2 N, e a 140°C de 12901,7 N. Para a fluência, todos os corpos de prova com e sem adição da cera de abelha apresentaram valores acima do limite prescrito por norma, sendo na temperatura de 130°C encontrado o valor de fluência de 6,57 mm, e para a de 140°C obteve 5,13 mm. Com relação aos parâmetros volumétricos, todos estiveram dentro dos limites estabelecidos. Os valores da RT, foram de 0,504 MPa na temperatura de 130°C e 0,653 MPa para a de 140°C. Conforme os dados expostos, o CAUQ com adição de 5% de cera, usinado e compactado a 140°C apresentou os melhores resultados para a Estabilidade Marshall, RT e Parâmetros volumétricos. Entretanto, devido aos valores de fluência, é recomendável que a pesquisa seja incrementada com a realização de mais ensaios que medem os parâmetros mecânicos dos pavimentos, tais como: módulo de

resiliência, avaliação quanto à fadiga e suscetibilidade a água; para que se comprovem os efeitos benéficos deste aditivo ao CAP, e que este passa a ser uma forma alternativa de mistura morna destinada à aplicação em vias de tráfego de veículos.

Palavras-Chave: Pavimentação. Misturas Asfálticas Mornas. Propriedades Mecânicas.

ABSTRACT

Much of the research done in the paving industry seeks to create new materials that generate less damages to the environment and little energy expenditure. The use of synthetic and / or natural additives to be added to the binders is increasing, in order to improve mainly the mechanical strength of the asphalt. Warm asphalt mixtures are economically and environmentally friendly because their application requires lower machining and compaction temperatures than those encountered in conventional hot mixes. The aim of this work is to evaluate the effects of warm beeswax mixtures with 5% of beeswax, when machined and compacted at lower temperatures, in order to verify the changes in their volumetric parameters and mechanical properties, comparing with the performance of Hot Machined Asphalt Concrete (CAUQ) at conventional temperatures. The methodology used is divided into three stages, the first one was to establish the best percentage of beeswax to be added in the Asphaltic Oil Cement (CAP), a step developed in a research project of the Institutional Program of Scientific Initiation Grants (PIBIC), where the properties of Brookfield Viscosity (D 4402/02), Softening Point (NBR 6560/16) and Penetration (NBR 6576/07) were verified in the binder. The second phase was determined by the molding of the specimens with the use of the CAP 50/70 in different contents, in order to determine the optimum asphalt content. The third step was established by the preparation of the specimens with the additive CAP, using the machining and compaction temperatures of 130 ° C and 140 ° C, to verify the Volumetric Parameters, Marshall Stability and Tensile Strength by Diametral Compression (RT). For the Marshall Stability the values of the specimens machined and compacted were found at 130 ° C of 9958.2 N and at 140 ° C of 12901.7 N. For creep, all specimens with and without addition of Beeswax presented values above the limit prescribed by norm, being in the temperature of 130 ° C found the value of fluence of 6.57 mm, and for the one of 140 ° C obtained 5.13 mm. Regarding the volumetric parameters, all were within the established limits. The RT values were 0.504 MPa at the temperature of 130 ° C and 0.653 MPa at 140 ° C. According to the data presented, the CAUQ with addition of 5% wax, machined and compacted at 140 ° C presented the best results for Marshall Stability, RT and Volumetric Parameters. However, due to the creep values, it is recommended that the research be increased with the accomplishment of more tests that measure the mechanical parameters of the pavements, such as: resilience module, fatigue evaluation and water susceptibility; to prove the beneficial effects of this additive on CAP, and that this becomes an alternative form of warm mixture intended for application in vehicle traffic routes.

Keywords: Paving. Warm Asphalt Mixtures. Mechanical properties.

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 16 |
| 1.1 | Objetivos | 17 |
| 1.1.1 | <i>Objetivo Geral</i> | 17 |
| 1.1.2 | <i>Objetivos Específicos</i> | 17 |
| 1.2 | Justificativa | 17 |
| 2 | REVISÃO DE LITERATURA | 19 |
| 2.1 | Ligantes asfálticos | 19 |
| 2.2 | Misturas asfálticas a quente | 19 |
| 2.3 | Ensaio mecânicos | 20 |
| 2.3.1 | <i>Estabilidade Marshall e Fluência - DNER-ME 043/9</i> | 21 |
| 2.3.2 | <i>Resistência à tração por compressão diametral - DNIT 136/2018 – ME</i> | 21 |
| 2.4 | Parâmetros volumétricos | 22 |
| 2.5 | Polímeros | 22 |
| 2.5.1 | <i>Definição geral</i> | 22 |
| 2.5.2 | <i>Ceras naturais</i> | 22 |
| 2.5.3 | <i>Cera de abelha</i> | 23 |
| 2.6 | Misturas asfálticas mornas | 23 |
| 2.7 | Principais vantagens da Mistura Asfáltica Morna | 25 |
| 3 | METODOLOGIA | 26 |
| 3.1 | Local da pesquisa | 27 |
| 3.2 | Ligante asfáltico | 27 |
| 3.3 | Cera de abelha | 27 |
| 3.4 | Escolha da porcentagem da cera de abelha | 27 |
| 3.5 | Preparação da amostra do CAP 50/70 modificado com 5% da cera de abelha | 28 |
| 3.6 | Dosagem Marshall - DNER-ME 043/95 | 28 |
| 3.6.1 | <i>Materiais para a dosagem</i> | 29 |
| 3.6.2 | <i>Análise granulométrica dos agregados minerais</i> | 30 |
| 3.6.3 | <i>Escolha da faixa granulométrica</i> | 30 |
| 3.6.4 | <i>Determinação da composição granulométrica da mistura de agregados, a partir da granulometria</i> | 31 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.6.5 | <i>Cálculo das percentagens da mistura e da densidade máxima teórica (DMT)</i> | 32 |
| 3.6.6 | <i>Confeção dos corpos de prova Marshall – DNIT 178/2018 – PRO</i> | 33 |
| 3.7 | Obtenção da estabilidade e fluência | 37 |
| 3.8 | Cálculo dos parâmetros volumétricos de resistência e deformabilidade das misturas com CAP 50/70 | 38 |
| 3.8.1 | <i>Volume de vazios (V_v)</i> | 38 |
| 3.8.2 | <i>Volume de vazios nos agregados minerais (VAM)</i> | 38 |
| 3.9 | Cálculo do teor ótimo de ligante asfáltico | 38 |
| 3.10 | Obtenção das propriedades mecânicas da mistura asfáltica morna | 39 |
| 3.9.1 | <i>Estabilidade Marshall e Fluência - DNER 043/95</i> | 40 |
| 3.9.2 | <i>Resistência à tração por compressão diametral (RT)-DNIT 136/2018 – ME</i> | 41 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 43 |
| 4.1 | Especificações Brasileiras – DNIT: CAUQ | 43 |
| 4.2 | Dosagem Marshall | 43 |
| 4.2.1 | <i>Determinação das percentagens da brita 19</i> | 43 |
| 4.2.2 | <i>Determinação da percentagem de brita 9,5</i> | 44 |
| 4.2.3 | <i>Determinação da percentagem de areia</i> | 44 |
| 4.3 | Curva granulométrica dos agregados | 45 |
| 4.4 | Medições e pesagens dos corpos de prova a base de CAP convencional | 46 |
| 4.5 | Obtenção da estabilidade e fluência com relação a cada teor de CAP | 47 |
| 4.6 | Cálculo do teor ótimo | 48 |
| 4.7 | Obtenção das propriedades mecânicas da mistura asfáltica morna | 49 |
| 4.8 | Parâmetros volumétricos do CAP modificado | 53 |
| 5 | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 54 |
| | REFERÊNCIAS | 55 |

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos o ramo construtivo vem se conscientizando com relação aos impactos causados por suas construções ao meio ambiente, desse modo tem-se pensado no uso de novos materiais e métodos que amenizassem a emissão de agentes poluidores na atmosfera. Os especialistas em rodovias passaram a buscar técnicas que transformassem tanto as misturas betuminosas, quanto o seu modo de aplicação.

Segundo Bernucci et al. (2007), as misturas betuminosas são formadas pela junção de agregados e ligante, sendo executadas em usina e transportadas por caminhão para a pista, onde são lançadas e compactadas por equipamentos apropriados, com o intuito de suportar deformações permanentes e elásticas geradas pelo tráfego.

Conforme Oliveira et al. (2014), a camada de rolamento quando em pavimento flexível a qual utiliza o cimento asfáltico (CAP) como ligante é considerado o mais popular em todo o país. Conforme Bernucci et al. (2007), pode também ser chamado de Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), pois é necessário o uso de temperaturas previamente escolhidas na etapa de usinagem em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

De acordo com Moraes (2018), vem sendo estudado pelos pesquisadores vários meios alternativos para diminuição das elevadas temperaturas usadas nas misturas a quente, com intuito de alcançar desempenho igual ou superior às misturas convencionais, sendo o mesmo relacionado às propriedades físicas e mecânicas.

Segundo Budny (2012), são consideradas misturas asfálticas mornas ou Warm-Mix Asphalt (WMA) as que diferem das misturas asfálticas convencionais, pois necessitam de temperaturas menores de usinagem, entre 120°C e 140°C, já para as misturas asfálticas a quente estão entre 150°C e 180°C.

Para Rubio et al. (2012) apud Portugal (2016) pelo fato de se trabalhar com altas temperaturas, as misturas asfálticas a quente geram uma grande quantidade de emissão de gases tóxicos, prejudicando principalmente a saúde dos trabalhadores. Desse modo, como o uso das misturas asfálticas mornas reduzem os gastos energéticos e geram menos danos a saúde dos colaboradores, se comparados ao CAUQ, podem ser consideradas como um produto que só tende a crescer no ramo da pavimentação.

Analisando a importância científica dessa tecnologia aliada à magnitude socioambiental, com relação à crescente rota de tráfego rodoviário, sustentabilidade e desempenho mecânico, este trabalho tem como finalidade avaliar os efeitos causados

nas misturas asfálticas mornas com adição de 5% de cera de abelha, quando usinados e compactados em menores temperaturas de usinagem, com objetivo de verificar alterações ocorridas nos seus parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas (estabilidade Marshall e resistência a tração por compressão diametral), comparando com o desempenho do CAUQ usinado e compactado em temperaturas convencionais.

A escolha da adição dos 5% de cera de abelha teve como base os resultados obtidos em um projeto do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), onde foram verificadas as propriedades de Viscosidade Brookfield (ASTM D 4402/02), Ponto de amolecimento (NBR 6560/16) e Penetração (NBR 6576/07), sendo esta adição que apresentou os melhores resultados quando comparadas as demais porcentagens trabalhadas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como finalidade avaliar os efeitos causados nas misturas asfálticas mornas com adição de 5% de cera de abelha, quando usinados e compactados em menores temperaturas, com objetivo de verificar as alterações ocorridas nos seus parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas, comparando com o desempenho do Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) em temperaturas convencionais.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar as alterações nos parâmetros volumétricos (volume de vazios (Vv), relação betume vazios (RBV));
- Verificar as alterações ocorridas nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas, tais como: estabilidade Marshall e resistência à tração por compressão diametral, devido à adição de 5% de cera de abelha;
- Empregar menores valores de temperaturas na mistura asfáltica no momento da usinagem e compactação, comparando seu desempenho ao encontrado no Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ) convencional;
- Estudar sua viabilidade de uso para com o sistema construtivo, para que seja usado em vias de tráfego como um meio alternativo para as misturas asfálticas convencionais.

1.2 Justificativa

Os pesquisadores do ramo da pavimentação vêm buscando inovar em novos materiais e métodos que gerem menores danos ao ambiente e pouco gasto energético.

Cresce diariamente o uso de aditivos sintéticos e/ou naturais a serem adicionados aos ligantes, com o objetivo de melhorar principalmente a resistência mecânica do asfalto.

Desse modo, o presente trabalho tem como finalidade avaliar os efeitos causados nas misturas asfálticas mornas com adição de 5% de cera de abelha, quando usinados e compactados em menores temperaturas de usinagem, com objetivo de verificar as alterações ocorridas nos seus parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas (estabilidade Marshall e resistência à tração por compressão diametral), comparando com o desempenho do CAUQ usinado e compactado em temperaturas convencionais.

Logo, é perceptível que uma maior utilização das misturas asfálticas mornas, gerem diversos benefícios devido seu modo de aplicação necessitar de temperaturas de usinagem e compactação inferiores com relação às misturas convencionais a quente, resultando uma menor oxidação do ligante asfáltico, aumento na resistência à fadiga, durabilidade do pavimento, diminuições dos gastos energéticos, melhoramento das condições de trabalho e saúde dos envolvidos no processo, tanto de produção quanto de aplicação das misturas, possui menores dificuldades de uso em épocas ou locais de clima muito frio e maior habilidade de transporte por longas distâncias.

Dessa maneira, espera-se que tal pesquisa contribua com o ramo da pavimentação, originando um novo material mais sustentável e com características mecanicamente semelhantes ou até melhores aos utilizados convencionalmente a quente em camadas de rolamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Nesse tópico serão abordados os assuntos relacionados à referente pesquisa, de início um breve histórico da criação e uso dos ligantes asfálticos, seguido do uso das misturas asfálticas a quente, propriedades físicas do asfalto e mecânicas (estabilidade, fluência e tração por compressão diametral), uma breve definição de polímeros, logo após enfatizando o utilizado na pesquisa (cera de abelha) como aditivo modificador do Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), e por fim, será relatado sobre as misturas asfálticas mornas.

2.1 Ligantes asfálticos

“A destilação do petróleo gera como subproduto o ligante asfáltico, material amplamente utilizado em obras de pavimentação em todo o mundo, por apresentar propriedades de adesividade e aglutinação dos agregados.” (SULTANA, 2014)

Logo, entende-se que:

Os Asfaltos, materiais aglutinantes de cor escura, são derivados do petróleo, sendo que o elemento predominantemente é o betume (99,5%). Betume, muitas vezes usado como sinônimo de asfalto é uma substância aglutinante escura composta principalmente por hidrocarbonetos de alto peso molecular, totalmente solúvel em dissulfeto de carbono. Podem ser utilizados em várias aplicações, como por exemplo, em impermeabilizações de construções civis e, principalmente, em obras de pavimentação (ROBERTS et al., 1998).

Segundo Silva et al. (2018), há muitos anos, foi utilizado o asfalto puro, pois possuía um desempenho considerado satisfatório, porém com o passar dos anos houve a necessidade de adicionar agentes modificadores para melhorar as propriedades reológicas dos ligantes devido o acréscimo do tráfego e das mudanças climáticas.

Com relação a sua natureza viscoelástica, Oda (2000) descreve que o ligante asfáltico apresenta ampla alteração da consistência quando exposto a distintas temperaturas, podendo prejudicar o desempenho do pavimento, desse modo é importante o conhecimento do comportamento reológico do ligante.

2.2 Misturas asfálticas a quente

De acordo com o DNIT (2006), consiste em uma mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário, e cimento asfáltico.

Desse modo:

A mistura quente é a mais utilizada, devido à sua alta resistência mecânica, porém, são grandes os números de impactos ambientais, entre eles estão, as grandes emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) e Compostos Orgânicos Voláteis (VOCs). Os operários, responsáveis pela execução do revestimento,

submetem-se à inalação destes compostos, comprometendo assim sua saúde, e a condições de extremo calor. As temperaturas de compactação giram em torno de 150° C. Outro problema é o alto consumo de energia utilizado na fabricação da mistura. O consumo energético utilizado para essa mistura é cerca de 30 % maior que a mistura morna e 50 % maior que a mistura fria (PAIVA e CARTAXO, 2014).

Segundo Paiva e Cartaxo (2014), as misturas a quente são realizadas a partir do aquecimento dos agregados pétreos e do ligante asfáltico, em temperaturas de usinagem elevadas, em torno de 150 °C a 180°C, utilizando os combustíveis fósseis, como o carvão, o diesel e o gás natural que são os principais emissores dos chamados Gases de Efeito Estufa (GEE), especialmente o CO₂.

2.3 Propriedades físicas do asfalto

Conforme os estudos de Bernucci et al. (2007), o asfalto se caracteriza por ser um dos primeiros materiais de construção utilizados pelo homem, devido principalmente por sua versatilidade, acarretando um amplo uso na pavimentação de vias. Suas propriedades físicas se associam à sua temperatura, quando muito baixas, há uma dificuldade de movimentação das moléculas em relação às outras, apresentado uma viscosidade elevada, logo o ligante se comporta quase como um sólido. Quanto maior a temperatura, mais as moléculas começam a se mover, causando a diminuição da viscosidade, provocando comportamentos semelhantes como um líquido.

O asfalto comercializado no Brasil deve seguir as especificações da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP). A Figura 1 mostra as especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo, de acordo com a norma 095/2006-EM do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT).

Figura 1- Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo.

| CARACTERÍSTICAS | UND | LIMITES | | | | MÉTODOS | |
|--|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------|
| | | CAP 30 - 45 | CAP 50 - 70 | CAP 85 - 100 | CAP 150 - 200 | ABNT | ASTM |
| Penetração (100 g, 5s, 25° C) | dmm | 30 - 45 | 50 - 70 | 85 - 100 | 150 - 200 | NBR 6576 | D 5 |
| Ponto de amolecimento, min | °C | 52 | 46 | 43 | 37 | NBR 6560 | D 36 |
| Viscosidade Saybolt-Furol | s | | | | | NBR 14950 E 102 | |
| - a 135° C, min | | 192 | 141 | 110 | 80 | | |
| - a 150° C, min | | 90 | 50 | 43 | 36 | | |
| -a 177° C, min | | 40 - 70 | 15 - 60 | 15 - 60 | 15 - 60 | | |
| Viscosidade Brookfield | cP | | | | | | |
| - a 135°C, SP 21 min. 20rpm | | 374 | 274 | 214 | 155 | - | D 4402 |
| - a 150° C, SP 21 min | | 203 | 112 | 97 | 81 | | |
| - a 177° C, SP 21 min | | 76 - 133 | 28 - 114 | 28 - 114 | 28 - 114 | | |
| IST | | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | (-1,5) a (+0,7) | | |
| Ponto de fulgor min | °C | 235 | 235 | 235 | 235 | NBR 11341 | D 92 |
| Solubilidade em tricloroetileno, min | % massa | 99,5 | 99,5 | 99,5 | 99,5 | NBR 14855 | D 2042 |
| Ductilidade a 25° C, min | cm | 60 | 60 | 100 | 100 | NBR 6293 | D 113 |
| Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163° C, 85 min | | | | | | | |
| Varição em massa, máx | % | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | - | D 2872 |
| Ductilidade a 25° C, min | cm | 10 | 20 | 50 | 50 | NBR 6293 | D 113 |
| Aumento do ponto de amolecimento, máx | °C | 8 | 8 | 8 | 8 | NBR 6560 | D 36 |
| Penetração retida, min | % | 60 | 55 | 55 | 50 | NBR 6576 | D 5 |

Fonte: Resolução ANP nº 19/2005.

“O ensaio de penetração mede a “dureza”, por meio da penetração de uma agulha padrão na amostra de ligante. A penetração a 25°C tem sido utilizada na especificação de cimentos asfálticos em todos os países do mundo por várias décadas.” (BERNUCCI et al. 2007).

Para Bernucci et al. (2007), o ensaio de viscosidade é caracterizado por medir a consistência do ligante, ou seja, mede a resistência ao escoamento. Através de uma resistência adequada pode-se causar uma alta cobertura dos agregados com o cimento asfáltico no momento da compactação, assim é necessário confeccionar gráficos de viscosidade com relação à temperatura do ligante para verificar qual faixa de temperatura é a mais apropriada para certo trabalho.

Outro importante ensaio é o ponto de amolecimento, que consiste em:

[...] uma medida empírica que correlaciona à temperatura na qual o asfalto amolece quando aquecido sob certas condições particulares e atinge uma determinada condição de escoamento. O ensaio de ponto de amolecimento é feito com uma bola de aço de dimensões e peso especificados que é colocada no centro de uma amostra de asfalto que está confinada dentro de um anel metálico padronizado. Todo o conjunto é colocado dentro de um banho de água num béquer. O banho é aquecido a uma taxa controlada de 5°C/minuto. Esse ensaio é classificatório em especificações brasileira e européia, e é empregado para estimativa de suscetibilidade térmica, além de também estar presente em especificações de asfaltos modificados e asfaltos soprados (BERNUCCI et al. 2007).

2.4 Ensaios mecânicos

2.4.1 Estabilidade Marshall e Fluência - DNER-ME 043/95

Tais ensaios são regidos pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), através da norma DNER – ME 043/95.

Segundo esta norma, a estabilidade Marshall consiste na resistência limite (kgf) que um corpo de prova suporta, quando submetido à compressão radial, sendo moldado e ensaiado conforme o processo determinado neste método. Para Borborema (2007), a estabilidade é definida como a medida obtida de sua capacidade quando aplicado os carregamentos gerados pelo tráfego sem gerar deformações plásticas permanentes e irreversíveis

De acordo com Borborema (2007, apud Conselho de Pesquisas das Rodovias, 2003), os 6 principais fatores que modificam os valores da estabilidade são: consistência do ligante, forma geométrica e sua textura superficial, relação entre a quantidade de ligante e de agregados granulometria dos agregados, tamanho máximo das partículas e o grau de compactação da mistura.

Já a fluência é baseada na deformação total (mm) que um corpo de prova tolera, desde momento da aplicação inicial da carga nula até a máxima provocada. E Borborema (2007, apud Corps Of Engineers, 2003) define fluência como sendo uma avaliação de quanto o CAUQ é flexível, logo um valor pequeno indica que a mistura está seca e quebradiça, ao contrário está um produto macio e plástico.

2.4.2 Resistência à tração por compressão diametral - DNIT 136/2018 – ME

Conforme Boeira (2014), tal ensaio foi criado pelo Professor Fernando Luiz Lobo Carneiro com o intuito de verificar a resistência à tração de corpos de prova de concreto de cimento Portland.

“O ensaio consiste na aplicação de duas forças concentradas e diametralmente opostas de compressão que geram ao longo do diâmetro solicitado, tensões de tração perpendiculares.” (BERNUCCI et al., 2008)

Possuindo, de acordo com Moraes (2018), uma aparelhagem simples, admitindo uma ordem do plano de ruptura que coincide com o de aplicação da carga.

2.5 Parâmetros volumétricos

“É importante compreender que o projeto de mistura é um processo volumétrico cujo propósito é determinar o volume de asfalto e agregado requerido para produzir uma mistura com as propriedades projetadas.” (BERNUCCI et al., 2008)

De acordo com Bernucci et al. (2008), dois dos parâmetros volumétricos mais importantes são: o volume de vazios (V_v) e o volume de vazios nos agregados minerais (VAM), este último relaciona os vazios com ar e asfalto efetivo (retirando o asfalto que foi sugado pelo agregado).

Moreira (2009) destaca também a relação betume vazios (RBV), que consiste na combinação entre o volume de betume e o volume total de vazios da mistura.

Conforme Bernucci et al. (2008) outro parâmetro importante é dos vazios cheios com betume (VCB), determinado pela da união do asfalto existente para se fazer a mistura juntamente com o que foi absorvido.

2.6 Polímeros

2.6.1 Definição geral

Para Braga (2017), os polímeros são macromoléculas formadas por pequenas unidades (meros), unidas por ligações covalentes (“mero”: unidade que se repete dentro de um polímero). Esses elementos também podem ser formados pela junção de espécies orgânica (monômeros), que possuem baixo peso molecular.

De acordo com Morassi (2013), quanto à origem os polímeros podem ser divididos em naturais, quando são produzidos pela natureza (celulose, amido, proteínas do leite, lignina, ceras naturais), e sintéticos, quando são obtidos através de reações de polimerização dos monômeros fabricados no mercado (polipropileno, polietileno, poliestireno, as resinas epóxi, parafina).

Com relação aos polímeros naturais versus os sintéticos, tende-se que:

[...] apesar da quantidade de polímeros naturais exceder de longe a produção de polímeros sintéticos na indústria moderna, os polímeros naturais perderam sua importância econômica com o advento da tecnologia dos polímeros. No entanto, os polímeros naturais estão retomando a sua importância econômica com a mudança de atitude da humanidade através da conscientização ecológica. Os polímeros naturais mais conhecidos e utilizados são: a borracha natural, a celulose e as proteínas. Entre os polímeros sintéticos tem-se o polietileno (PE), o polipropileno (PP), o polietileno tereftalato (PET), como alguns exemplos (Silva e Silva, 2003).

Quanto ao comportamento, Morassi (2013) destaca-se em termofixos (termorrígidos) que frequentemente são líquidos e que após reação ficam infusíveis, e termoplásticos que ao se fundirem se solidificam várias vezes.

2.6.2 Ceras naturais

Com relação à naturalidade, Fogaça (2018), comenta que as ceras podem ser formadas por vegetais ou por animais, as primeiras são encontradas recobrimdo folhas, e tem a função de amenizar a velocidade de evaporação da água, já a segunda pode ter várias funções, tanto de impermeabilizantes, a exemplo das ceras encontradas nas penas das aves aquáticas, impedindo que as mesmas fiquem saturadas de água.

“Há animais, principalmente insetos, que secretam ceras através de glândulas, e plantas que produzem ceras em pequenas quantidades em seus tecidos, pólen, sementes e em grande quantidade nas folhas, caules ou frutos.” (MUNÕS, 2015)

“Entre as ceras animais, podem ser incluídas a lanolina e a cera de abelha e, entre as ceras vegetais, podemos encontrar a cera de carnaúba, candelilla, jojoba, arroz e girassol.” (ROZÁRIO, 2006)

2.6.3 Cera de abelha

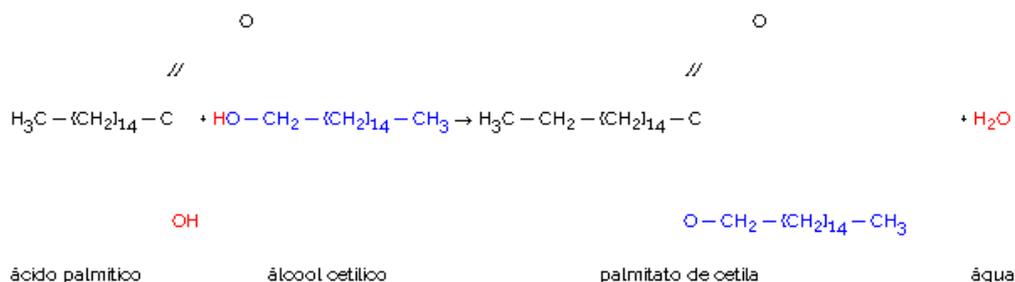
Conforme Barros et al. (2019), a cera de abelha é um polímero natural de origem animal, formada a partir da segregação de oito glândulas cerígenas, dispostas duas a duas nos quatro últimos esternos da parte ventral do abdómen da obreira (abelha operária), onde cada placa formada por uma abelha pode pesar cerca de 0,008 gramas, desse modo para produzir 1 kg de cera é preciso que as abelhas operárias consumam em

torno de 7 kg de mel, representando aproximadamente 15% do mel consumido em um período de 1 ano.

Segundo Nunes et al. (2012), era utilizada pelos humanos desde antes de Cristo. No Egito, se usou para conservar o corpo de pessoas importantes após falecimento, no processo de mumificação. É uma substância sólida, maciça, de consistência escorregadia e graxa, é impermeável à água, formada por várias substâncias, e apresentam ponto de fusão entre 61 a 65°C, o ponto de solidificação de 61,5 a 63°C e evaporação a 250°C.

Fogaça (2018) relata que boa parte das ceras são encontradas em favos de mel gerados pelas próprias abelhas nas colméias, a mesma é constituída por 72% de ésteres, 13,5% de ácidos livres e 12,5% de hidrocarbonetos, sendo o elemento Palmitato de merissila o principal entre os demais. Abaixo está representada a cadeia dos componentes encontrados na cera de abelha.

Figura 2 - Esquema da cadeia dos constituintes da cera de abelha.



Fonte: Fogaça, 2018.

“Em baixas temperaturas pode se tornar dura e quebradiça. É insolúvel em água e álcool frio, parcialmente solúvel em álcool quente e éter, solúvel em graxas quentes, azeite etéricos, benzeno quente, clorofórmio e terebentina.” (NUNES et al., 2012)

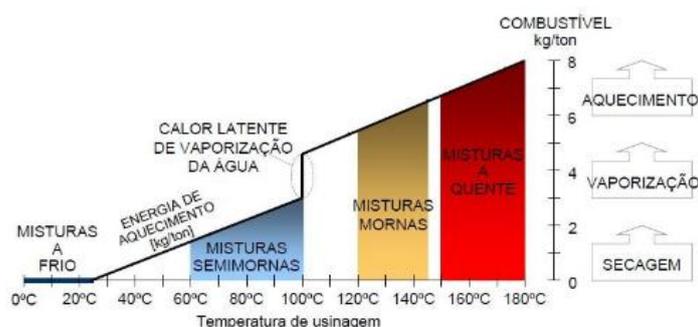
Segundo Nunes et al. (2012), os que mais consomem cera são as indústrias de cosméticos (pomadas, loções, cremes faciais e labiais), indústria de velas e indústria apícola, também é utilizada na constituição de cremes para calçados, materiais impermeabilizantes, indústria de armamento, produtos para polir pisos, móveis, couros etc; na indústria farmacêutica, como revestimento de cápsulas, formulação de pomadas e graxas, em pinturas com a técnica, na confecção de fita adesiva, tintas e vernizes, gomas de mascar e é considerado um ótimo isolante elétrico.

2.6.4 Misturas asfálticas mornas

Segundo Silvia (2015), as Misturas Asfálticas Mornas ou Warm Mix Asphalt – WMA surgiram na Europa com o objetivo de desenvolver uma mistura asfáltica que possibilitasse economia de energia e desempenho parecido ou até semelhante ao das misturas asfáltica a quente.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) descreve que as Misturas Asfálticas Mornas estão cada vez mais presentes no ramo da pavimentação, devido necessitar de temperaturas de usinagem e de compactação inferiores às usualmente utilizadas no procedimento e aplicação de misturas a quente. A Figura 3 esquematiza as variações médias de temperaturas de usinagem para os diversos tipos de misturas asfálticas.

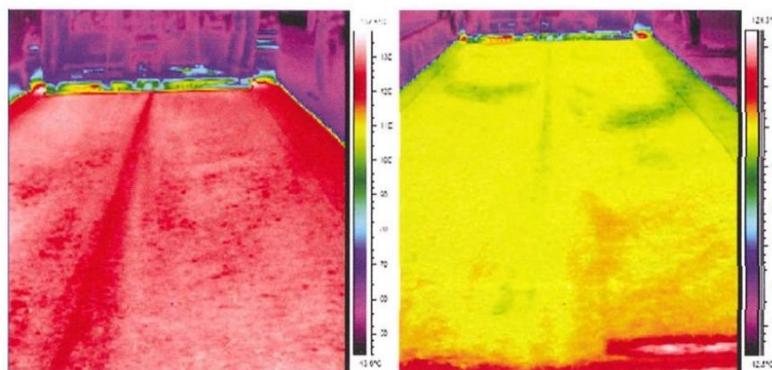
Figura 3 - Variações médias de temperaturas de usinagem para os diversos tipos de misturas asfálticas.



Fonte: Silvia, 2015.

Segundo Otto (2009), com o uso das misturas asfálticas mornas pode-se reduzir em torno dos 40% a temperatura de produção, desse modo, possibilita uma maior economia com relação aos custos com combustíveis aos contratantes, sendo que se a temperatura de usinagem pode levar a redução de 30% no consumo de energia combustível. A Figura 4 mostra a variação térmica das temperaturas de trabalho de duas vias, uma com o uso da mistura convencional a quente e outra com a mistura morna.

Figura 4 - Esquema das variações térmicas das temperaturas de trabalho de duas vias, uma com o uso da mistura convencional a quente (esquerda) e outra com a mistura morna (direita).



Fonte: Silvia, 2015.

2.7 Principais vantagens da Mistura Asfáltica Morna

De acordo com Silvia (2015), a utilização das misturas asfálticas mornas e as consideráveis reduções de temperatura no mesmo, possibilita inúmeras vantagens, entre elas estão:

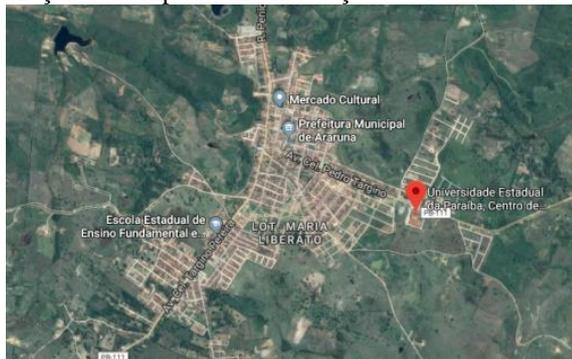
- Redução do envelhecimento do ligante asfáltico por oxidação, preservando a sua resposta elástica, o que retarda o processo do fissuramento dos revestimentos asfálticos;
- Diminuição da emissão de gases (CO_2 , CO e NO_2) e outros fumos nocivos ao meio ambiente;
- Redução da exposição dos trabalhadores aos fumos e odores, tanto na usina de asfalto como na aplicação;
- Aumento da distância de transporte de massa asfáltica, além da possibilidade da execução de remendos e aplicação de camadas mais delgadas com melhor qualidade, devido ao menor potencial de resfriamento;
- Melhoramento das condições técnicas de trabalho, potencializando a compactação da mistura asfáltica;
- Possibilidade de utilização de um volume maior de material de fresagem quando se usa em reciclagem;
- Menor desgaste na usina de asfalto em virtude da baixa temperatura de usinagem durante o processamento;
- Otimização do consumo de combustível e a conseqüente redução do custo da produção;
- Possibilidade de aplicação da mistura asfáltica em regiões de clima frio e em períodos mais frios da estação do ano.

3 METODOLOGIA

3.1 Local da pesquisa

A referente pesquisa foi realizada com os aparatos disponibilizados no Laboratório de Geotecnia e Materiais da Universidade Estadual da Paraíba, Campus VIII, Araruna, Paraíba, e teve como membro auxiliar o técnico Divaldo Lima. A Figura 5 representa a localização do campus em relação à cidade.

Figura 5 - Localização do campus VIII em relação à cidade de Araruna (PB).



Fonte: Google Maps, 2019.

3.2 Ligante asfáltico

O ligante utilizado nesta pesquisa foi o CAP 50/70, devido seu uso ser bastante disseminado na região nordeste do Brasil. A Figura 6 exibe uma amostra do ligante.

Figura 6 - Amostra do ligante Asfáltico.



Fonte: Autor, 2019.

3.3 Cera de abelha

A cera de abelha utilizada foi adquirida na cidade de Campina Grande (PB), obtida em formato de placas finas, com massa de 500 gramas. A Figura 7 mostra tal material.

Figura 7 - Placas de cera de abelha

Fonte: Autor, 2019.

3.4 Escolha da porcentagem da cera de abelha

Tal escolha foi estabelecida através de um projeto promovido pelo Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), onde foram verificadas as propriedades de Viscosidade Brookfield (ASTM D 4402/02), Ponto de amolecimento (NBR 6560/16) e Penetração (NBR 6576/07), sendo a adição de 5% de cera de abelha a que apresentou os melhores resultados quando comparadas as demais porcentagens trabalhadas na pesquisa.

3.5 Preparação da amostra do CAP 50/70 modificado com 5% da cera de abelha

De início foi realizada a separação de uma amostra do CAP 50/70 convencional, posteriormente passou por pesagem. A Figura 8 apresenta realização de procedimento.

Figura 8 - Amostra do CAP 50/70 sendo pesada.

Fonte: Autor, 2019.

Logo após, foi separada uma amostra da cera de abelha na porcentagem de 5%, relacionada ao peso inicial do ligante. A Figura 9 exhibe a amostra da cera.

Figura 9 - Amostra de cera de abelha sendo pesada.



Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, as amostras tanto da cera quanto do ligante foram levadas para a estufa a 100°C, até que apresentassem uma viscosidade favorável para a mistura. Com a retirada da cera e do CAP da estufa foi feita uma mistura manual utilizando uma concha metálica em movimentos circulares e constantes até que ambos os materiais apresentassem visualmente uma característica homogênea. Por fim, a Figura 10 apresenta as amostras após serem retiradas da estufa, e em seguida já o CAP aditivado com cera de abelha pronto para ser utilizado nos demais ensaios.

Figura 10 - Proporções de cera de abelha e ligante obtidos, juntamente com o CAP aditivado.



Fonte: Autor, 2019.

3.6 Dosagem Marshall - DNER-ME 043/95

3.6.1 Materiais para a dosagem

- Peneiras com abertura: 38; 25; 19; 12,7; 9,5; 4,8; 2,0; 0,42; 0 200 (mm);
- CAP 50/70;
- Balança de precisão (0,01g);
- Duas estufas;
- Colher metálica;

- Recipientes metálicos com capacidade para a mistura de agregados de um corpo de prova;
- Paquímetro;
- Compactador Marshall;
- Papeis filtros circulares;
- Extrator para corpo de prova Marshall;
- Prensa Marshall.

3.6.2 *Análise granulométrica dos agregados minerais*

Para a realização deste ensaio foi utilizada a série de peneiras e distadas na norma DNER-ME 083/98. Os agregados a serem utilizados foram inicialmente direcionados para estufa a 110°C, durante 24 horas para eliminar a umidade, e em seguida peneirados manualmente. A Figura 11 apresenta o conjunto de peneiras utilizadas.

Figura 11 - Sequência de peneiras utilizadas para o ensaio de peneiramento.



Fonte: Autor, 2019.

3.6.3 *Escolha da faixa granulométrica*

Para a escolha da faixa a ser utilizada como base desta pesquisa, foi estabelecida que a mistura fosse destinada para aplicação em camada de rolamento (Faixa C), estimando tolerâncias no quesito da granulometria (DNER - ME 083/98), como também à percentagem de ligante nas misturas. O Quadro 1 mostra a relação entre a abertura das peneiras e a porcentagem de passantes exigidas por norma.

Quadro 1 - Composição do concreto asfáltico.

| Peneira de malha quadrada | | % em massa, passando | | | |
|-------------------------------|------------------|---|--|----------------------------------|-------------|
| Série ASTM | Abertura (mm) | A | B | C | Tolerâncias |
| 2" | 50,8 | 100 | - | - | - |
| 1 ½" | 38,1 | 95 - 100 | 100 | - | ± 7% |
| 1" | 25,4 | 75 - 100 | 95 - 100 | - | ± 7% |
| ¾" | 19,1 | 60 - 90 | 80 - 100 | 100 | ± 7% |
| ½" | 12,7 | - | - | 80 - 100 | ± 7% |
| 3/8" | 9,5 | 35 - 65 | 45 - 80 | 70 - 90 | ± 7% |
| Nº 4 | 4,8 | 25 - 50 | 28 - 60 | 44 - 72 | ± 5% |
| Nº 10 | 2,0 | 20 - 40 | 20 - 45 | 22 - 50 | ± 5% |
| Nº 40 | 0,42 | 10 - 30 | 10 - 32 | 8 - 26 | ± 5% |
| Nº 80 | 0,18 | 5 - 20 | 8 - 20 | 4 - 16 | ± 3% |
| Nº 200 | 0,075 | 1 - 8 | 3 - 8 | 2 - 10 | ± 2% |
| Asfalto solúvel no CS2(+) (%) | | 4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder) | 4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento | 4,5 - 9,0 Camada de rolamento | ± 0,3% |

Fonte: DNIT 031/2006, modificado pelo autor, 2019.

3.6.4 Determinação da composição granulométrica da mistura de agregados, a partir da granulometria

De posse dos dados do material passante, foi realizada uma análise na Tabela 1 programada no programa Excel, encontrando o total de agregados a serem utilizados. Tal material foi usado para moldar corpos de prova com massa estimada de 1200 gramas, de acordo com a Quadro 1.

Tabela 1 - Porcentagem dos materiais para os corpos de prova.

AJUSTAGEM DE GRANULOMETRIA

| PENEIRAS | PORCENTAGEM PASSANDO | | | | | | | | | | |
|----------|----------------------|-------|-----------|-------|--------|-------|--------|------|-----------------|---------------|---------|
| | BRITA 19 | | BRITA 9,5 | | Areia | | FILER | | COMBIN. RESULT. | ESPECIFICAÇÃO | |
| | TOTAL | 20% | TOTAL | 35% | TOTAL | 42% | TOTAL | 3% | | PT. MED. | LIMITES |
| 1 1/2" | 100,00 | 20,00 | 100,00 | 35,00 | 100,00 | 42,00 | 100,00 | 3,00 | 100,00 | - | - |
| 1" | 100,00 | 20,00 | 100,00 | 35,00 | 100,00 | 42,00 | 100,00 | 3,00 | 100,00 | - | - |
| 3/4" | 92,45 | 18,49 | 100,00 | 35,00 | 100,00 | 42,00 | 100,00 | 3,00 | 98,49 | 100 | 100 |
| 1/2" | 27,98 | 5,60 | 99,07 | 34,67 | 100,00 | 42,00 | 100,00 | 3,00 | 85,27 | 90 | 80-100 |
| 3/8" | 9,08 | 1,82 | 85,98 | 30,09 | 99,49 | 41,79 | 100,00 | 3,00 | 76,69 | 80 | 70-90 |
| Nº 4 | 0,24 | 0,05 | 14,05 | 4,92 | 98,01 | 41,17 | 100,00 | 3,00 | 49,13 | 58 | 44-72 |
| Nº 10 | 0,06 | 0,01 | 2,16 | 0,75 | 95,35 | 40,05 | 100,00 | 3,00 | 43,82 | 36 | 22-50 |
| Nº 40 | 0,05 | 0,01 | 0,12 | 0,04 | 42,88 | 18,01 | 100,00 | 3,00 | 21,06 | 17 | 8-26 |
| Nº 80 | | 0,00 | | 0,00 | | 0,00 | 100,00 | 3,00 | 3,00 | 10 | 4-16 |
| Nº 200 | 0,01 | 0,00 | 0,03 | 0,01 | 0,98 | 0,41 | 100,00 | 3,00 | 3,43 | 6 | 2-10 |

Fonte: Autor, 2019.

3.6.5 Cálculo das percentagens da mistura e da densidade máxima teórica (DMT)

Para o cálculo das percentagens, foram realizadas correções dos valores encontrados na Tabela 3, devido às proporções de CAP terem sido utilizadas de 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5% e 7,0% para fabricação dos corpos de prova. Desse modo, houve mudanças nos valores da DMT dos materiais envolvidos. A Tabela 2 mostra as proporções utilizadas de agregados para fabricação dos corpos de prova de acordo com os teores de asfalto.

Tabela 2 - Porcentagens de agregados com relação aos teores de CAP.

| Teores de CAP (%) | % Brita 19 | % Brita 9,5 | % Areia | % Filer |
|-------------------|------------|-------------|---------|---------|
| 5,0 | 19,0 | 33,250 | 39,90 | 2,850 |
| 5,5 | 18,9 | 33,075 | 39,69 | 2,830 |
| 6,0 | 18,8 | 32,900 | 39,48 | 2,820 |
| 6,5 | 18,7 | 32,725 | 39,27 | 2,805 |
| 7,0 | 18,6 | 32,550 | 39,06 | 2,790 |

Fonte: Autor, 2019.

Em seguida foi feito a relação destas percentagens com relação à massa total estimada para cada corpo de prova, em gramas. A Tabela 3 mostra tais valores.

Tabela 3 - Quantidades de materiais utilizados para fabricação dos corpos de prova.

| Teores de CAP (%) | Brita 19 (g) | Brita 9,5 (g) | Areia (g) | Filer (g) | CAP (g) | TOTAL (g) |
|-------------------|--------------|---------------|-----------|-----------|---------|-----------|
| 5,0 | 228,0 | 399,0 | 478,80 | 34,2 | 60,0 | 1200,0 |
| 5,5 | 226,8 | 396,9 | 476,28 | 33,96 | 66,0 | 1200,0 |
| 6,0 | 225,6 | 394,8 | 473,76 | 33,84 | 72,0 | 1200,0 |
| 6,5 | 224,4 | 392,7 | 471,24 | 33,66 | 78,0 | 1200,0 |
| 7,0 | 223,2 | 390,6 | 468,72 | 33,48 | 84,0 | 1200,0 |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 12 exibe algumas das pesagens realizadas nos agregados com relação aos diferentes teores de CAP.

Figura 12 - Agregados sendo pesados de acordo com o valor do teor de CAP.



Fonte: Autor, 2019.

Para o cálculo da DMT foram utilizadas as massas específicas reais do asfalto, agregado graúdo, agregado miúdo de acordo com Bernucci et al. (2007), e para o filer, como foi usado amassa específica do cimento Portland. A Tabela 4 trás esses valores.

Tabela 4 - Massas específicas reais.

| Constituintes | Brita 19 | Brita 9,5 | Areia | Filer | Asfalto |
|--|----------|-----------|-------|-------|---------|
| Massa específica real, g/cm ³ | 2,656 | 2,656 | 2,645 | 3,150 | 1,0268 |

Fonte: Bernucci et al. (2007), modificado pelo autor, 2019.

Logo, calculou-se a DMT através da seguinte fórmula:

$$DMT = \frac{100}{\frac{a(\%)}{G_a} + \frac{Ag(\%)}{G_{ag}} + \frac{Am(\%)}{G_{am}} + \frac{f(\%)}{G_f}} \quad \text{Eq. 01}$$

Onde,

$a(\%)$: Porcentagem de asfalto, expressão em relação a massa total da mistura asfáltica;

$Ag(\%)$, $Am(\%)$ e $f(\%)$: Porcentagens do agregado graúdo, agregado miúdo e filler;

G_a , G_{ag} , G_{am} e G_f : Massas específicas reais do asfalto, agregado graúdo, agregado miúdo e filler.

3.6.6 Confeção dos corpos de prova Marshall – DNIT 178/2018 –PRO

Depois de feita todas as pesagens dos agregados relacionadas a cada teor, tais materiais foram encaminhados para a estufa programada a uma temperatura de 165°C, sendo retirados quando apresentasse internamente este mesmo valor. A Figura 13 mostra os agregados adicionados em estufa.

Figura 13 - Agregados misturados e adicionados em estufa a 165°C.



Fonte: Autor, 2019.

Em outra estufa programada a 150°C, foi adicionado o CAP 50/70 convencional, sendo retirado até que apresentasse internamente este mesmo valor. A Figura 14 exhibe o ligante dentro da estufa.

Figura 14 - Amostra de ligante em estufa a 150°C.



Fonte: Autor, 2019.

Em seguida, com as temperaturas tanto dos agregados, quanto do ligante nos valores inicialmente estimados, sendo o primeiro levado para a balança de precisão e em seguida adicionado o CAP 50/70 convencional. Com auxílio de uma espátula metálica foi feita a mistura destes materiais rapidamente para que não houvesse perda de temperatura com o ambiente. As Figuras 15 e 16 exibem a parte onde houve a mistura dos agregados com o CAP convencional.

Figura 15 - CAP 50/70 adicionado na mistura de agregados.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 16 - CAP 50/70 sendo misturado aos agregados com auxílio de uma colher metálica.



Fonte: Autor, 2019.

Após esse procedimento, a mistura foi encaminhada para o compactador Marshall, para a realização da compactação de acordo com o DNER-ME 043/95. A Figura 17 demonstra esse procedimento.

Figura 17 - Mistura de CAP 50/70 convencional e agregados sendo adicionados ao molde do compactador Marshall manual.



Fonte: Autor, 2019.

A norma do DNER-ME 043/95, indica 75 golpes em cada face dos corpos de prova com auxílio de um soquete de aproximadamente 4,5 kg. As Figuras 18 e 19 exibem o compactador Marshall manual e a execução da fase de compactação.

Figura 18 - Compactador Marshall manual.



Fonte: Autor, 2019.

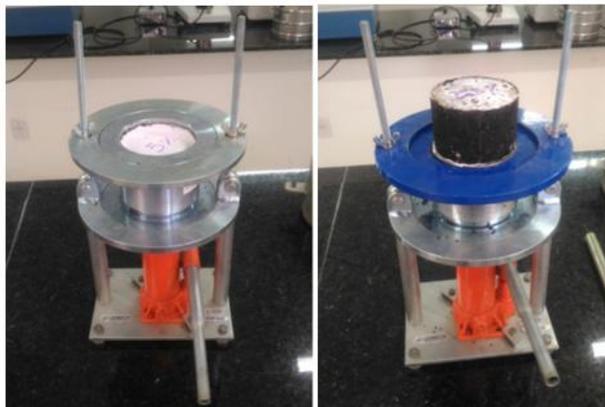
Figura 19 - Corpo de prova sendo compactado com uso do compactador Marshall manual.



Fonte: Autor, 2019.

Depois da compactação, os corpos de prova foram deixados em repouso durante 24 horas, sendo desmoldados com auxílio de um extrator, e separados de acordo com cada teor de CAP trabalhados. A Figura 20 mostra o início e fim, do processo de extração.

Figura 20 - Corpo de prova sendo desmoldado com auxílio de extrator.



Fonte: Autor, 2019.

Abaixo a Figura 21 exibe os 15 (quinze) corpos de prova produzidos com o CAP 50/70, no sentido de baixo para cima foram nomeados de 1 a 3, com relação a cada teor.

Figura 21 - Corpos de prova Marshall produzidos com o CAP 50/70 convencional.



Fonte: Autor, 2019.

Foram realizadas três medições em posições equidistantes, tanto nos diâmetros, quanto nas alturas dos corpos de prova com uso de um paquímetro, desse modo foi obtido seus valores através de suas médias aritméticas. As Figuras 22 e 23 exibem este procedimento.

Figura 22 - Medição da altura de um corpo de prova Marshall.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 23 - Medição do diâmetro de um corpo de prova Marshall.



Fonte: Autor, 2019.

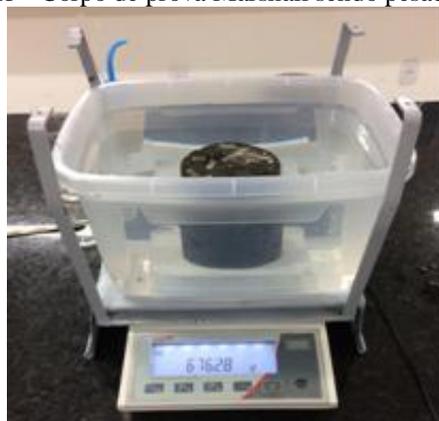
Os corpos de prova passaram pela pesagem ao ar, com o uso de uma balança de precisão, e logo após foram feitas as pesagens imersas. As Figuras 24 e 25 mostram esse procedimento.

Figura 24 - Corpo de prova Marshall sendo pesados ao ar.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 25 - Corpo de prova Marshall sendo pesado imerso.



Fonte: Autor, 2019.

3.7 Obtenção da estabilidade e fluência

Para o cálculo da estabilidade lida (kgf) foi utilizada a constante ($K = 1,190$) da prensa Marshall multiplicada com os valores das voltas dadas pelo extensômetro. Em seguida foi realizada a interpolação linearmente dos fatores encontrados na Tabela (anexo normativo) da norma DNER-ME 043/95 em função da espessura de cada corpo de prova.

Com relação à fluência, foi feita a aferição simultaneamente ao ensaio de estabilidade. No momento inicial da acoplagem do corpo de prova no molde de compressão, se fez a primeira medição dos pinos-guia, e a segunda realizada após o rompimento do corpo de prova, sendo a fluência dada pela diferença entre estes valores.

3.8 Cálculo dos parâmetros volumétricos de resistência e deformabilidade das misturas com CAP 50/70

3.8.1 Volume de vazios (V_v)

Para o cálculo do V_v (%) foi necessário inicialmente calcular a massa específica aparente da mistura asfáltica compactada (G_{mb}), regida pela ASTM D 1188/07. Seu valor é dado pela razão entre a massa seca (P_{ar}), a uma temperatura prefixada pesada logo após a retirada do papel filtro dos corpos de prova, e a massa de um volume igual de água destilada livre de gás a mesma temperatura, ou seja, sendo dada por:

$$G_{mb} = \frac{P_{ar}}{P_{ar} - P_i} \quad \text{Eq. 02}$$

Onde,

Par: massa de corpo de prova compactado na condição de superfície saturada seca, que corresponde ao corpo de prova com poros superficiais saturados;

Pi: massa de corpo de prova compactado na condição de superfície saturada seca e posteriormente submerso em água.

Após esta etapa, juntamente com os valores das densidades máximas teóricas (DMT) de todos os corpos de prova, foi possível calcular os valores dos volumes de vazios destes, através da fórmula abaixo.

$$V_v = \left(1 - \frac{G_{mb}}{DMT}\right) \times 100 \quad \text{Eq. 03}$$

3.8.2 Volume de vazios nos agregados minerais (VAM)

Para o cálculo do VAM foi necessário calcular o valor de vazios com betume (VCB) dos corpos de prova, formado pela soma entre o volume de vazios (V_v), juntamente com o volume de vazios cheios de betume (VCB).

$$VAM = V_v + VCB \quad \text{Eq. 04}$$

3.9 Cálculo do teor ótimo de ligante asfáltico

Para o cálculo do teor ótimo foram utilizados os 5 (cinco) valores médios do V_v e RBV adquiridos nos grupos dos corpos de prova, obtendo por fim o Gráfico do teor de

CAP, expresso no eixo “x” versus Vv (no eixo “y1”) e RBV (no eixo “y2”). Em seguida foram adicionadas as setas de tendência com relação aos parâmetros.

Como nesta pesquisa trabalhamos com os valores para a Faixa C, própria para camada de rolamento, foram ajustados no Gráfico do teor ótimo os valores máximos e mínimos expostos na Tabela 5.

Tabela 5 - Limites de Vv e RBV para diferentes faixas granulométricas de concreto asfáltico.

| Faixas | Vv (%) | | RBV (%) | |
|----------------------------|--------|-----|---------|-----|
| | Mín | Máx | Mín | Máx |
| A (DNIT 031/2014) | 4 | 6 | 65 | 72 |
| B e C (DNIT 031/2004) | 3 | 5 | 75 | 82 |
| 3 (Aeronáutica, rolamento) | 3 | 5 | 70 | 80 |
| 7 (Aeronáutica, ligação) | 5 | 7 | 50 | 70 |

Fonte: Bernucci et al. (2008), modificado pelo autor.

A partir da intersecção das linhas de tendência do Vv e do RBV com os limites respectivos de cada um destes parâmetros, são determinados quatro teores de CAP (X1, X2, X3 e X4) (BERNUCCI et al., 2008). Sendo o valor do teor ótimo dado pela média aritmética entre X2 e X3.

3.10 Obtenção das propriedades mecânicas da mistura asfáltica morna

Utilizando o teor ótimo de 6,55% do CAP com adição de 5% de cera de abelha, foram confeccionados 12 corpos de prova, sendo 6 usinados e compactados a temperatura de 130°C, e o restante usinados e compactados a 140°C. Depois disto, foi feito a relação destas porcentagens com a massa total estimada para cada corpo de prova, em gramas (1200 g). A Figura 26 abaixo mostra algumas das pesagens feitas nos agregados para confecção dos corpos.

Figura 26 - Agregados sendo pesados de acordo com o valor do teor de CAP de 6,55%.



Fonte: Autor, 2019.

Após a pesagem e encaminhamento para a estufa, os corpos de prova foram fabricados de acordo com o item 3.6.6 deste trabalho, variando somente os valores das temperaturas dos agregados e ligantes.

3.10.1 Estabilidade Marshall e Fluência - DNER 043/95

Logo em seguida a confecção dos corpos de prova, extração, pesagens, procedimento este já citado no item 3.6.6, tais amostras foram adicionadas em banho maria a temperatura de 60°C durante 2 horas, sendo após este período, levadas para a prensa Marshall, com intuito de aferir os valores de fluência e estabilidade. A Figura 27 exhibe algumas das amostras em banho maria.

Figura 27 - Corpos de prova em banho maria a 60°C.



Fonte: Autor, 2019.

Após este tempo, os mesmos foram secos e dirigidos para a prensa Marshall. As Figuras 28 e 29 exibem uma das amostras sendo seca com o uso de um tecido absorvente e adicionadas a prensa, com intuito de aferir os valores de fluência e estabilidade.

Figura 28 - Uma das amostras sendo seca após ser retirada do banho maria.



Fonte: Autor, 2019.

Figura 29 - Corpo de prova acoplado a Prensa Marshall, para obtenção da estabilidade e fluência.



Fonte: Autor, 2019.

3.10.2 Resistência à tração por compressão diametral (RT) - DNIT 136/2018 - ME

Para este ensaio, foram confeccionados ao todo 6 (seis) corpos de prova, sendo 3 (três) usinados e compactados na temperatura de 130°C, e o restante em 140°C. A confecção foi realizada como já mencionado nos itens anteriores, passando por 4 medidas equidistantes com uso do paquímetro para os diâmetros e alturas de cada corpo de prova, sendo adotado o valor médio dessas medidas.

Após este procedimento, foram levados para banho maria com a temperatura controlada de $25 \pm 0,5$ °C, durante 4 (quatro) horas, antes de se realizar tal ensaio. A Figura 30 exibe esta etapa.

Figura 30 - Corpos de prova em banho maria a 25°C.



Fonte: Autor, 2019.

Imediatamente após este período, os corpos de prova foram posicionados no dispositivo centralizador da prensa, estando à superfície cilíndrica entre os dois frises do molde de compressão. Logo, havendo a aplicação da carga vertical progressiva até que gerasse a ruptura completa, ou seja, que o corpo de prova estivesse com o plano diametral vertical rompido. A Figura 31 exibe um corpo de prova já inserido na prensa.

Figura 31 - Corpo de prova acoplado no molde de compressão da prensa Marshall.



Fonte: Autor, 2019.

Para encontrar o valor da carga de ruptura foi utilizada a Eq. 5.

$$F = 1,91065 x \quad \text{Eq.5}$$

Onde,

F – carga de ruptura (N);

k – constante da prensa (1,91065(N mm));

x – quantidade de voltas no marcador da prensa Marshall.

Logo, com o valor da carga de ruptura foi possível definir a tensão de tração no corpo de prova, conforme a Eq 6.

$$\sigma = \frac{2xF}{100x\pi x D x h} \quad \text{Eq.6}$$

Onde,

σ - resistência à tração, à temperatura do ensaio, em MPa;

F - carga de ruptura, em N;

D - diâmetro de corpo de prova, em mm;

H - altura do corpo de prova (espessura), em mm.

A Figura 32 mostra o corpo de com o plano diametral vertical rompido ainda acoplado no molde de compressão e em vista frontal.

Figura 32 - Corpo de prova com plano diametral rompido.



Fonte: Autor, 2019.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Especificações Brasileiras – DNIT: CAUQ

Como tal pesquisa deu ênfase ao uso do material para camada de rolamento, tais resultados obtidos foram comparados aos valores estabelecidos na Tabela 6, que especifica os limites exigidos pelo DNIT para o CAUQ.

Tabela 6 - Valores limites para o CAUQ de acordo com o DNIT.

| Características | Método de ensaio | Camada de Rolamento | Camada de ligação (Binder) |
|--|------------------|---------------------|----------------------------|
| Porcentagem de vazios, % | DNER - ME 043 | 3 a 5 | 4 a 6 |
| Relação betume/vazios | DNER - ME 044 | 75 - 82 | 65 -72 |
| Estabilidade, mínima (kgf) (75 golpes) | DNER - ME 045 | 500 | 500 |
| Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa | DNER - ME 138 | 0,65 | 0,65 |

Fonte: DNIT 031/2006 – ES, modificado pelo autor.

4.2 Dosagem Marshall

4.2.1 Determinação das porcentagens da brita 19

A Tabela 7 mostra os valores referentes à análise da brita 19.

Tabela 7 – Granulometria brita 19.

| Peneira | Massa (g) | Retido (%) | Retido Acumulado (%) | Passante (%) |
|-------------|-----------|------------|----------------------|--------------|
| 38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 377,27 | 7,55 | 7,55 | 92,45 |
| 12,7 | 3223,41 | 64,47 | 72,02 | 27,98 |
| 9,5 | 945,1 | 18,9 | 90,92 | 9,08 |
| 4,8 | 442,24 | 8,85 | 99,76 | 0,24 |
| 2,0 | 8,67 | 0,17 | 99,94 | 0,06 |
| 0,42 | 0,65 | 0,01 | 99,95 | 0,05 |
| 0,0075 | 1,91 | 0,04 | 99,99 | 0,01 |
| Fundo | 0,52 | 0,01 | 100,00 | 0,00 |
| Massa Total | 4999,77 | | | |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 33 exibe a granulometria da brita 19, após o ensaio granulométrico.

Figura 33- Granulometria da brita 19.



Fonte: Autor, 2019.

4.2.2 Determinação da porcentagem de brita 9,5

Na Tabela 8 mostra os resultados obtidos da brita 9,5.

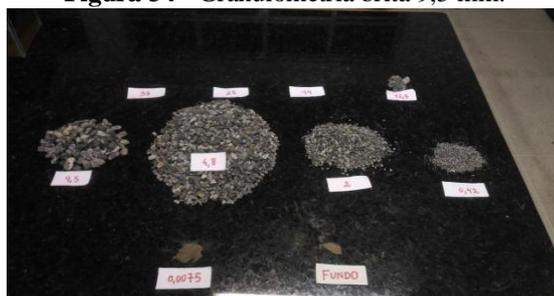
Tabela 8 - Granulometria brita 9,5.

| Peneira | Massa (g) | Retido (%) | Retido Acumulado (%) | Passante (%) |
|-------------|-----------|------------|----------------------|--------------|
| 38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12,7 | 23,26 | 0,93 | 0,93 | 99,07 |
| 9,5 | 327,12 | 13,09 | 14,02 | 85,98 |
| 4,8 | 1797,41 | 71,93 | 85,95 | 14,05 |
| 2,0 | 297,22 | 11,89 | 97,84 | 2,16 |
| 0,42 | 50,77 | 2,03 | 99,88 | 0,12 |
| 0,0075 | 2,36 | 0,09 | 99,97 | 0,03 |
| Fundo | 0,76 | 0,03 | 100,00 | 0,00 |
| Massa Total | 2498,90 | | | |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 35 exibe a granulometria da brita 9,5 mm.

Figura 34 - Granulometria brita 9,5 mm.



Fonte: Autor, 2019.

4.2.3 Determinação da porcentagem de areia

A Tabela 9 mostra os valores obtidos.

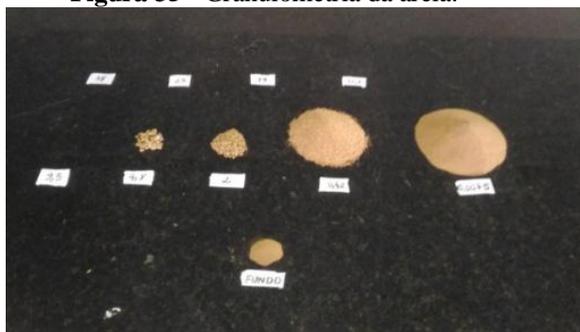
Tabela 9 - Granulometria da Areia.

| Peneira | Massa (g) | Retido (%) | Retido Acumulado (%) | Passante (%) |
|-------------|-----------|------------|----------------------|--------------|
| 38 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 25 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 19 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 12,7 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 100,00 |
| 9,5 | 5,11 | 0,51 | 0,51 | 99,49 |
| 4,8 | 14,73 | 1,47 | 1,99 | 98,01 |
| 2,0 | 26,60 | 2,66 | 4,65 | 95,35 |
| 0,42 | 524,46 | 52,47 | 57,12 | 42,88 |
| 0,0075 | 418,73 | 41,90 | 99,02 | 0,98 |
| Fundo | 9,840 | 0,98 | 100,00 | 0,00 |
| Massa Total | 999,47 | | | |

Fonte: Autor, 2019.

A Figura 36 exibe a granulometria da areia.

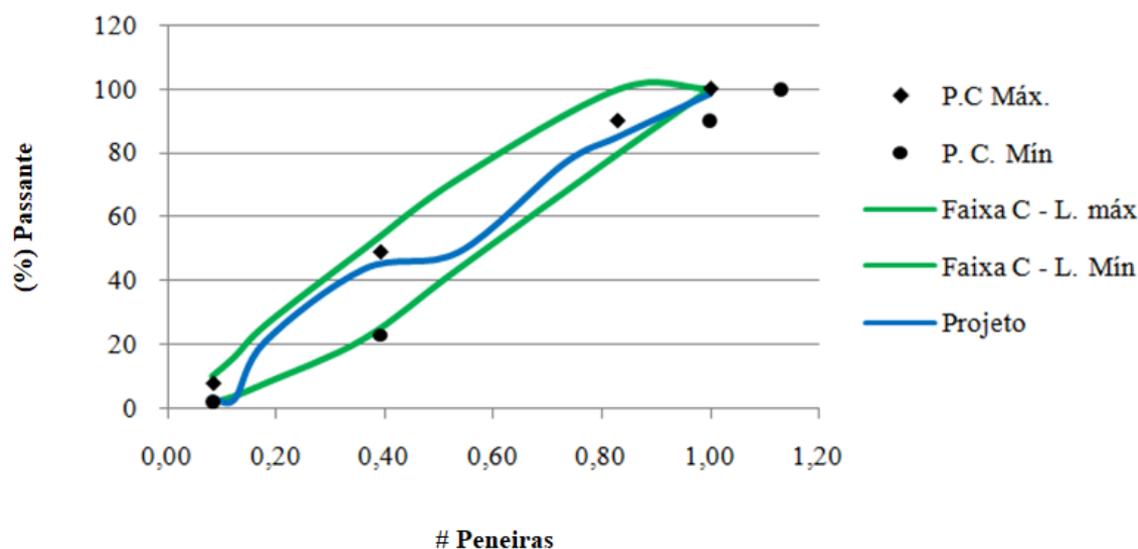
Figura 35 - Granulometria da areia.



Fonte: Autor, 2019.

Analisando-se os resultados obtidos dos percentuais passantes, nota-se que a composição granulométrica se apresentou dentro dos parâmetros mostrados na norma do DNIT 031/2006 – ES, com relação a tais agregados serem adequados ao uso em camadas de rolamentos. O Gráfico 1 apresenta a composição granulométrica trabalhada, estando dentro dos parâmetros da Faixa C.

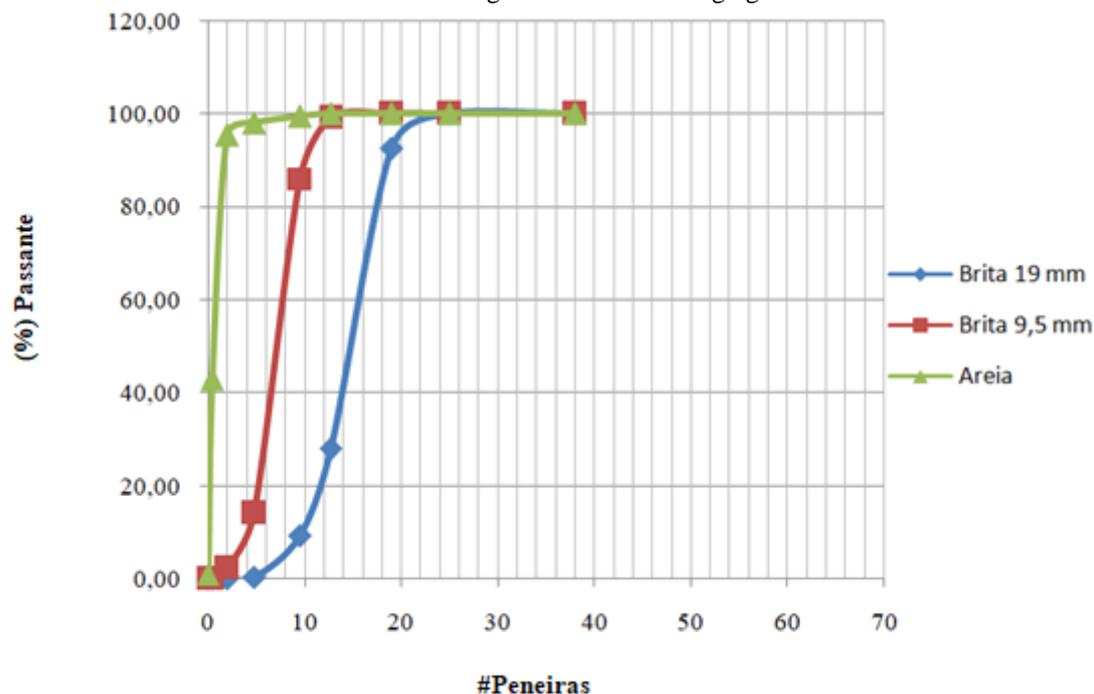
Gráfico 1 - Composição granulométrica de projeto dentro das faixas limites para uso em camadas de rolamento.



Fonte: Autor, 2019.

4.3 Curva granulométrica dos agregados

Utilizando os dados do Passante (%) das Tabelas 7, 8 e 9 com relação às aberturas das peneiras, foi produzido o Gráfico 2, que traz o comportamento de cada agregado na curva granulométrica densa.

Gráfico 2 - Curva granulométrica dos agregados.

Fonte: Autor, 2019.

4.4 Medições e pesagens dos corpos de prova à base de CAP convencional

A Tabela 10 exibe os valores medidos tanto para os diâmetros (D) quanto para as alturas (h) e suas médias de acordo com cada teor de CAP.

Tabela 10 - Valores obtidos de cada corpo de prova a base de CAP convencional.

| Teores de CAP (%) | Corpos de prova | D (cm) | | | Dm (cm) | h (cm) | | | hm(cm) |
|-------------------|-----------------|--------|-------|-------|---------|--------|-----|-----|--------|
| | | | | | | | | | |
| 5,0 | 1,0 | 10,1 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,6 | 6,7 | 6,7 | 6,67 |
| | 2,0 | 10,05 | 10,10 | 10,10 | 10,08 | 6,7 | 6,9 | 6,9 | 6,83 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,9 | 6,8 | 6,9 | 6,86 |
| 5,5 | 1,0 | 10,10 | 10,20 | 10,10 | 10,13 | 6,7 | 6,7 | 6,7 | 6,70 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,00 | 10,15 | 10,08 | 6,5 | 6,6 | 6,5 | 6,53 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,10 | 10,15 | 10,11 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,50 |
| 6,0 | 1,0 | 10,10 | 10,10 | 10,15 | 10,11 | 6,5 | 6,5 | 6,5 | 6,50 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,0 | 10,10 | 10,06 | 6,6 | 6,7 | 6,6 | 6,63 |
| | 3,0 | 10,20 | 10,10 | 10,10 | 10,13 | 6,9 | 6,6 | 6,6 | 6,70 |
| 6,5 | 1,0 | 10,10 | 10,15 | 10,10 | 10,11 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,33 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,3 | 6,2 | 6,3 | 6,26 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,15 | 10,15 | 10,13 | 6,4 | 6,4 | 6,3 | 6,36 |
| 7,0 | 1,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,4 | 6,4 | 6,4 | 6,40 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,1 | 6,2 | 6,4 | 6,23 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,1 | 6,2 | 6,4 | 6,23 |

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 11 mostra os valores das pesagens realizadas para cada corpo e seus valores médios.

Tabela 11 - Valores pesados dos corpos de prova para cada teor de CAP convencional.

| Teores de CAP (%) | Corpos de prova | P seco (g) | P imerso (g) |
|-------------------|-----------------|------------|--------------|
| 5,0 | 1,0 | 1171,75 | 655,80 |
| | 2,0 | 1181,17 | 668,83 |
| | 3,0 | 1171,50 | 663,58 |
| 5,5 | 1,0 | 1185,70 | 678,08 |
| | 2,0 | 1156,98 | 661,35 |
| | 3,0 | 1171,96 | 673,19 |
| 6,0 | 1,0 | 1167,04 | 671,48 |
| | 2,0 | 1177,74 | 675,65 |
| | 3,0 | 1172,65 | 671,07 |
| 6,5 | 1,0 | 1169,65 | 663,46 |
| | 2,0 | 1173,61 | 660,91 |
| | 3,0 | 1192,77 | 674,01 |
| 7,0 | 1,0 | 1191,92 | 674,00 |
| | 2,0 | 1187,20 | 676,28 |
| | 3,0 | 1184,03 | 670,66 |

Fonte: Autor, 2019.

4.5 Obtenção da estabilidade e fluência com relação a cada teor de CAP

A Tabela 12 mostra os novos fatores interpolados, juntamente com as estabilidades médias corrigidas para cada teor.

Tabela 12 - Valores médios corrigidos das estabilidades de acordo com cada teor.

| Teores de CAP (%) | Corpos de prova | K (kgfmm) | Quant de voltas (x) | Fator | Estabilidade méd. lida (kgf) | Estabilidade corrigida (kgf) | Estabilidade méd. corrigida (kgf) |
|-------------------|-----------------|-----------|---------------------|--------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| 5 | 1 | 1,91 | 329 | 0,9300 | 936,54 | 584,4 | 839,6 |
| | 2 | 1,91 | 542 | 0,8900 | | 921,3 | |
| | 3 | 1,91 | 600 | 0,8840 | | 1013,1 | |
| 5,5 | 1 | 1,91 | 610 | 0,9225 | 1289,25 | 1074,8 | 1222,5 |
| | 2 | 1,91 | 635 | 0,9560 | | 1159,5 | |
| | 3 | 1,91 | 780 | 0,9620 | | 1433,2 | |
| 6 | 1 | 1,91 | 721 | 0,9620 | 1353,55 | 1324,8 | 1273,77 |
| | 2 | 1,91 | 770 | 0,9367 | | 1377,6 | |
| | 3 | 1,91 | 635 | 0,9225 | | 1118,9 | |
| 6,5 | 1 | 1,91 | 610 | 1,0050 | 1219,22 | 1170,9 | 1226,97 |
| | 2 | 1,91 | 620 | 1,0175 | | 1204,9 | |
| | 3 | 1,91 | 685 | 0,9975 | | 1305,1 | |
| 7 | 1 | 1,91 | 490 | 0,9875 | 1167,01 | 924,2 | 1188,73 |
| | 2 | 1,91 | 653 | 1,0300 | | 1284,6 | |
| | 3 | 1,91 | 690 | 1,0300 | | 1357,4 | |

Fonte: Autor, 2019.

Ao observar os valores encontrados para as estabilidades médias corrigidas, concluí-se que as mesmas estão de acordo com a norma do DNIT 031/2006 – ES, pois superam o valor de 500 kgf, utilizando na confecção dos corpos de prova os 75 golpes no compactador Marshall.

Com relação à fluência, a Tabela 13 expressa os valores obtidos para cada teor trabalhado.

Tabela 13 - Valores obtidos para fluência com relação a cada teor.

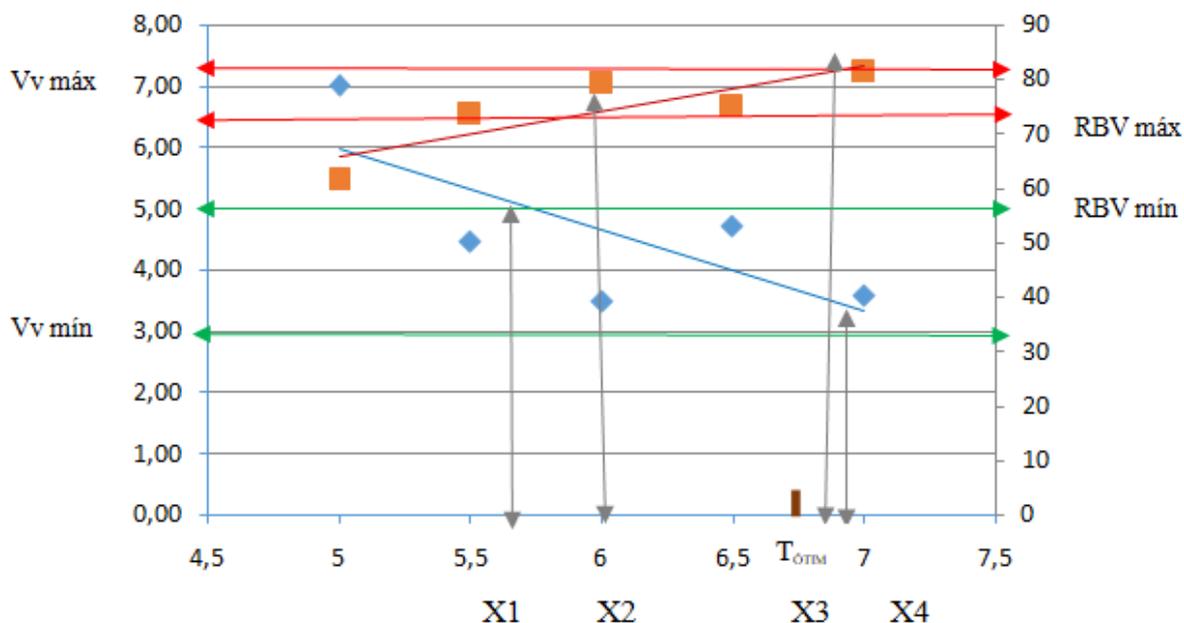
| Teores de CAP (%) | Corpos de prova | Fluência (mm) | | | Média |
|-------------------|-----------------|---------------|------------|-----------|-------|
| | | Med. Inicial | Med. Final | Resultado | |
| 5,0 | 1,0 | 3,0 | 10,0 | 7,0 | 6,67 |
| | 2,0 | 1,0 | 8,0 | 7,0 | |
| | 3,0 | 3,0 | 9,0 | 6,0 | |
| 5,5 | 1,0 | 2,0 | 8,0 | 6,0 | 6,50 |
| | 2,0 | 1,0 | 8,0 | 7,0 | |
| | 3,0 | 2,0 | 8,5 | 6,5 | |
| 6,0 | 1,0 | 2,0 | 7,8 | 5,8 | 6,50 |
| | 2,0 | 2,0 | 9,0 | 7,0 | |
| | 3,0 | 2,8 | 9,5 | 6,7 | |
| 6,5 | 1,0 | 3,0 | 9,0 | 6,0 | 6,43 |
| | 2,0 | 2,0 | 9,3 | 7,3 | |
| | 3,0 | 2,5 | 8,5 | 6,0 | |
| 7,0 | 1,0 | 2,0 | 8,0 | 6,0 | 5,57 |
| | 2,0 | 2,5 | 8,0 | 5,5 | |
| | 3,0 | 3,0 | 8,2 | 5,2 | |

Fonte: Autor, 2019.

Ao comparar os resultados da fluência média encontradas em cada teor com a estabelecida pelo DNIT, notasse que nenhum dos teores se apresentou dentro dos parâmetros, visto que determina valores de fluência entre 2,0 a 4,5mm para o CAUQ, logo, este material se aplicado em vias de tráfego constante, acarretaria esmagamento da mistura, causando ondulações, tais como, trilhos de roda ou exsudação.

4.6 Cálculo do teor ótimo

O valor encontrado para o teor ótimo foi de 6,55%, sendo este utilizado para a confecção dos corpos de prova usinados e compactados a 130°C e 140°C. O Gráfico 3 mostra tal valor.

Gráfico 3 - Cálculo do teor ótimo de CAP.

Fonte: Autor, 2019.

4.7 Obtenção das propriedades mecânicas da mistura asfáltica morna

A Tabela 14 traz as proporções utilizadas de agregados com o uso dos 6,55% do CAP modificado com a cera de abelha.

Tabela 14 - Porcentagens de agregados com relação ao teor de CAP de 6,55%.

| Teores de CAP (%) | % Brita 19 | % Brita 9,5 | % Areia | % Filer |
|-------------------|------------|-------------|---------|---------|
| 6,55 | 18,69 | 32,70 | 39,25 | 2,80 |

Fonte: Autor, 2019.

A Tabela 15 exibe a quantidade em gramas usada de cada agregado e ligante modificado.

Tabela 15 - Quantidades de materiais utilizados para fabricação dos corpos de prova.

| Teores de CAP (%) | Brita 19 (g) | Brita 9,5 (g) | Areia (g) | Filler (g) | CAP (g) | TOTAL (g) |
|-------------------|--------------|---------------|-----------|------------|---------|-----------|
| 6,55 | 224,28 | 392,40 | 471,00 | 33,6 | 78,60 | 1200,0 |

Fonte: Autor, 2019.

As medições dos diâmetros e das alturas dos corpos de prova estão dispostas na Tabela 16.

Tabela 16 - Medidas dos corpos de prova com CAP modificado.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | D (cm) | | | D _m (cm) | h (cm) | | | h _m (cm) |
|------------------|-----------------|--------|-------|-------|---------------------|--------|------|------|---------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | 1 | 2 | 3 | |
| 130 | 1,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,30 | 6,40 | 6,30 | 6,33 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,00 | 10,10 | 10,08 | 6,30 | 6,35 | 6,50 | 0,99 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,20 | 10,10 | 10,10 | 6,40 | 6,30 | 6,50 | 6,40 |
| 140 | 1,0 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 6,40 | 6,50 | 6,70 | 6,53 |
| | 2,0 | 10,10 | 10,00 | 10,15 | 10,08 | 6,60 | 6,50 | 6,50 | 6,53 |
| | 3,0 | 10,10 | 10,15 | 10,10 | 10,10 | 6,40 | 6,50 | 6,50 | 6,47 |

Fonte: Autor, 2019.

Os valores das pesagens ao ar e imersas tanto dos corpos de prova usinados e compactados a 130° C quanto a 140°C estão mostradas na Tabela 17.

Tabela 17 - Pesagens dos corpos de prova com o CAP modificado.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | P seco (g) | P imerso (g) |
|------------------|-----------------|------------|--------------|
| 130 | 1,0 | 1171,48 | 668,15 |
| | 2,0 | 1174,03 | 664,59 |
| | 3,0 | 1176,04 | 667,04 |
| 140 | 1,0 | 1178,92 | 670,39 |
| | 2,0 | 1172,98 | 669,75 |
| | 3,0 | 1174,72 | 673,33 |

Fonte: Autor, 2019.

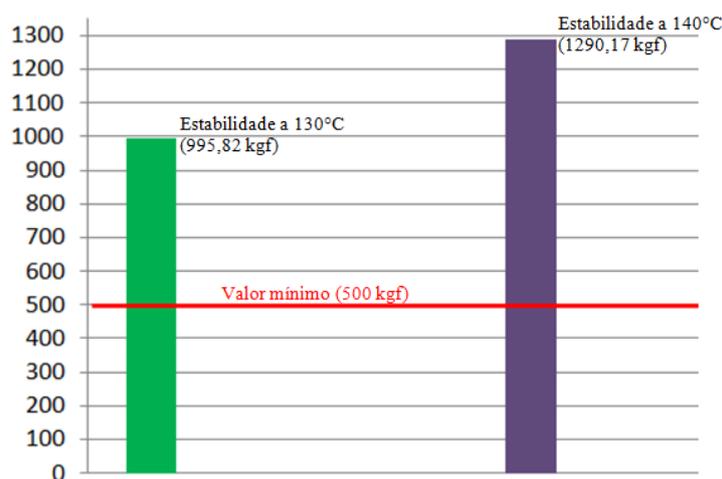
Os valores da estabilidade obtidos de acordo com cada temperatura estão mostrados na Tabela 18 e Gráfico 4.

Tabela 18 - Valores médios corrigidos das estabilidades de acordo com cada temperatura.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | K(kgfmm) | Quant de voltas (x) | Fator | Estabilidade méd. lida (kgf) | Estabilidade corrigida (kgf) | Estabilidade média corrigida (kgf) |
|------------------|-----------------|----------|---------------------|--------|------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| 130 | 1,0 | 1,910 | 470,0 | 1,005 | 995,82 | 902,2 | 995,82 |
| | 2,0 | 1,910 | 510,0 | 0,993 | | 966,8 | |
| | 3,0 | 1,910 | 593,0 | 0,9875 | | 1118,5 | |
| 140 | 1,0 | 1,910 | 590,0 | 0,956 | 1342,09 | 1077,3 | 1290,17 |
| | 2,0 | 1,910 | 718,0 | 0,956 | | 1311,0 | |
| | 3,0 | 1,910 | 800,0 | 0,970 | | 1482,2 | |

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 4 - Estabilidade das misturas mornas.



Fonte: Autor, 2019.

Logo, ao observar tais estabilidades, concluí-se que se apresentaram dentro do especificado pela norma do DNIT 031/2006 – ES, pois superaram o valor mínimo exigido.

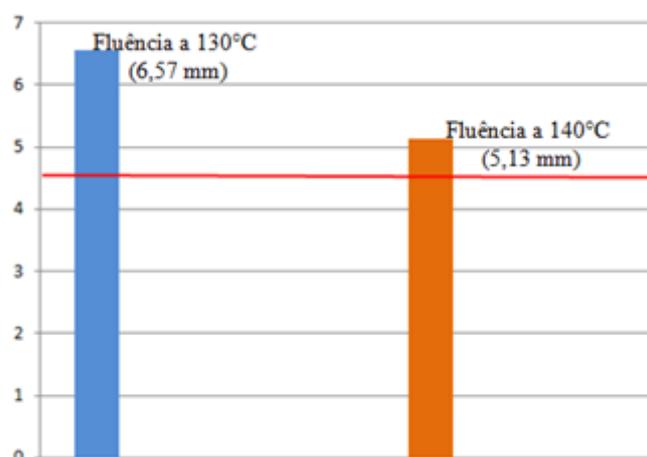
Com relação à fluência, foram aferidos os seguintes dados expressos na Tabela 19 e Gráfico 5.

Tabela 19 - Valores de fluência obtidos para fluência do CAP modificado.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | Medida Antes (mm) | Medida Depois (mm) | Resultado (mm) | Média (mm) |
|------------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|------------|
| 130 | 1,0 | 1,0 | 8,0 | 7,0 | 6,57 |
| | 2,0 | 1,5 | 7,2 | 5,7 | |
| | 3,0 | 1,0 | 8,0 | 7,0 | |
| 140 | 1,0 | 2,5 | 7,3 | 4,8 | 5,13 |
| | 2,0 | 2,2 | 7,1 | 4,9 | |
| | 3,0 | 2,1 | 7,8 | 5,7 | |

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 5 - Fluência das misturas mornas.



Fonte: Autor, 2019.

Tais valores de fluência tanto para a temperatura de 130°C quanto para a de 140°C, se comportaram de forma parecida aos encontrados nos corpos de prova confeccionados com o CAP 50/70, pois estiveram acima dos padrões exigidos pela norma do DNIT 031/2006 – ES. Essa variação, segundo Bernucci (2009) pode estar relacionada a erros no processo da compactação, ligante com pouca qualidade e da graduação e forma dos agregados.

A Tabela 20 mostra as medidas realizadas nos diâmetros e alturas dos corpos de prova designados para o ensaio de resistência a tração por compressão diametral (RT), como também seus valores médios de cada corpo.

Tabela 20 - Medidas dos corpos de prova confeccionados com o CAP modificado.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | h (cm) | | | | hm (cm) | D(cm) | | | | Dm(cm) |
|------------------|-----------------|--------|------|------|------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | | | | | | | | |
| 130 | 1 | 6,45 | 6,60 | 6,45 | 6,40 | 6,46 | 10,15 | 10,15 | 10,15 | 10,13 | 10,15 |
| | 2 | 6,50 | 6,20 | 6,60 | 6,30 | 6,40 | 10,10 | 10,10 | 10,10 | 10,07 | 10,10 |
| | 3 | 6,50 | 6,20 | 6,30 | 6,60 | 6,40 | 10,10 | 10,00 | 10,10 | 10,05 | 10,10 |
| 140 | 1 | 6,45 | 6,40 | 6,50 | 6,50 | 6,46 | 10,00 | 10,10 | 10,00 | 10,06 | 10,00 |
| | 2 | 6,50 | 6,55 | 6,55 | 6,50 | 6,53 | 10,10 | 10,10 | 10,00 | 10,05 | 10,10 |
| | 3 | 6,50 | 6,55 | 6,70 | 6,60 | 6,59 | 10,10 | 10,20 | 10,20 | 10,16 | 10,10 |

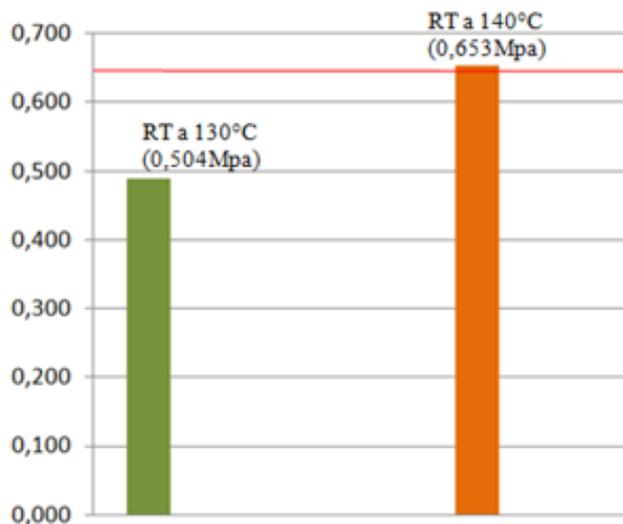
Fonte: Autor, 2019.

Para a RT foi obtida de acordo com as temperaturas de usinagem e compactação os seguintes valores expresso na Tabela 21 e Gráfico 6.

Tabela 21 - Valores da resistência à tração por compressão diametral (RT).

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | k (kgf) | Quantidades de voltas (x) | Força (N) | Tração (MPa) | Tração méd. (MPa) |
|------------------|-----------------|---------|---------------------------|-----------|--------------|-------------------|
| 130 | 1 | 1,910 | 270 | 5157,00 | 0,502 | 0,504 |
| | 2 | 1,910 | 265 | 5061,50 | 0,500 | |
| | 3 | 1,910 | 269 | 5137,90 | 0,509 | |
| 140 | 1 | 1,910 | 347 | 6627,70 | 0,649 | 0,653 |
| | 2 | 1,910 | 353 | 6742,30 | 0,655 | |
| | 3 | 1,910 | 360 | 6876,00 | 0,654 | |

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 6 – RT das misturas mornas.

Fonte: Autor, 2019.

Conforme a norma do DNIT 031/2006 – ES, a RT deve apresentar o valor médio de no mínimo 0,65MPa (25°C), em misturas asfálticas utilizadas em camadas de rolamento. Observou-se que apenas os corpos de prova usinados e compactados a 140°C apresentaram-se dentro do especificado pela norma.

4.8 Parâmetros volumétricos do CAP modificado

A Tabela 22 mostra os valores individuais e médios dos parâmetros volumétricos de cada corpo de prova com relação às temperaturas de usinagem e compactação trabalhadas.

Tabela 22 - Parâmetros volumétricos encontrados nos corpos de prova com o CAP modificado.

| Temperatura (°C) | Corpos de prova | Gmb | Vv (%) | VCB (%) | VAM (%) | RBV (%) | Gmbm | Vvm (%) | VCBm (%) | VAMm (%) | RBVm (%) |
|------------------|-----------------|-------|--------|---------|---------|---------|-------|---------|----------|----------|----------|
| 130 | 1 | 2,327 | 3,513 | 14,847 | 18,360 | 80,866 | 2,310 | 4,064 | 14,760 | 18,830 | 78,440 |
| | 2 | 2,305 | 4,463 | 14,701 | 19,164 | 76,712 | | | | | |
| | 3 | 2,310 | 4,217 | 14,739 | 18,955 | 77,755 | | | | | |
| 140 | 1 | 2,318 | 3,893 | 14,788 | 18,682 | 79,160 | 2,331 | 3,378 | 14,868 | 18,246 | 81,521 |
| | 2 | 2,331 | 3,370 | 14,869 | 18,239 | 81,521 | | | | | |
| | 3 | 2,343 | 2,872 | 14,946 | 17,818 | 83,882 | | | | | |

Fonte: Autor, 2019.

Ao analisar os valores aferidos para os parâmetros volumétricos e comparando aos ditos em normas, nota-se que os mesmos estiveram dentro dos padrões. A Tabela 23 compara os valores encontrados para cada temperatura *versus* os normativos.

Tabela 23 - Valores calculados e normativos dos parâmetros volumétricos.

| Parâmetros | Temp (130°C) | Temp (140°C) | Valores normatizados |
|------------|--------------|--------------|----------------------|
| Vvm, % | 4,064 | 3,378 | 3 a 5 |
| VAMm, % | 18,826 | 18,246 | mín. 14% |
| RBVm, % | 78,44 | 81,521 | 75 a 82 |

Fonte: Autor, 2019.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa demonstrou alguns resultados satisfatórios com o uso da cera de abelha como aditivo para o CAUQ com intuito de avaliar os efeitos causados nas misturas asfálticas mornas com essa adição, quando usinados e compactados em menores temperaturas, com objetivo de verificar as alterações ocorridas nos seus parâmetros volumétricos e nas propriedades mecânicas, comparando com o desempenho do concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ) em temperaturas convencionais.

As misturas que utilizaram a cera de abelha obtiveram resultados dentro das especificações do DNIT 031/2006 – ES com relação à Estabilidade Marshall, sendo os corpos de prova usinados e compactados a 140°C, os que apresentaram melhores valores. Para a temperatura de 140°C foi encontrada uma estabilidade de 12901,7 N, enquanto que para a de 130°C foi de 9958,2 N, portanto houve um ganho de 2943,5 N com apenas 10°C de aumento da temperatura.

Os valores obtidos no ensaio de fluência para os corpos de prova com e sem a adição da cera de abelha, apresentaram resultados acima do especificado pela norma DNIT 031/2006-ES, esse fato pode ser relacionado devido a alguns fatores, entre eles: ligante trabalhado ter sido mal armazenado, graduação e forma dos agregados serem incorretos ou apresentarem pouca qualidade.

Com relação aos parâmetros volumétricos, todos estiveram dentro dos limites estabelecidos. Os valores da RT, foram de 0,504 MPa na temperatura de 130°C e 0,653 MPa para a de 140°C, estando somente este último dentro dos parâmetros exigidos pelo DNIT 031/2006 – ES. Conforme os dados expostos, o CAUQ com adição de 5% de cera usinado e compactado a 140°C apresentou os melhores resultados para a Estabilidade Marshall, RT e Parâmetros volumétricos.

Logo, seus resultados foram semelhantes aos encontrados nas misturas convencionais a quente, entretanto como tal pesquisa teve valores altos de fluência, é recomendável que a pesquisa seja incrementada com mais ensaios mecânicos, tais como: módulo de resiliência, avaliação quanto à fadiga e suscetibilidade a água; para que se comprovem os efeitos benéficos deste aditivo ao CAP, e que este passa a ser uma forma alternativa de mistura morna destinada a aplicação em vias de tráfego de veículos.

REFERÊNCIAS

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576: Materiais asfálticos - Determinação da penetração**. Rio de Janeiro, 2007.

ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6560: Ligantes asfálticos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola**. Rio de Janeiro, 2016.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Resolução ANP Nº 19, 2005.

ASTM D 1188. **Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples¹**. Designation: D 1188 – 96. Reapproved, 2002. dispo:< <http://file.yizimg.com/175706/2011120809065238.pdf>>. Acesso em: 01 abr 2019.

BARROS, A.I.R.N.A.; NUNES, F.H.F.M.; COSTA, M.M.F. **Manual de boas práticas na produção de cera de abelha**. Princípios gerais. Editor: FNAP – Federação Nacional dos Apicultores de Portugal. Disponível em < http://fnap.pt/web/wp-content/uploads/documento_cnt_projectos_139.pdf>. Acesso em: 30 out. 2018.

BERNUCCI L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação básica para Engenheiros**. 1ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2007.

BERNUCCI L. B., MOTTA, L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B. **Pavimentação Asfáltica: formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, PETROBRAS, ABEDA, 2008.

BERNUCCI L. B. **Deformações Permanentes em Pavimentos Asfálticos**. 11º. Encontro Técnico. DER/PR, 2009. Disponível em:<<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/11EncontroTecnico/DeformacoesPermanentesemPavAsfalticosLiediBernucci.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

BOEIRA, F, D. **Estudo do desempenho de concretos asfálticos com diferentes tipos de agregados e cales**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2014.

BORBOREMA, G. A. **Concreto asfáltico usinado a quente dosagem/produção/controle**. Departamento de Estradas de Rodagem. 4º Encontro Técnico DER/PR. 2007. Disponível em:<<http://www.der.pr.gov.br/arquivos/File/EncontrosTecnicos/4encontroTecnico/1-DosagemdoTracoeCalibracaodaUsinadeAsfalto.pdf>>. Acesso em: 04 abr. 2019.

BRAGA. **Polímeros**. DEPARTAMENTO DE BIOMATERIAIS E BIOLOGIA ORAL. 2017. Disponível em:<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3267466/mod_resource/content/1/10_Pol%C3%ADmerosConceitosB%C3%A1sicos.pdf>. 2017. Acesso em: 24 mar. 2019.

BUDNY, J. **Avaliação do Comportamento Mecânico de Misturas Asfálticas Mornas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Misturas Betuminosas a Quente – Ensaio Marshall**. DNER – ME 043/95. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material**. DNER-ES 095/06. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM. **Agregados: análise granulométrica**. DNER-ME 083/98. Rio de Janeiro, 1998.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Concreto Asfáltico: Especificação de Serviço**. DNIT 031/2006 - ES. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**. DNIT 136/2018 – ME. Rio de Janeiro, 2018.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material**. NORMA DNIT 095/2006 – EM. Rio de Janeiro, 2006.

DNIT - Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **Preparação de corpos de prova para ensaios mecânicos usando o compactador giratório Superpave ou o Marshall - Procedimento**. DNIT 178/2018 – PRO. Rio de Janeiro, 2018.

ASTM - American Society for Testing and Materials. **Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer**, ASTM D 4402/02. 2002.

FAXINA, A.L. (2006) Estudo da viabilidade técnica do uso do resíduo de óleo de xisto como óleo extensor em ligantes asfalto-borracha.. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

FOGAÇA, J. R. V. **Composição química das ceras**. Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilescola.uol.com.br/quimica/composicao-quimica-das-ceras.htm>>. Acesso em: 30 out. 2018.

GOOGLE MAPS. Disponível em:<
<https://www.google.com/maps/place/Universidade+Estadual+da+Para%C3%ADba,+Centro+de+Ci%C3%A2ncias,+Tecnologia+e+Sa%C3%BAde,+Campus+VIII/@-6.535193,-35.7346565,455m/data=!3m2!1e3!4b1!4m5!3m4!1s0x7adef5b00e99091:0x30bcc7a77220e14f!8m2!3d-6.535193!4d-35.7324732>>. Acesso em: 30 out. 2018.

MORAES T.M.R.P. **Utilização da cera de carnaúba como aditivo redutor de temperaturas de usinagem e compactação de misturas asfálticas.** Trabalho de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Campina Grande. Área Geotécnica. Campina Grande (PB), 2018. Disponível em:<<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/402/1/THALITA%20MARIAM%20RAMOS%20P%C3%94RTO%20DE%20MORAES%20E%2080%93%20DISERTA%C3%87%C3%83O%2028PPGECA%29%202018.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2018.

MORASSI, J. O. **Polímeros termoplásticos, termofixos e elastômeros.** Curso ministrado no conselho regional de química IV região (SP), 2013. Apoio: Caixa Econômica Federal/Sinquisp. Disponível em:<https://www.crq4.org.br/sms/files/file/apostila_po1%C3%ADmeros_0910082013_site.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

MOREIRA, C.C. **O CONCEITO E A PRÁTICA DO TEOR ÓTIMO DE ASFALTO.** 14ª ENCONTRO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO RODOVIÁRIA (ENACOR). Belo Horizonte (MG). Agosto, 2009. Disponível em:<<http://solocap.com.br/trabalhotecnico001.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2018.

MUNÕS, D.H. **Las Ceras: Introducción y Aplicaciones.** IBERCERAS. Disponível em: <<http://www.iberrceras.com/paginas/documentacion.htm>>. Acesso em: 04 nov. 2018.

NUNES, L. A.; OLIVEIRA, M.E.C.; SILVEIRA, T.A.; MARCHINI, L.C.; SILVA, J.W.P. **Produção de cera. Série produção rural.** ISSN 1414-4530. Nº 52. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Divisão de Biblioteca. Piracicaba, 2012. Disponível em:<<http://www4.esalq.usp.br/biblioteca/sites/www4.esalq.usp.br/biblioteca/files/publicacoes-a-venda/pdf/SPR52.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

ODA, S. **Análise da viabilidade técnica da utilização do ligante asfáltico-borracha em obras de pavimentação.** Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos. USP (SP), 2000. Disponível em:<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-30012018-151928/pt-br.php>>. Acesso em: 30 out. 2018.

OLIVEIRA, D.D.; ANDRADE, G.S.; LAPERCHE, L.A. **Estudo comparativo de concreto betuminoso usinado a quente com diferentes tipos de ligante na região metropolitana de Goiânia.** Universidade Federal de Goiás. Escola de Engenharia Civil. Trabalho de Conclusão de Curso. Goiânia, 2014. Disponível em:<https://www.eec.ufg.br/up/140/o/ESTUDO_COMPARATIVO_DE_CONCRETO_BETUMINOSO_USINADO_A_QUENTE_COM_DIFERENTES_TIPOS_DE_LIGANTE_NA_REGI%C3%83O_METROPOLITANA_DE_GOI%C3%82NIA.pdf>. Acesso em: 20 out. 2018.

OTTO, G.G. **Misturas Asfálticas Mornas – Verificação da Fadiga e do Módulo Complexo.** Florianópolis; 2009. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

PAIVA, T.S.; CARTAXO, E.F. **Misturas asfálticas quentes: impactos ambientais e utilização do RCD**. Revista T&C Amazônia, Brasil, 2014.

ROBERTS, F.L; KANDHAL, P.S; BROWN, E.R.; LEE, D-Y; KENNEDY, T.W. **Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction – NAPA**. Educational Foundation – Lanham, Maryland. 1998.

ROZÁRIO, C.H.R. **Desenvolvimento de um processo para a obtenção de policosanol a partir de cera de cana-de-açúcar (Saccharum officinarum)**. 2006.113f. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

RUBIO, M. C; MORENO, F; BAENA, L; MARTINEZ, G. **Warm mix asphalt: an overview**. Journal of Cleaner Production. Espanha, 2012.

SILVA, A. L. B. B.; SILVA, E.O. **Apostila Instituto de Ciências Exatas e da Terra: Conhecendo Materiais Poliméricos**. Cuiabá: Universidade Federal de Mato Grosso. Grupo de pesquisa em novos materiais, 2003. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/ea000223.pdf>>. Acesso em: 03 nov. 2018.

SILVA, J.A.A.; RODRIGUES, J.K.G.; CARVALHO, M.W.; LUCENA, L.C.F.L.; CAVALCANTE, E. H. **Avaliação reológica de ligante modificado com Politereftalato de etileno (PET)**. Revista Matéria. ISSN 1517-7076 artigo e-11951, v23.N.01, 2018. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rmat/v23n1/1517-7076-rmat-S1517-7076201700010287.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2018.

SILVIA, P.R.V. **O que são Misturas Asfálticas Mornas - Warm Mix Asphalt (WMA)?** Linked in. 2015. Disponível em:<<https://pt.linkedin.com/pulse/o-que-s%C3%A3o-misturas-asf%C3%A1lticas-mornas-warm-mix-wma-paulo>>. Acesso em: 23 mar. 2018.

SULTANA, S., BHASIN, A. **“Effect of chemical composition on rheology and mechanical properties of asphalt binder”**. Construction and Building Materials, v 72, 2014. Disponível em:<<https://vdocuments.site/effect-of-chemical-composition-on-rheology-and-mechanical-properties-of-asphalt.html>>. Acesso em: 30 out. 2018