

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE EXPRESSÕES GRÁFICAS E TRANSPORTES

**WAYNE JOSÉ BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS ENCONTRADOS NA REGIÃO  
CENTRAL DO MARANHÃO PARA USO EM MISTURAS ASFÁLTICAS A  
QUENTE, TIPO AAUQ.**

São Luís  
2019

**WAYNE JOSÉ BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS ENCONTRADOS NA REGIÃO  
CENTRAL DO MARANHÃO PARA USO EM MISTURAS ASFÁLTICAS A  
QUENTE, TIPO AAUQ.**

Projeto de trabalho de Conclusão de Curso,  
apresentado ao curso de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Maranhão como requisito  
necessário à obtenção do título de Engenharia Civil  
Orientadora: Prof: Maria Terezinha de Medeiros  
Coelho.

São Luís  
2019

Barbosa, Wayne José.

Caracterização de agregados miúdos encontrados na região central para uso em misturas asfálticas quente tipo AAUQ / Wayne José Barbosa. – São Luís, 2019.

94. f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Da. Maria Terezinha de Medeiros Coelho.

**WAYNE JOSÉ BARBOSA**

**CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS ENCONTRADOS NA REGIÃO  
CENTRAL DO MARANHÃO PARA USO EM MISTURAS ASFÁLTICAS A  
QUENTE, TIPO AAUQ.**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Maranhão como requisito  
necessário à obtenção do título de Engenharia Civil.  
Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dra. Maria Terezinha de Medeiros  
Coelho.

Aprovada em, \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. <sup>a</sup> Dra. Maria Terezinha de Medeiros Coelho.  
Doutora em Urbanismo  
Universidade Estadual do Maranhão

---

Prof. <sup>o</sup> Dr. Walter Canales Sant'Ana  
Doutor em Engenharia de Transportes  
Universidade Estadual do Maranhão

---

Prof<sup>o</sup>. Me. Marivaldo Costa Duarte  
Universidade Estadual do Maranhão

A Deus todo poderoso, meus pais e família, a minha  
irmã e ao meu falecido irmão e a todos que me  
ajudaram a estar onde estou hoje.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que possibilitou que chegasse a mais uma etapa da minha vida e pudesse concluí-la com excelência.

A esta universidade e seu corpo docente, em especial ao Laboratório de Solos e Pavimentação da UEMA, pelo fornecimento do espaço físico e os equipamentos necessários à realização deste trabalho.

A professora Maria Terezinha de Medeiros Coelho, pelo imenso apoio, respeito, incentivo, paciência, confiança na minha capacidade e orientação ao longo deste trabalho, fundamentais à conclusão desta importante etapa na minha vida.

Aos meus pais, minha Maria Helena Barbosa, heroína que é a base de todas as escolhas na qual tomei ao longo da minha vida, assim como as minhas tias me deram apoio incondicional Maria das Graças Barbosa (A tia Graça); tia Maria Lourdes Barbosa (A tia Mariquinha).

Obrigada minha irmã Wellem Barbosa que sempre me apoiou e ao meu falecido irmão Wolney Barbosa.

Obrigada! Primos e tias pela contribuição valiosa, em especial ao meu primo Gilberto Barbosa.

Meus agradecimentos aos amigos de graduação, na qual compartilhei horas de desespero e apreensão, mas acima de tudo de muitas alegrias.

*“A mente humana ajusta-se a certo ponto de vista, e aqueles que consideraram a natureza de um ângulo, durante uma parte de sua vida, podem adotar novas ideias apenas com dificuldade”.*

***Antoine Lavoisier.***

# CARACTERIZAÇÃO DE AGREGADOS MIÚDOS ENCONTRADOS NA REGIÃO CENTRAL DO MARANHÃO PARA USO EM MISTURAS ASFÁLTICAS A QUENTE, TIPO AAUQ.

Barbosa, Wayne José<sup>1</sup>

## RESUMO

O pavimento tem por objetivo propiciar um tráfego confortável e seguro aos usuários, com capacidade de suportar técnica e economicamente os esforços ocasionados pelo tráfego associado ao desgaste que surge ao longo dos anos. Com base nisto este trabalho tem o objetivo de analisar e caracterizar agregados finos, tipo areias, disponíveis em jazidas localizadas em municípios da região central do Maranhão, para uso em misturas asfálticas a quente, no tipo AAUQ. A mistura asfáltica de areia usinada a quente AAUQ é muito utilizada para revestimento asfáltico no estado do Maranhão. A metodologia empregada foi a coleta de areais na região situada entre Joselandia e Presidente Dutra. Os parâmetros encontrados qualificaram parcialmente duas amostras distintas localizadas em municípios diferentes da região central do Maranhão, cujos valores poderão ser consultados nesse trabalho para fins de projetos relacionados à pavimentação bem como em pesquisas similares em geral, oferecendo informações e dados, tais como, localização das jazidas qualificadas e não qualificadas, aspectos e dados técnicos dos agregados disponíveis nessas jazidas dentre outras informações.

**Palavras-chave:** Pavimentação, AAUQ, água agregado miúdo.

## ABSTRACT

The purpose of the pavement is to provide comfortable and safe traffic to users with technical and economic capacity, the events caused by the traffic associated with the wear that increases over the years. Based on this work, the objective is to analyze and characterize fine aggregates, types of areas, available in stores located in municipalities of central Maranhão, for use in hot asphalt mixtures, without AAUQ type. An asphalt sand mixture used in the hot AAUQ is widely used for asphalt coating in the state of Maranhão. The methodology used was a collection of area in the region between Joselandia and Presidente Dutra. The qualifying parameters found qualify two distances located in different municipalities of the central region of Maranhão, values that can be consulted and works for the purpose of paving related projects, as well as similar general research, information and data, such as location of qualified deposits and non-qualified, aspects and technical data of the aggregates available in these fields among other information

**Keywords:** Paving, AAUQ, miudo aggregate water.

---

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), São Luís – MA. Graduado em Bacharel em Química – UEMA; Acadêmico concluinte de Engenharia Civil .

## LISTA DE SÍMBOLOS

|                     |  |
|---------------------|--|
| $\approx$           | Aproximadamente igual                    |
| cm                  | Centímetro                               |
| $R^2$               | Coefficiente de determinação             |
| P#200               | Fração passante na peneira 200           |
| g                   | Gramma                                   |
| g/cm <sup>3</sup>   | Gramma por centímetro cúbico             |
| S                   | Grau de saturação                        |
| °C                  | Graus Celsius                            |
| >                   | Maior que                                |
| $\gamma_s$          | Massa específica aparente seca           |
| $\gamma_s.máx$      | Massa específica aparente seca máxima    |
| MN/m                | Meganewton por metro                     |
| MPa                 | Megapascal                               |
| $\leq$              | Menor ou igual                           |
| <                   | Menor que                                |
| m                   | Metro min minuto                         |
| mm                  | Milímetro                                |
| Pi                  | Perda de massa por imersão               |
| %                   | Porcentagem                              |
| kg                  | Quilograma                               |
| Kgf/cm <sup>2</sup> | Quilograma-força por centímetro quadrado |
| RS                  | Resistência à compressão simples         |
| K                   | Rigidez                                  |
| TA'                 | Transicional arenosa                     |
| TA'G'               | Transicional areno-siltoso               |
| TG'                 | Transicional argiloso                    |
| w                   | Umidade                                  |
| wótima              | Umidade ótima                            |
| hot                 | Umidade ótima                            |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|      |  |
|------|--|
| AAUQ | Areia Asfalto Usinado a Quente                             |
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas                   |
| CBR  | California Bearing Ratio                                   |
| CPA  | Camada Porosa de Atrito ou Revestimento Asfáltico Drenante |
| CAP  | Cimento Asfáltico de Petróleo                              |
| CA   | Concreto Asfáltico Denso                                   |
| CAUQ | Concreto Asfáltico Usinado a Quente                        |
| CBUQ | Concreto Betuminoso a Quente                               |
| CNT  | Confederação Nacional do Transporte                        |
| CP   | Corpo de Prova   |
| DAP  | Densidade Aparente   |
| DMT  | Densidade Máxima Teórica                                   |
| Dr   | Densidade Real dos Grãos de Agregados Miúdos               |
| DNER | Departamento Nacional de Estradas e Rodagem                |
| DNIT | Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte       |
| EA   | Equivalente de Areia                                       |
| MA   | Maranhão   |
| ME   | Método de Ensaio   |
| MR   | Módulo de Resiliência                                      |
| NBR  | Norma Brasileira Regulamentadora                           |
| RBV  | Relação Betume – vazios                                    |
| RT   | Resistência a Tração                                       |
| UEMA | Universidade Estadual do Maranhão                          |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes..... | 21 |
| Figura 2 –Corte Transversal - Pavimento Flexível.....                                   | 22 |
| Figura 3 – Camadas de um pavimento fléxivel. ....                                       | 22 |
| Figura 4 – Camadas do pavimento Semirígido .....  | 23 |
| Figura 5 –Corte Transversal - Pavimento Rígido.....                                     | 24 |
| Figura 6 - Camadas do pavimento Rígido. ....  | 24 |
| Figura 7- Seção Transversal de um pavimento .....                                       | 25 |
| Figura 8 -Caracterização dos revestimentos – Pavimento de Revestimento Fléxivel.....    | 27 |
| Figura 9 - Caracterização dos revestimentos – Pavimento de Revestimento Rígido .....    | 27 |
| Figura 10 - Região de extração das areais Presidente Dutra .....                        | 33 |
| Figura 11- Localização da Jazida Dell Brisa .....                                       | 34 |
| Figura 12 –Vista da Jazida Dell Brisa .....   | 35 |
| Figura 13- Localização da Jazida Iris .....   | 35 |
| Figura 14- Vista da Jazida Iris .....   | 36 |
| Figura 15- Localização da Jazida Queiroz - Cabral .....                                 | 37 |
| Figura 16- Vista da Jazida Queiroz Cabral.....  | 37 |
| Figura 17- Localização da Jazida Barração .....   | 38 |
| Figura 18- Situação Atual da Jazida Barracão.....                                       | 38 |
| Figura 19- Localização da Jazida Cazuzá.....  | 39 |
| Figura 20 - Vista da Jazida Cazuzá .....  | 39 |
| Figura 21 - Equivalente de areia dos solos .....  | 43 |
| Figura 22 -Detalhes do ensaio de Angularidade.....                                      | 46 |
| Figura 23 - Frasco de 60 ml.....  | 52 |
| Figura 24 - Montagem do Aparelho de Anel e Bola .....                                   | 54 |
| Figura 25 -Anel suporte.....  | 54 |
| Figura 26 -Esferas de aço .....   | 55 |
| Figura 27 - Equipamento de utilização do ensaio Anel Bola .....                         | 55 |
| Figura 28 - Moldagem dos corpos de prova AAUQ .....                                     | 58 |
| Figura 29 - Pesagem dos corpos de prova .....   | 58 |
| Figura 30 - Volume submerso dos corpos de prova .....                                   | 59 |
| Figura 31 - Corpos de provas (AAUQ) em banho-maria .....                                | 59 |
| Figura 32 - Corpo-de-prova colocado no molde de compressão.....                         | 60 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 33 - Prensa utilizada no ensaio / Rompimento do Corpo de Prova.....                        | 60 |
| Figura 34 - Massa específica usando Frasco de Chapman .....                                       | 63 |
| Figura 35 - Solos utilizados no ensaio de granulometria.....                                      | 64 |
| Figura 36 – Detalhe do ensaio de angularidade das areias .....                                    | 68 |
| Figura 37 – Outros detalhes do ensaio de angularidade .....                                       | 69 |
| Figura 38- Massa do Filer (Frasco Le Chatelier) .....   | 70 |
| Figura 39 - Ensaios de Penetração, Viscosidade e Ponto de Amolecimento, respectivamente.<br>..... | 71 |
| Figura 40- Amostra visual dos componentes das misturas.....                                       | 75 |
| Figura 41 - Jazidas qualificadas para uso em AAUQ.....  | 86 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1- Relação e Localização das Jazidas .....                                | 34 |
| Tabela 2 -Frações Granulométricas .....  | 47 |
| Tabela 3 – Granulometria do filer .....  | 48 |
| Tabela 4 - Critérios para indicação de resultados do ensaio de penetração .....  | 49 |
| Tabela 5 - Dimensões do recipiente de ensaio .....                               | 49 |
| Tabela 6- Resultados dos equivalentes de areias.....                             | 62 |
| Tabela 7 - Resultados da massa especifica.....                                   | 62 |
| Tabela 8-Resultados da Analise Granulometria - Amostra 1 .....                   | 64 |
| Tabela 9 - Resultados da Analise Granulometria - Amostra 2 .....                 | 65 |
| Tabela 10 - Resultados da Analise Granulometria - Amostra 3.....                 | 65 |
| Tabela 11 - Resultados da Analise Granulometria - Amostra 4.....                 | 66 |
| Tabela 12 - Resultados da Analise Granulometria - Amostra 5.....                 | 67 |
| Tabela 13 - Resultados para angularidade dos solos .....                         | 68 |
| Tabela 14- Granulometria do Fíler .....  | 69 |
| Tabela 15 – Resultado da massa especifica.....                                   | 70 |
| Tabela 16 - Resultados de Penetração - Ponto de Penetração - Viscosidade .....   | 71 |
| Tabela 17 - Mistura 1 ( 98% de areia e 2% de filler , jazida dell brisa ). ..... | 72 |
| Tabela 18 -Mistura 2 ( 95% de areia e 5% de filler , jazida barracão ).....      | 73 |
| Tabela 19 - Mistura 2 (95% areia, 5% filler ).....                               | 74 |
| Tabela 20 - Mistura 1 - (98% areia ,2% filler ) .....                            | 74 |
| Tabela 21 -Viscosidade versus temperatura .....                                  | 75 |
| Tabela 22 - Propriedades volumétricas – Mistura 1 .....                          | 77 |
| Tabela 23 - Propriedades mecânicas .....   | 77 |
| Tabela 24 -Propriedades volumétricas .....                                       | 80 |
| Tabela 25 -Propriedades mecânicas .....  | 80 |
| Tabela 26 - Mistura = Teor CAP.....  | 85 |
| Tabela 27 -Propriedades das Misturas.....  | 85 |
| Tabela 28- Quadro Resumo comparativo.....  | 87 |

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Curva Granulométrica amostra 1 e enquadramento na faixa B .....  | 64 |
| Gráfico 2 - Curva Granulométrica amostra 2 e enquadramento na faixa B .....  | 65 |
| Gráfico 3 -- Curva Granulométrica Amostra 3 e enquadramento na faixa B ..... | 66 |
| Gráfico 4 - Curva Granulométrica amostra 4 e enquadramento na faixa B .....  | 66 |
| Gráfico 5- Curva Granulometria amostra 5 e enquadramento na faixa B .....    | 67 |
| Gráfico 6 - Granulometria da mistura 1, faixa B .....                        | 72 |
| Gráfico 7 - Granulometria da mistura 2, faixa B .....                        | 73 |
| Gráfico 8 -Viscosidade versus temperatura .....                              | 76 |
| Gráfico 9 - Massa Especifica aparente versus % CAP .....                     | 77 |
| Gráfico 10 - Máxima Especifica - Massa Teórica versus % CAO .....            | 78 |
| Gráfico 11 - Volume de Vazios versus % CAP .....                             | 78 |
| Gráfico 12 - Vazios de Agregados Minerais versus % CAP .....                 | 79 |
| Gráfico 13 - Relação Betume Vazio versus % CAP .....                         | 79 |
| Gráfico 14 -Estabilidade versus % CAP .....                                  | 80 |
| Gráfico 15 –massa especifica aparente versus % CAP .....                     | 81 |
| Gráfico 16- Massa Especifica Máxima Teórica versu % CAP .....                | 81 |
| Gráfico 17 - Volume de Vazios versu % CAP .....                              | 82 |
| Gráfico 18 -Vazios do Agregado Mineral versus % CAP .....                    | 82 |
| Gráfico 19 -Relação Betume/Vazio versu % CAP .....                           | 83 |
| Gráfico 20 –Estabilidade versus % CAP .....                                  | 83 |
| Gráfico 21-Determinação do Teor de Ligante - Amostra 1 .....                 | 84 |
| Gráfico 22 – Determinação do teor de ligante - Amostra 2 .....               | 84 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>18</b> |
| <b>1.1 OBJETIVOS .....</b>                                    | <b>19</b> |
| <b>1.1.1 OBJETIVO GERAL .....</b>                             | <b>19</b> |
| <b>1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....</b>                      | <b>19</b> |
| <b>1.2 JUSTIFICATIVA .....</b>                                | <b>19</b> |
| <b>1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO .....</b>                      | <b>20</b> |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                         | <b>21</b> |
| <b>2.1. PAVIMENTOS .....</b>                                  | <b>21</b> |
| 2.1.1 Flexíveis.....  | 21        |
| 2.1.2. Semirrígidos.....                                      | 23        |
| 2.1.3 Rígidos.....  | 23        |
| <b>2.2. ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS .....</b>                    | <b>24</b> |
| 2.2.1 Subleito.....   | 25        |
| 2.2.2 Reforço do Subleito.....                                | 25        |
| 2.2.3 Sub-base.....   | 26        |
| 2.2.4 Base .....  | 26        |
| 2.2.5 Revestimento .....                                      | 26        |
| <b>2.3. AREIA ASFÁLTICA USINADA A QUENTE (AAUQ).....</b>      | <b>28</b> |
| 2.3.1. Materiais usados no AAUQ.....                          | 29        |
| 2.3.1.1. CAP 30/45, CAP- 50/70, CAP-85/100, CAP- 150/200..... | 29        |
| 2.3.1.2. Agregado miúdo .....                                 | 29        |
| 2.3.1.3. Material de Enchimento – Fíler.....                  | 30        |
| <b>3. METODOLOGIA.....</b>                                    | <b>32</b> |
| <b>3.1. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS.....</b>                  | <b>32</b> |
| <b>3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS .....</b>           | <b>32</b> |
| <b>3.3. LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....</b>              | <b>33</b> |
| <b>3.4. MATERIAIS UTILIZADOS.....</b>                         | <b>33</b> |
| 3.4.1. Apresentação das amostras de areias .....              | 33        |
| 3.4.2. Fíler.....   | 40        |
| 3.4.3. CAP- 50/70 .....                                       | 40        |
| 3.4.4. Mistura Asfáltica .....                                | 40        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>3.5. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA .....</b>  | <b>40</b> |
| 3.5.1. Preparo do Material .....  | 40        |
| 3.5.2. Ensaio laboratoriais.....  | 41        |
| 3.5.2.1 Ensaio de caracterização física – Agregado Miúdo .....  | 41        |
| 3.5.2.1.1 Equivalente de areia.....   | 41        |
| 3.5.2.1.2 Massa Especifica .....  | 44        |
| 3.5.2.1.3. Análise Granulométrica.....  | 45        |
| 3.5.2.1.4. Angularidade .....   | 46        |
| 3.5.2.2. Ensaio de caracterização do Fíler.....   | 47        |
| 3.5.2.2.1. Granulometria.....   | 47        |
| 3.5.2.2.2. Densidade Le Chatelier .....   | 48        |
| 3.5.2.3. Ensaio de caracterização física – CAP.....   | 48        |
| 3.5.2.3.1 Penetração.....   | 48        |
| 3.5.2.3.2. Viscosidade Saybolt – Furol.....   | 51        |
| 3.5.2.3.3. Ponto de amolecimento .....  | 52        |
| 3.5.3. Dosagem Marshall.....  | 56        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>  | <b>62</b> |
| <b>4.1 PROPRIEDADES DO AGREGADO MIÚDO.....</b>  | <b>62</b> |
| 4.1.1 Equivalente de Areia .....  | 62        |
| 4.1.2 Massa Especifica da Areia.....  | 62        |
| 4.1.3 Granulometria.....  | 63        |
| 4.1.4. Angularidade do Agregado Fino .....  | 67        |
| <b>4.2 PROPRIEDADES DO FILER .....</b>  | <b>69</b> |
| 4.2.1. Granulometria do Fíler .....   | 69        |
| 4.2.2 Massa especifica do filer .....   | 70        |
| <b>4.3 PROPRIEDADES DO LIGANTE ASFALTICO.....</b>   | <b>71</b> |
| <b>4.4. DOSAGEM MARSHALL .....</b>  | <b>72</b> |
| 4.4.1 Seleção das faixas granulométricas .....  | 72        |
| 4.4.2 Cálculo das massas de cada material.....  | 73        |
| 4.4.3 Definição das temperaturas do CAP, agregados e compactação .....  | 75        |
| 4.4.4 Propriedades volumétricas e mecânicas das misturas .....  | 76        |
| 4.4.5 Definição de um traço ideal para as misturas .....  | 83        |
| 4.4.6. Comparativo das características volumétricos e mecânicas dos teores de ligante que geraram os maiores valores de estabilidade entre as misturas..... | 85        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.4.7. Discussões e análises dos resultados encontrados .....  | 85        |
| 4.4.8. Fazendo um comparativo com outros trabalhos dos padrões mecânicos e volumétricos determinados no ensaio Marshal. .... | 87        |
| <b>5.0 CONCLUSÃO.....</b>  | <b>88</b> |
| <b>5.1. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS .....</b>   | <b>88</b> |
| <b>REFERÊNCIA.....</b>   | <b>90</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

As estradas rodoviárias são formadas por pavimentos que formam basicamente estruturas de múltiplas camadas, organizadas para manter a forma e resistência ao longo do período de projeto, sendo o revestimento a que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. Essa camada deve possuir características de impermeabilidade e resistente aos esforços de contato pneu pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos (BERNUCCI et al, 2006).

Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto à fonte, com ligantes asfálticos que, de forma adequadamente proporcionada e processada, garanta ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, resistência à fadiga e ao trincamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previsto para o local (BERNUCCI et al., 2006).

Para que os revestimentos asfálticos obtenham os requisitos técnicos e de qualidade devem atender um ideal de projeto adequado da estrutura do pavimento e com o projeto de dosagem da mistura asfáltica compatível com as outras camadas escolhidas, levando em consideração todos os critérios de projeção (SILVA, 2018).

O sistema de pavimentação é formado por quatro camadas principais: revestimento de base asfáltica, base, sub-base e reforço do subleito. Dependendo da intensidade e do tipo de tráfego, do solo existente e da vida útil do projeto, o revestimento pode ser composto por uma camada de rolamento e camadas intermediárias ou de ligação. Mas nos casos mais comuns, utiliza-se uma única camada de mistura asfáltica como revestimento (BERNUCCI, 2006).

O asfalto pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (para tratamentos superficiais). Além da forma de produção, os revestimentos também podem ser classificados quanto ao tipo de ligante utilizado: a quente com o uso de cimento asfáltico de petróleo (CAP) e a frio com o uso de emulsão asfáltica de petróleo (EAP) (PINTO,1998).

Tendo em vista que a produção de camada de revestimento é feita a partir de materiais específicos e que possuam características apropriadas para esse uso, assim são constituídas por uma combinação de agregado mineral e material betuminoso (SILVA, 2008).

Partindo disso, há a necessidade de verificar as características do agregado mineral, no caso a areia, a ser usada em misturas asfálticas usinadas a quente a fim de se obter

o melhor tipo uma mistura de boa qualidade tomando-se como parâmetro referências, normas e métodos usados no Brasil.

Neste estudo foram analisadas as características de 5 areias existentes na região central do estado do Maranhão, utilizados na pavimentação de rodovias, utilizados em revestimentos asfálticos. Obteve-se como resultado que dois dos areais são apropriadas em revestimento asfáltico enquanto que as demais não atendem todas as características necessárias para sua confecção.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Analisar, caracterizar e preparar misturas asfálticas com agregados miúdos, tipo areias, disponíveis em jazidas localizadas em municípios da região central do Maranhão, para uso em misturas asfálticas a quente, tipo AAUQ.

### **1.1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Realizar pesquisa de campo com a finalidade de identificar areais na região central do Maranhão;
- Realizar ensaios de caracterização física das areias coletadas;
- Estudar traços de AAUQ, para as amostras de areia usando o ensaio Marshall como metodologia de análise;
- Fazer comparativo dos resultados encontrados com outros trabalhos similares;
- Disponibilizar os resultados através de planilhas enviados aos donos das jazidas estudadas.

## **1.2 JUSTIFICATIVA**

Visto que as administrações públicas das cidades do interior do Maranhão buscam constantemente melhorias para a qualidade de vida de suas comunidades, principalmente nas áreas de vias urbanas e melhorias de modais rodoviários, esse trabalho pode se colocar como uma ferramenta para auxílio em futuros projetos de engenharia e de pavimentação nessas localidades, proporcionando vantagens econômicas uma vez que haverá dados preliminares qualificando os materiais disponíveis naquela região.

Outros fatores importantes para a execução desse trabalho é a disponibilidade de recursos técnicos e didáticos, baixos custos financeiros, boa disponibilidade de insumos, amplo tempo para a realização dos ensaios ao qual proporcionarão um trabalho de relevante contribuição para a melhoria da qualidade de vida daquela população.

### **1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO**

O trabalho foi estruturado em cinco capítulos, conforme descritos a seguir.

O primeiro é composto pela introdução, objetivo geral, objetivos específicos e justificativos, abordando o tema em estudo e contextualiza a sua importância para a pavimentação asfáltica e a organização deste trabalho.

O segundo capítulo consta o referencial teórico além de conceitos básicos sobre os revestimentos asfálticos.

O terceiro capítulo apresenta a metodologia que este trabalhou, seguiu assim, como os ensaios que norteiam a análise dos materiais e das misturas asfálticas. É abordada também a questão da coleta dos materiais utilizados na pesquisa, indicando o local e a procedência de todas as areias extraídas.

No quarto capítulo são apresentados os resultados dos ensaios de caracterização dos materiais: areia 1, areia 2, areia 3, areia 4 e areia 5, fíler e o CAP, bem como os ensaios das propriedades mecânicas, volumétricas e de desgaste das misturas asfálticas.

No quinto são apresentadas as considerações finais do trabalho e sugestões para trabalhos futuros como também a conclusão final sobre todo o trabalho.

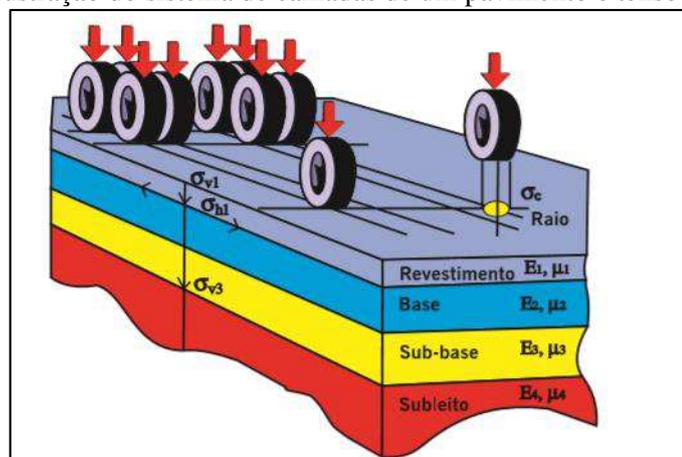
## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. PAVIMENTOS

Os pavimentos possuem uma estrutura constituída por diversas camadas sobrepostas, dispostas de materiais que possuem granulometrias diferenciadas, colocadas sobre o solo de origem do local, o subleito. Estas camadas têm por objetivo resistir e distribuir os esforços resultantes das ações horizontais e verticais, assim como melhorar as condições de segurança e conforto aos usuários, além de ter grande importância socioeconômica para o progresso e desenvolvimento das localidades brasileiras (BALBO, 2007).

Segundo Bernucci et al. (2006), pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços provenientes do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança. Estas camadas são constituídas de materiais compactados a partir do subleito do corpo estradal, devendo atender às solicitações de maneira durável e com menor custo possível (BALBO, 2007, p.35). O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) classifica o pavimento em três tipos: flexíveis, os quais são alvo do presente estudo, semirrígidos e rígidos. Na figura 1 é possível verificar a composição de camadas dos pavimentos e as forças atuantes nas camadas.

Figura 1 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes



Fonte: Bernucci et al. (2006)

#### 2.1.1 Flexíveis

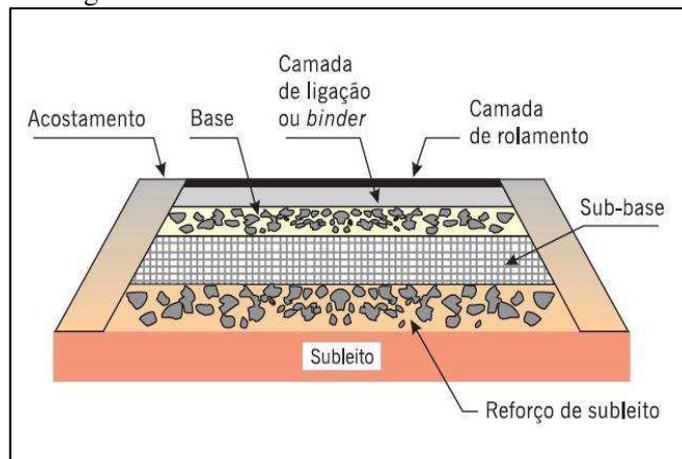
Para Balbo (1997) o pavimento flexível é aquele em que a absorção de esforços se dá de forma dividida entre as camadas existentes, encontrando-se as tensões verticais nas camadas inferiores em regiões próximas da área de aplicação da carga. Isto acontece, devido

ao fato de que a rigidez do revestimento asfáltico não é tão elevada quando comparada as demais camadas granulares, diferentemente do revestimento de concreto de cimento Portland.

São constituídos de uma camada superficial asfáltica, apoiada em camadas de base, sub-base e reforço do subleito, compostas por materiais granulares, solos ou a mistura destes desde que não envolva adição de agentes cimentantes (BERNUCCI et al., 2006). A capacidade de suporte do pavimento é devido a esta distribuição de cargas, através de camadas superpostas, na qual as que possuem uma qualidade melhor encontram-se próximas da carga aplicada, ocasionando um campo de tensões logo abaixo deste ponto de aplicação.

Na figura 2 é apresentado o corte transversal de um pavimento flexível.

Figura 2 –Corte Transversal - Pavimento Flexível



Fonte: Bernucci et al. (2006)

Na figura 3, observa-se camadas de pavimentos flexíveis.

Figura 3 – Camadas de um pavimento flexível.



Fonte: DER (2008)

### 2.1.2. Semirrígidos

São pavimentos que tem como principal característica a existência de uma base cimentada por algum aglutinante com propriedades cimentícias (DNIT, 2006), com o intuito de alcançar uma camada com rigidez suficiente para resistir às cargas de projeto (PAIXÃO; CORDEIRO; CORREIA, 2017). Assim como os flexíveis, também possuem revestimento asfáltico.

Há duas formas de apresentar os pavimentos semirrígidos, uma caracteriza - se por uma base cimentada quimicamente, como por exemplo, por uma camada de solo cimento revestida por uma camada asfáltica. Têm-se ainda os pavimentos invertidos que se caracterizam por ser constituída de revestimento, base granular não tratada de brita graduada simples e sub-base de material granular tratado com cimento (BALBO, 2007).

Na figura 4 observa- se as camadas constituintes do pavimento sem rígido.

Figura 4 – Camadas do pavimento Semirígido



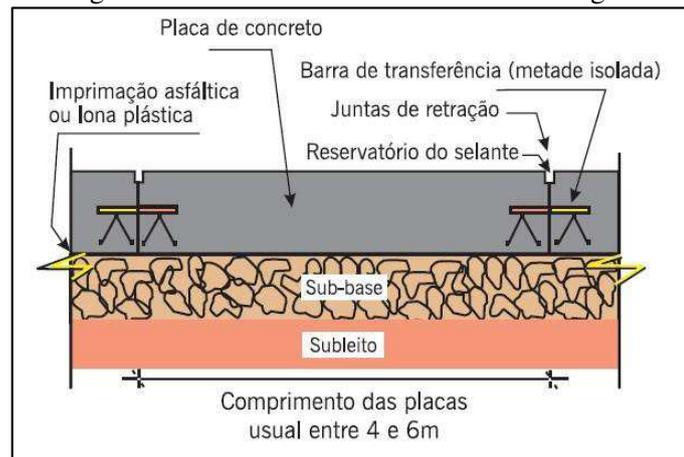
Fonte: DER (2008)

### 2.1.3 Rígidos

Este tipo de pavimento é composto por uma camada superficial de concreto de cimento Portland, podendo ser armadas, ou não, apoiadas sobre uma sub-base de material granular ou estabilizado com cimento, assentada no subleito ou reforço do subleito, quando se fizer necessário. Devido à alta rigidez do revestimento em relação às camadas inferiores, as cargas devido ao contato pneu pavimento são distribuídas por uma grande área, amenizando as tensões que serão transmitidas às demais camadas (BERNUCCI et al., 2006).

Na figura 5 expressa- se o corte transversal de um pavimento rígido.

Figura 5 –Corte Transversal - Pavimento Rígido



Fonte: Bernucci et al. (2006)

Na figura 6 observa – se as camadas componentes do pavimento rígido.

Figura 6 - Camadas do pavimento Rígido.



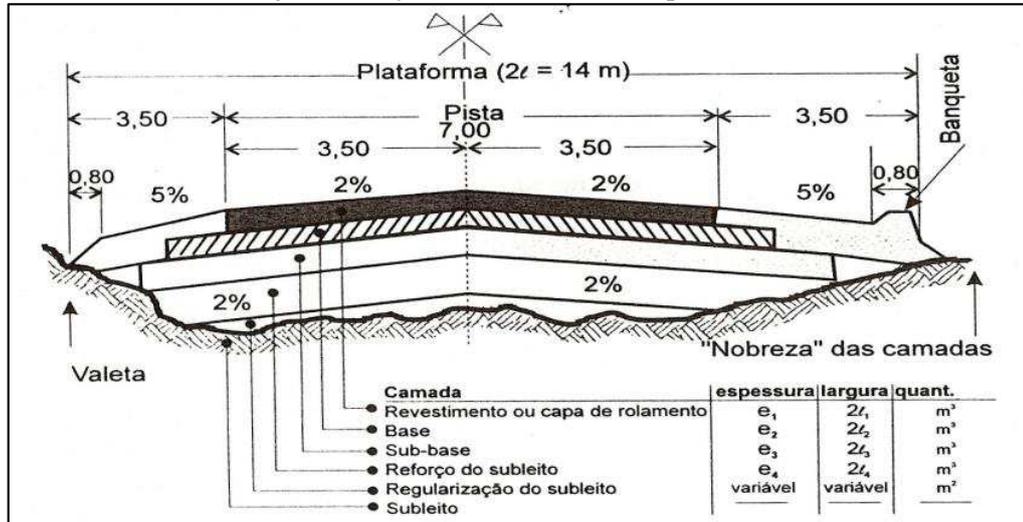
Fonte: DER (2008)

## 2.2. ESTRUTURA DOS PAVIMENTOS

A seção transversal da estrutura do pavimento evidenciada na figura 7 possui alguns detalhes das suas camadas, ou seja, demonstram as existentes em um pavimento e suas respectivas espessuras, tais camadas possuem o objetivo de atender à solicitação de esforços provenientes do tráfego, transmitindo para as camadas inferiores de forma amenizada, visto que a resistência destas é menor. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade de suporte do subleito, da rigidez e da espessura das camadas, e condições ambientais, uma ou mais camadas podem ser suprimidas (BERNUCCI et al., 2006). Nos pavimentos rígidos, por exemplo, devido à elevada rigidez da camada superficial, a base pode ser desconsiderada.

As camadas que compõem um pavimento e suas respectivas funções, descritas mais adiante, são determinadas pela Confederação Nacional dos Transportes – CNT (2017), como: subleito, reforço do subleito, sub-base, base e por fim, o revestimento, podendo ser de concreto ou asfáltico.

Figura 7- Seção Transversal de um pavimento



Fonte: BALBO (2007)

### 2.2.1 Subleito

Denomina-se subleito, o terreno de fundação no qual o pavimento se apoia (SENÇO, 2007). É responsável por absorver, definitivamente, os esforços verticais causados pelo tráfego. Logo acima deste, encontra-se uma faixa de regularização, com o intuito de corrigir eventuais falhas que existam na superfície.

### 2.2.2 Reforço do Subleito

O reforço do subleito complementa a sub-base e, assim como as outras camadas, resiste e transmite os esforços verticais provenientes da ação do tráfego. Sendo executado, mediante à deficiência de suporte do subleito ou trânsito de cargas pesadas. Os materiais a serem utilizados devem atender às especificações mínimas de qualidade, devendo possuir características técnicas superiores à camada inferior e menores que a superior (BERNUCCI et al., 2006).

### 2.2.3 Sub-base

A execução da sub-base se faz necessária, quando após o dimensionamento da base, a espessura for alta, dividindo-a em duas camadas, seja por questões técnicas ou econômicas. É a camada corretiva do subleito ou complementar a base, desde que não seja recomendável construir o pavimento diretamente sobre o leito resultante do processo de terraplenagem (BERNUCCI et al., 2006).

### 2.2.4 Base

Esta camada, por sua vez, é a mais importante do pavimento, visto que, por estar localizada logo abaixo do revestimento, é responsável por reduzir a intensidade da carga oriunda do tráfego (BERNUCCI et al., 2006), exigindo, portanto, uma qualidade elevada dos materiais.

### 2.2.5 Revestimento

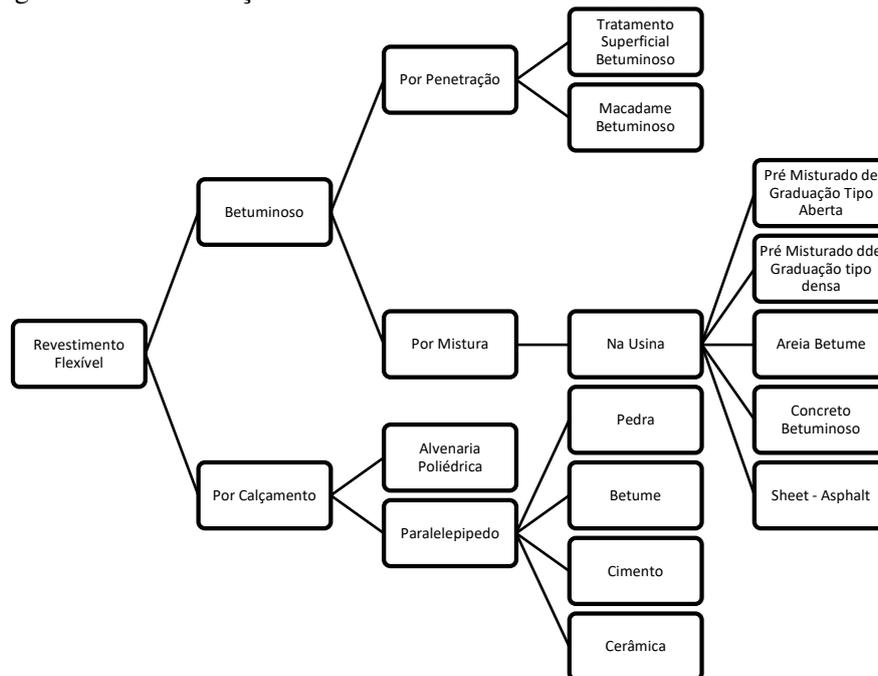
O revestimento é a camada, que recebe diretamente a ação do tráfego. Seu objetivo é ao mesmo tempo em que melhorar a superfície de rolamento quanto às condições de conforto e segurança, resistir ao desgaste, de forma que aumente a vida útil da estrutura (SENÇO, 2007).

O revestimento tem a função de receber as cargas, estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes modificações elásticas, desagregação de componentes ou perda de compactação. Portanto, necessita ser composto de materiais bem aglutinados e dispostos de maneira a evitar sua movimentação horizontal (BALBO, 2007).

O material de revestimento pode ser classificado pela sua fabricação em usina específica (mistura usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são identificados quanto ao tipo de ligante, a quente com o uso de CAP, ou a frio com o uso de EAP (BERNUCCI et al., 2006).

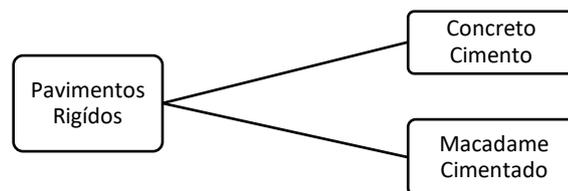
Os revestimentos podem ainda ser agrupados quanto a recomposição da capacidade estrutural ou funcional, alguns tipos especiais preparados em usinas móveis sendo: lama asfáltica e micro revestimento e misturas recicladas com uso de fresadoras - reciclada temperatura, modo de execução e quanto a granulometria. Nas figuras 8 e 9 apresentam características dos pavimentos flexíveis e rígidos.

Figura 8 -Caracterização dos revestimentos – Pavimento de Revestimento Fléxivel



Fonte: CASTRO (2003)

Figura 9 - Caracterização dos revestimentos – Pavimento de Revestimento Rígido



Fonte: CASTRO (2003)

As misturas a quente distinguem-se em vários tipos de acordo com o padrão granulométrico empregado e as exigências de características mecânicas, em função da aplicação a que se destina. O segundo grupo de misturas, feitas em usinas estacionárias próprias, são os pré-misturados a frio em que se empregam as emulsões asfálticas como ligante para envolver os agregados. Também proporcionados de forma conveniente para atender certos requisitos de arranjo do esqueleto mineral, características volumétricas e de resistência mecânicas especificadas, são nesse caso realizadas sem aquecimento dos agregados. O ligante eventualmente pode sofrer um pequeno aquecimento, mas em geral é também usado na temperatura ambiente (SILVA, 2008).

As misturas asfálticas a quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e fíler. São destacados três tipos mais usuais nas misturas a quente de acordo com Bernucci et al. (2006):

Graduação densa: curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA);

Graduação aberta: curva granulométrica uniforme com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA);

Graduação descontínua: curva granulométrica com proporcionalmente dos grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétrea asfáltica (stone matrix asphalt – SMA); mistura sem agregados de certa graduação (gap-graded).

A seguir será abordado com mais detalhes a mistura asfáltica a quente tipo AAUQ, por ser objeto deste estudo.

### **2.3. AREIA ASFÁLTICA USINADA A QUENTE (AAUQ)**

Areia Asfalto Usinada a Quente (AAUQ) é um dos tipos de mistura executada em usina apropriada, a quente, com características específicas, composta de areia (agregado miúdo), material de enchimento (fíler), se necessário, e cimento asfáltico (BERNUCCI et al., 2006). Em regiões onde não existem agregados pétreos graúdos, utiliza-se como revestimento uma argamassa de agregado miúdo, em geral areia, ligante (CAP), e fíler se necessário, com maior consumo de ligante do que os concretos asfálticos convencionais devido ao aumento da superfície específica (DNIT 032/2005).

A AAUQ é normalmente empregada como revestimento de rodovias de tráfego não muito elevado. Como toda mistura a quente, tanto o agregado quanto o ligante são aquecidos antes da mistura e são aplicados e compactados a quente. Essas misturas, devido à elevada quantidade de ligante asfáltico e presença de agregados de pequenas dimensões, requerem muito cuidado na execução (SILVA, 2008).

Um dos problemas mais frequentes dessas misturas é que comumente apresentam menor resistência às deformações permanentes, comparando-se ao CAUQ – Concreto Asfáltico Usinado a Quente (BALBO, 2007).

A areia asfalto usinada a quente (AAUQ) normalmente é utilizada em regiões onde não existem agregados pétreos graúdos, utiliza-se como revestimento uma argamassa de agregado miúdo, em geral areia, ligante (CAP), e fíler se necessário, com maior consumo de ligante do que os concretos asfálticos convencionais devido ao aumento da superfície específica (DNIT 032/2005 – ES).

### 2.3.1. Materiais usados no AAUQ

- CAP 30/45, CAP- 50/70, CAP-85/100, CAP- 150/200;
- Agregado Miúdo
- Material de Enchimento.

#### 2.3.1.1. CAP 30/45, CAP- 50/70, CAP-85/100, CAP- 150/200.

CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) são obtidos pelo processo de destilação de Petróleo, viscoso, semissólido ou sólido, à temperatura ambiente que apresenta comportamento termoplástico torna-se líquido se aquecido e retorna ao estado original após resfriamento, tem propriedades aglutinantes e impermeabilizantes, possuem características de flexibilidade, durabilidade e alta resistência à ação da maioria dos ácidos, sais e álcalis. A consistência do CAP depende da quantidade de fração oleosa remanescente, sendo esse um critério utilizado para sua classificação, traduzida pela viscosidade ou penetração (CARVALHO JÚNIOR, 2017).

#### 2.3.1.2. Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia natural, pó-de-pedra ou mistura de ambos, considerada como material de construção. Suas partículas individuais devem ser resistentes, livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar um equivalente de areia igual ou superior a 50% (DERBA, 2001). A areia pode originar-se de rios, de cavas, de praias ou dunas (DNIT, 2005).

O processo de extração da areia pode ser manual, extração em fossa, área de várzea, leito de curso d'água, em leito de curso d'água navegável e por desmonte hidráulico (GONÇALVES et al, 2002).

Formada principalmente por quartzo, as areias são normalmente extraídas de depósitos recentes e sub-recentes de canais e terraços fluviais (VALVERDE, 2001). Extraída principalmente para atender a construção civil a areia também pode ser utilizada para a

fabricação de vidros, agricultura, tratamento de água e outros. De acordo com Almeida e Silva (2005), atualmente 90% da produção nacional de areia natural, no Brasil, é obtida a partir da extração em leito de rios e os 10% restantes, de outras fontes (várzeas, depósitos lacustres, mantos de decomposição de rochas, pegmatitos e arenitos decompostos).

A NBR 7211 (ABNT, 2005) fixa as características exigíveis na recepção e produção de agregados, miúdos e graúdos, de origem natural, encontrados fragmentados ou resultantes da britagem de rochas. Dessa forma, define agregado miúdo como os agregados cujos grãos passam pela peneira com abertura de malha de 4,75 mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150  $\mu\text{m}$ .

Segundo a NBR 7211/2005 As areias são classificadas quanto a vários fatores, um destes é a granulometria.

- Granulometricamente areia fina (entre 0,06 mm e 0,2 mm);
- Granulometricamente areia media (entre 0,2 mm e 0,6 mm);
- Granulometricamente areia grossa (entre 0,6 mm e 2,0 mm).

Ainda segundo a NBR 7211 (ABNT, 2005) o agregado deve ser composto por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias deletérias.

Do ponto de vista geológico Bauer (1995) define a areia como um sedimento plástico inconsolidado, de grãos em geral quartzosos, de diâmetro entre 0,06 e 2,00mm.

Referente à massa unitária os agregados classificam-se em leves quando sua massa é menor que uma tonelada por metro cúbico, médios quando a massa fica entre uma e duas toneladas por metro cúbico, e pesado quando ultrapassam duas toneladas por metro cubico (PILZ, 2011). Em termos médios, uma areia apresenta massa unitária na ordem de 1.500  $\text{kg}/\text{m}^3$  (BASÍLIO, 1995).

#### 2.3.1.3. Material de Enchimento – Fíler.

Fíler ou material de enchimento constitui um material mineral inerte em relação aos demais componentes da mistura asfáltica, finamente dividido, passando pelo menos 65% na peneira de 0,075 mm de abertura de malha quadrada (DNER – EM 367/97).

Santana (1995) define fíler de maneira mais geral, ou seja, como sendo um material constituído de partículas minerais provenientes dos agregados graúdos e/ou miúdos empregados na mistura asfáltica, ou de outras fontes, como, por exemplo, pó calcário, cal

hidratada, cimento Portland, etc., que pode melhorar o comportamento reológico, mecânico, térmico e de sensibilidade à água, desde que obedecidos os limites para granulometria e plasticidade.

O fíler é utilizado como material de enchimento dos vazios entre agregados graúdos e miúdos, contribuindo para fechamento da mistura, modificando a trabalhabilidade, a resistência à água e a resistência ao envelhecimento. Em decorrência do pequeno tamanho das partículas e de suas características de superfície, o fíler age como material ativo, manifestado nas propriedades da interface fíler/ligante asfáltico, não sendo, portanto, apenas um material inerte, como é apresentado na definição geral do DNER EM 367/97.

Santana (1995) também discute dois pontos de vista sobre a influência do fíler:

Mástique com fíler total, em um mástique bem dosado todas as partículas do fíler ficam em suspensão no asfalto, ou seja, suas partículas não se tocam, formando um mástique homogêneo.

Mástique com fíler ativo, parte do fíler ainda se comporta como um agregado muito fino, com suas partículas se tocando, formando um esqueleto mineral, e a outra fica em suspensão no ligante, formando um mástique.

### **3. METODOLOGIA**

A metodologia expressa neste trabalho traz inicialmente uma revisão bibliográfica sobre conceitos pertinente a mistura de AAUQ, assim como o procedimento de coleta e seleção de materiais para serem utilizados em ensaios laboratoriais descritos a seguir.

#### **3.1. PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS**

O procedimento adotado neste trabalho parte inicialmente de revisão bibliográfica, através de artigos, livros, teses, além de documentos como as normas. Posteriormente realizou-se a pesquisa de campo com a coleta de material para análise na região do interior do estado do Maranhão, previamente selecionados, e por fim uma análise mecânica e física das amostras no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação – LSP da UEMA- São Luís.

Quanto à forma de abordagem é categorizada como quanti - qualitativa, quanto a natureza é uma pesquisa experimental, quanto aos objetivos exploratória, quanto aos procedimentos técnicos é uma pesquisa de laboratório, pois tem como objetivo proporcionar maiores informações sobre o tema, observar, analisar e interpretar os dados obtidos (PRODANOV, 2013).

#### **3.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS**

As amostras do presente estudo foram retiradas de áreas existentes na região central próximo a dois municípios do interior do Maranhão, região com grande concentração de areais de diversos tipos. As areias foram analisadas para possibilitar informações que compõem este trabalho, ou seja, ensaio específico para identificar suas características com o objetivo de serem utilizadas no revestimento asfálticos. É importante destacar que a escolha dessa região foi feita fazendo-se apenas uma sondagem inicial e por estar próximo do local de convívio do autor desta pesquisa.

Na região apresentada na figura 10 encontra - se localizadas as cidades de porte médio como Presidente Dutra e Joselandia, que apresenta vocação para plantio de arroz, milho e pecuária. A região está em crescimento econômico ainda com pequenos comércios familiares.

Figura 10 - Região de extração das areias Presidente Dutra



Fonte: Google Earth (2019)

### 3.3. LOCAL DE REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação na Universidade Estadual do Maranhão no Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) de São Luís – MA.

### 3.4. MATERIAIS UTILIZADOS

Neste estudo foram utilizadas: areias, filer, CAP, descritos a seguir.

#### 3.4.1. Apresentação das amostras de areias

As amostras de areias foram coletadas de jazidas localizadas na região central do Maranhão, mas especificamente próximo às cidades de Joselândia e Presidente Dutra, seguindo as especificações da DNER-PRO120/97. Na tabela 1 apresenta a relação de jazidas de areias, utilizadas nesse estudo, com respectivas localizações geográfica.

Tabela 1- Relação e Localização das Jazidas

| Nº da amostra | Nome da jazida        | Localidade                            | Localização Geográfica      |
|---------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
| 1             | Jazida Dell Brisa     | Povoado Angical – Presidente Dutra-MA | 5°28'24'' S<br>44°27'27'' W |
| 2             | Jazida Íris           | Povoado Angical – Presidente Dutra-MA | 5°27'40'' S<br>44°27'14'' W |
| 3             | Jazida Queiroz-Cabral | Povoado Angical – Presidente Dutra-MA | 5°27'32'' S<br>44°27'39'' W |
| 4             | Jazida Barracão       | Povoado Barracão – Joselandia -MA     | 4°54'16'' S<br>44°42'39'' W |
| 5             | Jazida Cazuza         | Povoado Cazuza – Joselandia -MA       | 4°52'33'' S<br>44°40'33'' W |

Fonte: Própria (2019)

As figuras 11 a 20 realçam alguns aspectos das jazidas em estudo nesse trabalho

Figura 11- Localização da Jazida Dell Brisa



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 12 –Vista da Jazida Dell Brisa



Fonte: Própria (2019)

Figura 13- Localização da Jazida Iris



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 14- Vista da Jazida Iris



Fonte: Própria (2019)

Figura 15- Localização da Jazida Queiroz - Cabral



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 16- Vista da Jazida Queiroz Cabral



Fonte: Própria (2019)

Figura 17- Localização da Jazida Barração



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 18- Situação Atual da Jazida Barração



Fonte: Própria (2019)

Figura 19- Localização da Jazida Cazuza



Fonte: Google Earth (2019)

Figura 20 - Vista da Jazida Cazuza



Fonte: Própria (2019)

### 3.4.2. Fíler

Nesta Pesquisa foi escolhido o cimento Portland CP- IV- 32 RS, como fíler, com o intuito de juntamente á areia completar a granulometria da mistura e assim diminuir o número de vazios. Este foi adquirido em uma loja de construção local e submetido aos seguintes ensaios:

- a) Ensaio de Granulometria (DNER- ME 083/98)
- b) Determinação da massa Especifica real (DNER-ME 084/85).

### 3.4.3. CAP- 50/70

O ligante utilizado neste trabalho foi o cimento asfáltico de petróleo, mais especificamente o CAP 50/70, procedente da LUBNOR (Refinaria Lubrificantes e Derivados do Nordeste) que é comumente utilizado na pavimentação maranhense, que foi cedido ao Laboratorio de Solos e Pavimentação da UEMA pela empresa Edeconsil. Para sua caracterização foi submetido aos seguintes ensaios.

- a) Penetração
- b) Viscosidade Saibolt Furol (DNER – ME 004/94).
- c) Ponto de Amolecimento

### 3.4.4. Mistura Asfáltica

Como exposto a mistura asfáltica escolhida para a pesquisa foi Areia Asfalto Usinada a Quente (AAUQ), tendo suas características mecânicas e volumétricas analisadas pelos seguintes ensaios:

- a) Ensaio Marshall (DNER- ME 043-95)
- b) Resistência a tração por compressão Diametral (DNIT – 136/2010).

## **3.5. ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO FÍSICA E MECÂNICA**

### 3.5.1. Preparo do Material

Após coletado, os materiais foram transportados e preparados no LSP. Em seguida foram executados os ensaios especificados a seguir.

### 3.5.2. Ensaio laboratoriais

As atividades foram desenvolvidas pelo próprio autor do trabalho com o auxílio de profissionais e outros alunos da universidade.

As amostras foram previamente secas ao ar livre, analisadas para retirada de qualquer partícula indesejada que pudesse ser vista a olho nu e divididas por meio de um quarteador até a obtenção da massa necessária para o ensaio a ser feito.

#### 3.5.2.1 Ensaio de caracterização física – Agregado Miúdo

##### 3.5.2.1.1 Equivalente de areia

O equivalente de areia é a relação volumétrica que corresponde à razão entre a altura do nível superior da areia e a altura do nível superior da suspensão argilosa de uma determinada quantidade de solo ou de agregado miúdo, numa proveta, em condições estabelecidas neste método (NBR 12052 -1992).

Alguns agregados contêm certos materiais que os tornam impróprios para utilização em revestimentos asfálticos, a menos que a quantidade desses materiais seja pequena. São materiais deletérios típicos tais como: vegetação, conchas e grumos de argila presentes sobre a superfície das partículas do agregado graúdo. As especificações apresentam limites aceitáveis para a presença desses materiais. A limpeza dos agregados pode ser verificada visualmente, mas uma análise granulométrica com lavagem é mais eficiente.

O ensaio de equivalente de areia, descrito na norma DNER-ME 054/97, determina a proporção relativa de materiais do tipo argila ou pó em amostras de agregados miúdos.

O resultado deste ensaio aprova o material para sua utilização em determinadas obras de engenharia ou, em outros casos, determina a realização de outros ensaios de caracterização ou, ainda, reprova o material em virtude da presença excessiva de finos e materiais orgânicos (CARVALHO JÚNIOR, 2017).

São utilizados os seguintes equipamentos e reagentes no preparo da solução e ensaio:

- Peneira de n °4, de acordo com a DNER-EM 035/95,

- Proveta cilíndrica, transparente, de vidro ou acrílico, graduada de 2 em 2 mm, até pelo menos 38 cm, a partir da base, ou apresentando dois círculos de referência a 10 cm e 38 cm, respectivamente da base;

- Tubo elevador de cobre ou latão

- Garrafão com capacidade de 5 litros. O garrafão é colocado 90 cm a 1m acima do ponto de enchimento da proveta de trabalho;

- Pistão constituído por uma base metálica de 45 cm de comprimento, tendo na extremidade inferior uma sapata cônica.

- Funil para colocar o solo na proveta;

- Solução previamente preparada.

Seguindo as especificações ditadas pelas Normas da ABNT NBR 12052-1992, o procedimento a seguir.

O solo foi peneirado e usado no ensaio apenas o passante na peneira n<sup>o</sup> 4, numa quantidade medida em volume numa cápsula padrão e colocada em uma proveta contendo uma solução de cloreto de cálcio-glicerina-formaldeído sifonando, solução de trabalho até atingir o traço de referência a 10 cm da base.

Transfere-se para a proveta, com auxílio do funil, o conteúdo de um recipiente de medida cheio de amostra preparada e rasada na superfície. O conteúdo do recipiente corresponde ao material solto. Bate-se o fundo da proveta firmemente com a palma da mão várias vezes.

Deixa - se descansar por 10 minutos com a proveta aberta, em seguida é tampado com a rolha de borracha e agitada vigorosamente, num movimento alternado, horizontalmente. Executam-se ciclos em aproximadamente 30 segundos, com que ocorra um deslocamento de solo. Cada ciclo compreende um movimento completo de vaivém, completa-se a proveta com a solução até um nível predeterminado lavando se as paredes e imediatamente inseri -se o tubo até o fundo da proveta.

A figura 21 mostra alguns detalhes do ensaio.

Figura 21 - Equivalente de areia dos solos



Fonte: Própria (2019)

Deixa-se repousar por 20 minutos sem perturbação. Qualquer vibração ou movimento da proveta durante esse período interferirá com a velocidade normal de sedimentação da argila em suspensão e será causa de erro no resultado;

Após esse período, é determinada a altura de material floculado em suspensão ( $h_1$ ) determinando o nível superior da suspensão argilosa, efetuando a leitura com precisão de 2 mm.

Em seguida introduz-se o pistão cuidadosamente na proveta até assentar completamente na areia. Gira-se a haste ligeiramente, sem empurrá-la para baixo, até que um dos parafusos de ajustagem torne-se visível, fixando-o à haste, por meio de um parafuso nele existente.

Finalmente com ajuda de uma régua, a altura visível do solo. Com um bastão padronizado que é introduzido na proveta, é determinada a altura de agregado depositado por sedimentação ( $h_2$ ).

O equivalente de areia é calculado a partir da equação:

$$EA = \frac{\text{Leitura no topo da areia}}{\text{Leitura no topo da argila}} \times 100 \quad (1)$$

### 3.5.2.1.2 Massa Específica

A massa específica é a relação entre a massa de certa substância e o volume ocupado pela mesma. No caso dos agregados, temos a massa específica real, que é quando excluimos os vazios entre os grãos e os permeáveis nos cálculos, e a massa específica aparente, em que esses vazios entre os grãos e os permeáveis são inclusos (NBR 9776/1987).

A massa específica do agregado miúdo foi obtido utilizando o frasco de Chapman. Esse ensaio é normatizado, no Brasil, pela NBR 9776/1987 – Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman.

Materiais usados para este ensaio são:

- Balança com sensibilidade de 0,1 g;
- Frasco Chapman;
- Espátula;
- Funil;
- Pipeta;
- Pá;
- Estufa;
- Cápsula de porcelana.

O Procedimento realizado basicamente segue em uma secagem da amostra em estufa a 110°C, até constância de peso. Posteriormente é pesado 500 g de agregado miúdo que coloca-se no frasco Chapman, contendo água destilada até a marca de 200 cm<sup>3</sup>.

Após introduzir as 500 g de agregado no frasco, com auxílio de um funil, agita-se o frasco, cuidadosamente, com movimentos circulares, para a eliminação das bolhas de ar (as paredes do frasco não devem ter grãos aderidos);

Por fim faz - se a leitura final do nível da água, que representa o volume de água deslocado pelo agregado (L).

O processo é então repetido duas vezes para cada solo analisado. O resultado da densidade é obtido a partir da equação 2.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (2)$$

$\gamma$  = massa específica do agregado miúdo, expressa em  $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$

L = Leitura do Frasco (volume ocupado pelo conjunto água – agregado mudo)

Para o ensaio ser considerado satisfatório, de acordo com a norma NBR 9776/1987, duas determinações consecutivas feitas com amostras do mesmo agregado, não podem diferir entre elas mesmas de mais de 0,05 g/cm<sup>3</sup>.

#### 3.5.2.1.3. Análise Granulométrica

A distribuição granulométrica dos agregados é a determinação das dimensões das partículas do agregado e de suas respectivas porcentagens de ocorrência. É uma das principais características dos agregados, pois influencia na rigidez, estabilidade, durabilidade, permeabilidade, trabalhabilidade, além de outras propriedades, da mistura asfáltica. É representada através de uma curva possibilitando, assim, a determinação das características físicas do material. (DNIT-ME 032/2004.)

Para esse ensaio, neste estudo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Peneiras de malha quadrada com as seguintes numerações: “3/8”, N° 4, N°10, N° 40, N° 80 e N° 200.
- Balança com capacidade de 20kg, sensível a 1g.
- Escovas apropriadas para limpeza das peneiras.

Após o preparo do material houve a organização das peneiras, previamente limpas, de modo a formar um único conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, com um fundo adequando ao conjunto, como específica a norma DNIT-ME 032/2004.

Depois foi despejado o material separado sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar a formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras e, logo em seguida foi realizado o peneiramento manual. A agitação das peneiras, conforme a DNER-ME 083/98 foi realizada em movimentos laterais e circulares alternados, tanto no plano horizontal quanto no vertical e inclinado.

Por último quantificou-se o material retido acumulado em cada peneira, calculando-se a porcentagem que passa em cada peneira relativa ao peso total da amostra para, então, esboçar-se a curva granulométrica.

#### 3.5.2.1.4. Angularidade

De acordo com Gouveia (2002), a resistência á trabalhabilidade das misturas asfálticas pode ser ao longo do tempo afetado pela forma, angularidade e textura superficial dos agregados, e que as partículas achatadas e alongadas são indesejáveis nas misturas asfálticas. Misturas que contenham partículas angulares possuem inter travamento e atrito interno maior que as misturas que possuem partículas arredondadas, pois resulta em uma maior estabilidade mecânica.

O ensaio de angularidade do material fino (FAA) é regularizado pela Superpave, onde avalia a forma, a angularidade e a textura superficial dos agregados finos. De acordo com a norma DNIT XXX/2008, a angularidade do fino é avaliada quando a amostra é verificada de uma altura de queda estabelecida, dentro de um cilindro de 100 cm<sup>3</sup>, conforme apresenta –se na figura 22.

Figura 22 -Detalhes do ensaio de Angularidade



Fonte: Própria (2019).

O resultado do ensaio é obtido usando a equação 3 expressa:

$$U = \left( \frac{v_c - \frac{ma}{pap}}{v_c} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

U = vazios não compactados em %.

$V_c$  = volume do cilindro em  $\text{cm}^3$ ,

$M_a$  = massa do agregado contida no cilindro em g,

$P_{ap}$  = massa específica aparente do agregado fino, em  $\text{g/cm}^3$ .

Para o ensaio ser realizado é necessário que o agregado utilizado esteja de acordo com um dos três métodos indicados pela norma DNIT XXX/2018 - ME, sendo A, B e C, em que se muda apenas a quantidade de material retido em cada peneira para a realização do ensaio. O método A utiliza uma combinação de frações específicas enquanto o método B utiliza três frações individuais específicas, sendo realizado o ensaio em cada fração de agregado separadamente. O método C não há controle de granulometria, sendo apenas ensaiados 190 g de agregado miúdo. Para a real determinação de FAA o ideal é se utilizar os três métodos indicados pela norma. Na tabela 2 apresenta-se as frações granulométricas de cada método.

Tabela 2 -Frações Granulométricas

| <b>Frações Granulométricas utilizadas nos métodos A e B</b> |                    |                    |
|---|--------------------|--------------------|
| <b>Peneira (passado – retido)</b>                           | <b>Método A(g)</b> | <b>Método B(g)</b> |
| <b>2,36 mm -1,18mm</b>                                      | 44                 | 190                |
| <b>1,18mm- 0,60mm</b>                                       | 57                 | 190                |
| <b>0,60mm-0,30mm</b>  | 72                 | 190                |
| <b>0,30mm-0,15mm</b>  | 17                 | -                  |
| <b>TOTAL</b>  | 190                | -                  |

Fonte: DNIT XXX/2018

### 3.5.2.2. Ensaio de caracterização do Fíler

#### 3.5.2.2.1. Granulometria

O material de enchimento (fíler) segue a norma DNER 367/97 e tem como matéria, um minério inerte em relação aos demais componentes. O material deverá possuir granulometria de acordo com a tabela 3.

Tabela 3 – Granulometria do filer

| <b>Abertura da malha (mm).</b> | <b>% Peso passando</b> |
|--------------------------------|------------------------|
| <b>0,42</b>                    | 100                    |
| <b>0,18</b>                    | 95-100                 |
| <b>0,075</b>                   | 65- 100                |

Fonte: Fonte: DNIT XXX/2018

#### 3.5.2.2.2. Densidade Le Chatelier

O experimento consiste em determinar a massa específica do filer, no qual foi utilizado o cimento Portland CP-IV-32 da marca Bravo, através da imersão do filer em querosene, onde mede-se previamente a imersão os volumes e logo após é feito uma nova medição no qual os resultados são apresentados. Esse processo permite determinar a massa específica absoluta ou densidade absoluta do cimento numa relação entre a massa, de quantidade determinada, e a variação de volume do líquido obtida no processo de imersão.

Os materiais usados contam com o frasco volumétrico de Le Chatelier, com 250 mm de altura e bulbo com aproximadamente 250 cm<sup>3</sup> de capacidade até a marca zero da escala, uma balança de precisão, funil de vidro, fio de aço (NBR 085/94).

Os resultados do ensaio são obtidos pela aplicação da formulas descrita na equação 5, onde o volume do cimento é dado em:

$$Massa\ especifica\ real = \mu = \frac{massa\ do\ material}{volume\ de\ liquido\ deslocado} \quad (5)$$

#### 3.5.2.3. Ensaio de caracterização física – CAP

##### 3.5.2.3.1 Penetração

A penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, que uma agulha de massa padronizada (100g) penetra numa amostra de volume padronizado de cimento asfáltico, por 5 segundos, à temperatura de 25°C (SENÇO, 2008). Em cada ensaio, três medidas individuais de penetração são realizadas. A média dos três valores é anotada e aceita, se a

diferença entre as três medidas não exceder um limite especificado em norma. A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. A norma brasileira para este ensaio é a NBR 6576/98.

O ensaio de penetração também é empregado na atualidade no Brasil para a classificação dos CAPs.

Conforme o DNER- ME 003/99 ao iniciar o ensaio de penetração, aquece –se a amostra de CAP até uma temperatura mínima definida, em seguida coloca- se a amostra em um recipiente fechado e mantém-se em uma temperatura de 25° por cerca de 90 minutos para resfriamento. Após isso se coloca a amostra em um banho d’agua por mais 90 minutos.

A seguir coloca- se a amostra sob a agulha no penetrômetro e ajustando a escala para a leitura zero, libera-se a agulha para a penetração durante 5 segundos anotando o resultado obtido. Repete- se o ensaio por mais duas vezes, obtendo o valor de penetração do concreto asfáltico pela média desses três valores encontrados, desprezando-se valores que se afastem mais que os indicados na Tabela 4.

Tabela 4 - Critérios para indicação de resultados do ensaio de penetração

| <b>Critérios para indicação dos resultados</b>   |          |            |             |        |
|--|----------|------------|-------------|--------|
| <b>Penetração</b>  | 0 até 49 | 50 até 149 | 150 até 249 | ≥250   |
|  | 0,1 mm   | 0,1 mm     | 0,1 mm      | 0,1 mm |
| <b>Diferença máxima entre o valor mais alto e o valor mais baixo das determinações</b> | 2        | 4          | 12          | 20     |

Fonte: DNER- ME – 003/99

Os instrumentos utilizados nesse ensaio são:

- Recipiente

O recipiente, no qual a amostra foi ensaiada, deve ser de forma cilíndrica e fundo plano, de metal, com as dimensões internas apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 - Dimensões do recipiente de ensaio

| <b>Para materiais de penetração</b> | <b>Diâmetro interno</b> | <b>Altura interna</b> |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
|                                     | <b>mm</b>               | <b>mm</b>             |
| Menor que 200                       | <b>55</b>               | <b>35</b>             |
| Maior que 200 e menor que 350       | <b>70</b>               | <b>55</b>             |

Fonte: DNER-ME 003/99

- Penetrômetro

Aparelho que permite o movimento da haste que suporta a agulha, sem fricção, e que seja cuidadosamente calibrado, para dar resultados de acordo com a definição de penetração. A massa da haste deve ser de  $(47,50 \pm 0,05)$  g e a massa da haste mais agulha deve ser de  $(50,00 \pm 0,05)$  g. Massas de  $(50,00 \pm 0,05)$  g e  $(100,00 \pm 0,05)$  g devem estar disponíveis para compor massas totais de 100 g e 200 g.

- Agulha

- Banho d'água

- Cuba de transferência

- Dispositivos para medida de tempo

Após o preparo com as devidas definições da Norma, tem se algumas características a serem seguidas, tais como 25°C, 100 g e 5 segundos.

Inicialmente examinou-se o suporte da agulha e a haste, para verificar a ausência de água e outros materiais estranhos. Limpa - se a agulha com solvente adequado, secando com pano limpo.

A menos que sejam especificadas condições especiais, coloca-se o peso de 50 g acima da agulha, fazendo com que a carga total seja de 100,0 g para o conjunto de penetração, inclusive a agulha. Deve - se colocar o recipiente da amostra dentro da cuba de transferência e encher a cuba com água do banho d'água de tal modo que a amostra fique totalmente submersa.

A cuba de transferência é colocada sobre o prato do penetrômetro e executa-se o ensaio imediatamente.

Ajusta - se a agulha à superfície da amostra, fazendo com que coincida exatamente a imagem da agulha refletida pela amostra com a sua imagem verdadeira. A imagem refletida foi obtida usando-se uma fonte de luz que ilumine adequadamente a amostra.

Anota-se a leitura do mostrador do penetrômetro para a posição inicial. Após o ajuste da agulha à superfície da amostra e da leitura do mostrador do penetrômetro, libera - se rapidamente a agulha durante o tempo especificado de 5s, anota-se assim o valor final da leitura. Caso o recipiente da amostra, à medida que a agulha é aplicada, sofra algum movimento, deverá ser abandonado o resultado.

São realizadas 5 leituras , em pontos distribuídos da superfície da amostra, distantes entre si e da borda do recipiente de 1 cm, no mínimo. Depois de cada penetração, limpa - se a

agulha com solvente apropriado, enxuga-se com um pano limpo e seco e repete-se a operação já descrita.

Para valores de penetrações maiores que 200, utilizar no mínimo três agulhas, deixando-as na amostra até completar as determinações.

#### 3.5.2.3.2. Viscosidade Saybolt – Furol

No Brasil o viscosímetro mais usado para os materiais asfálticos é o de Saybolt-Furol (Saybolt: o inventor; e Furol: Fuel Road Oil) (ABNT NBR 14756/2001). A viscosidade de Saybolt furol segundo Senço (2008) é o tempo em segundos para que 60 ml de material betuminoso fluam ininterruptamente no viscosímetro através de um orifício. Determinar a consistência dos materiais betuminosos em estado líquido de forma prática é o objetivo principal desse ensaio.

A norma NBR 14950/03 é a utilizada para determinar a viscosidade da Saybolt – Furol. O aparelho consta, basicamente, de um tubo com formato e dimensões padronizadas, no fundo do qual fica um orifício de diâmetro 3,15 x 0,02mm. O tubo, cheio de material a ensaiar, é colocado num recipiente com óleo (banho) com o orifício fechado. Quando o material estabiliza na temperatura exigida (25 a 170°C dependendo do material e 135°C para os cimentos asfálticos), abre-se o orifício e inicia-se a contagem do tempo. Desliga-se o cronômetro quando o líquido alcança, no frasco inferior demonstrado na figura 22, a marca de 60 ml. O valor da viscosidade é reportado em segundos Saybolt-Furol, abreviado como SSF, a uma dada temperatura de ensaio.

Além do uso na especificação, a medida da viscosidade do ligante asfáltico tem grande importância na determinação da consistência adequada que ele deve apresentar quando da mistura com os agregados para proporcionar uma perfeita cobertura dos mesmos e quando de sua aplicação no campo. Para isso é necessário se obter, para cada ligante asfáltico, uma curva de viscosidade com a temperatura que permita escolher a faixa de temperatura adequada para as diversas utilizações.

Para fazer a curva viscosidade-temperatura, é necessário empregar várias amostras, uma para cada temperatura de determinação.

Um dos objetivos do ensaio de viscosidade é determinar a temperatura de mistura e de compactação da mistura asfáltica.

A aparelhagem usada neste ensaio é:

-Fogão;

- Viscosímetro Saybolt Furol;
- CAP 50/70;
- Termômetro;
- Recipiente para coleta - frasco de 60 ml (Figura 23).

Figura 23 - Frasco de 60 ml



Fonte: Própria

#### 3.5.2.3.3. Ponto de amolecimento

De acordo com Senço (2008) o ponto de amolecimento é uma medida empírica que correlaciona a temperatura na qual o asfalto amolece quando aquecido sob certas condições particulares e atinge uma determinada condição de escoamento. O objetivo do ensaio de ponto de amolecimento é a determinação da temperatura em que os concretos asfálticos se tornam fluídos. O ponto de amolecimento é uma medida em temperatura, na qual o asfalto amolece quando aquecido em certas condições e uma esfera de aço pesando aproximadamente 3,4 g passa por ele tocando uma placa de referencia (DNIT 131/2010).

Uma bola de aço de dimensões e peso especificados 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. Quando o asfalto amolece o suficiente para não mais suportar o peso da bola, a bola e o asfalto deslocam-se em direção ao fundo do béquer. A temperatura é

marcada no instante em que a mistura amolecida toca a placa do fundo do conjunto padrão de ensaio. O teste é conduzido com duas amostras do mesmo material.

Se a diferença de temperatura entre as duas amostras exceder 2°C, o ensaio deve ser refeito. Devido às condições descritas, esse ensaio é também referenciado como ensaio do anel e bola (NBR 6560/2000), também normatizado pela norma do DNIT 131/2010 no qual é realizado duas vezes, tendo como resultado a média dos resultados atingidos desde que a diferença entre eles não ultrapasse 1° C, caso ocorra, deve-se refazer todo o ensaio.

De acordo com a norma supracitada esse ensaio é classificatório em especificações brasileira e europeia, e é empregado para estimativa de suscetibilidade térmica, além de também estar presente em especificações de asfaltos modificados e asfaltos soprados. Para determinar o ponto de amolecimento dos materiais asfálticos na faixa de 30°C a 157°C, utiliza-se a aparelhagem:

- a) Anéis de latão;
- b) Guia das bolas para manter cada bola centrada sobre o anel
- c) Bolas de aço, com massa entre 3,50 g e 3,55 g, com diâmetro de 9,50 mm;
- d) Suporte de latão, para os anéis e o termômetro;
- e) Béquero de vidro, termorresistente, forma baixa, com capacidade de 800 ml;
- f) Termômetro de vidro ASTM 15 C;
- g) Termômetro de vidro ASTM 16 C;
- h) Bico de Bunsen ou aquecedor elétrico, que permita manter o aquecimento nas condições especificadas na Norma;
- i) Espátula metálica plana, com cabo de madeira;
- j) Placa de latão para moldagem do material nos anéis;
- k) Bastão de vidro, com pontas arredondadas.
- l) Banho capaz de manter a temperatura do ensaio, possuindo diâmetro interno de no mínimo 85 mm e altura de, no mínimo, 120 mm;

Monta-se o aparelho e coloca-se água destilada no béquer, até uma altura de (105 ± 3) mm; os anéis posicionam-se horizontalmente no suporte, a sua borda inferior fique a 25,4 mm da placa de referência, e esta deve ficar entre 13 mm e 19 mm acima do fundo do béquer. Em seguida coloca-se as guias das bolas sobre os anéis e introduz o conjunto no béquer.

Nas figuras de 24 a 27 mostram alguns detalhes da montagem deste ensaio

Figura 24 - Montagem do Aparelho de Anel e Bola



Fonte: Própria (2019).  
Figura 25 -Anel suporte.



Fonte: Própria (2019).

Figura 26 -Esferas de aço



Fonte: Própria

O termômetro ASTM 15C deve ficar suspenso, no suporte, de tal modo que o fundo do bulbo fique no mesmo nível da borda inferior dos anéis e afastado 13 mm destes.

O aquecimento deve ser realizado a uma razão de  $(5 \pm 0,5)$  °C por minuto; se após 3 minutos, a velocidade de aquecimento especificada não for possível de ser ajustado, abandonar o ensaio.

Figura 27 - Equipamento de utilização do ensaio Anel Bola



Fonte: Própria

Anota-se, para cada bola, a temperatura indicada pelo termômetro no instante em que o material que envolve a bola tocar a placa inferior; se a diferença entre os valores obtidos nas determinações em duplicata excederem a 1°C, deveria repetir o ensaio.

### 3.5.3. Dosagem Marshall

O método de dosagem de Marshall é descrito na norma DNER-ME 043/95, o objetivo desse método é determinar o teor de asfalto de projeto que deverá ser adicionado à mistura de agregados, a fim de que sejam satisfeitas as especificações de serviço. A mistura a ser dosada deve manter percentagem de vazios, pois com o tempo os agregados tendem a se compactar sob a ação do tráfego e o asfalto tende a subir para a superfície da capa de rolamento. Outra razão de se manter os vazios em certo intervalo de valor é a característica da variação de volume do asfalto por influência da temperatura. Primeiramente, é selecionada a faixa granulométrica devidamente enquadrada na faixa de serviço exigido em norma, logo após é determinando um traço em porcentagem com as massas do agregado, material de enchimento e CAP, onde a soma dessas massas deve totalizar 1200 gramas conforme o exigido na norma DNIT-ES 032/2005. Em seguida, são moldados os corpos de prova (Figura 28). É necessária também a realização do ensaio de viscosidade, para determinação das temperaturas do ligante, do agregado e da compactação, através da curva temperatura-viscosidade.

Após os procedimentos descritos anteriormente, é moldado através de compactação manual ou numa compactadora mecânica no mínimo três corpos de prova para cada teor de CAP. Após um período mínimo de 12 horas, os corpos de prova são desmoldados e com o auxílio de um paquímetro tem as suas dimensões anotadas e então é medido a massa seca  $M_{SECA}$  e o volume de água deslocado pelo o corpo de prova que é numericamente igual a massa de água deslocada pelo o corpo de prova  $M_{DESL.}$  e calcula se os parâmetros volumétricos , tomando como base as equações :

a) Densidade Máxima Teórica - DMT

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%_{CAP}}{\gamma_{CAP}} + \frac{\%_{FILLER}}{\gamma_{FILLER}} + \frac{\%_{ARE}}{\gamma_{ARE}}} \quad (6)$$

Onde

$\%_{CAP}; \%_{FILLER}; \%_{ARE}$  são os valores percentuais do CAP, filler e da areia na mistura.

$\gamma_{CAP}; \gamma_{FILLER}; \gamma_{ARE}$  são os valores das massas específicas do CAP, filler e da areia

b) Massa específica aparente de mistura

$$Gmb = \frac{M_{SECA}}{M_{DESL}} \quad (7)$$

c) Volume de vazios

$$V_v = \frac{DMT - Gmb}{DMT} \times 100 \quad (8)$$

d) Vazios do agregado mineral

$$VAM = V_v + VCB \quad (9)$$

e) Relação betumes/vazios

$$RBV = \frac{VCB}{VAM} \times 100 \quad (10)$$

Os resultados encontrados foram organizados em valores médios expressos em tabelas e em curvas que relacionam as propriedades volumétricas em estudo com os seus respectivos teores de CAP.

Figura 28 - Moldagem dos corpos de prova AAUQ



Fonte: Própria (2019)

Figura 29 - Pesagem dos corpos de prova



Fonte: Própria (2019)

Foram determinados os volumes submersos

Figura 30 - Volume submerso dos corpos de prova



Fonte: Própria (2019)

Em seguida corpos-de-prova produzidos foram imersos em banho-maria como mostra na Figura 31 a  $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$ , para misturas com cimento asfáltico ou a  $(38 \pm 1)^\circ\text{C}$ , para misturas com alcatrão, por um período de 30 a 40 minutos. Como alternativa, podem ser colocados em estufa nas mesmas temperaturas pelo período de 2 (duas) horas.

Figura 31 - Corpos de provas (AAUQ) em banho-maria



Fonte: Própria (2019)

Cada corpo-de-prova é colocado no molde de compressão (Figura 32), convenientemente limpo, e com os pinos-guias lubrificadas para obter os valores de estabilidade e fluência.

Figura 32 - Corpo-de-prova colocado no molde de compressão



Fonte: Própria (2019)

A prensa é operada de tal modo que seu êmbolo se eleve a uma velocidade de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo-de-prova, o que é observado no defletômetro pela indicação de um máximo, vista na Figura 33.

Figura 33 - Prensa utilizada no ensaio / Rompimento do Corpo de Prova



Fonte: Própria (2019)

A leitura foi anotada e convertida em N (kgf), pelo gráfico de calibração do anel dinamométrico.

A carga, em N (kgf), necessária para produzir o rompimento do corpo-de-prova à temperatura especificada, é anotada como “estabilidade lida” que é corregido por um fator de correção dado pela a formula abaixo

$$f_{CORR.} = 927,23 \times h^{-1,64} \quad (11)$$

Onde  $h$  é a altura dos corpos de prova.

Os resultados encontrados foram organizados em valores médios expressos em tabelas e em curvas que relacionam as propriedades em estudo com os seus respectivos teores de CAP.

A escolha do teor de CAP ideal que também implica na composição do traço ideal, ou seja, aquele que proporcionara as melhores propriedades para a camada de rolamento é feito com relações entre os teores de CAP e as propriedades volumétricas e mecânicas.

Existem algumas metodologias para a determinação desse teor ideal, sendo que a adotada nesse trabalho foi a que corresponde ao volume de vazios de 4%.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PROPRIEDADES DO AGREGADO MIÚDO

#### 4.1.1 Equivalente de Areia

O resultado obtido para o equivalente de areia das amostras ensaiadas é apresentado na tabela 6.

Tabela 6- Resultados dos equivalentes de areias

| Nº | AREAIS               | EA<br>(%) | $EA \geq 55\%$  |
|----|----------------------|-----------|-----------------|
| 1  | Jazida Dell Brisa    | 58 %      | QUALIFICADO     |
| 2  | Jazida Iris          | 50 %      | NÃO QUALIFICADO |
| 3  | Jazida Queros Cabral | 69 %      | QUALIFICADO     |
| 4  | Jazida Barracão      | 89 %      | QUALIFICADO     |
| 5  | Jazida Cazuza        | 80 %      | QUALIFICADO     |

Fonte: Própria (2019)

As especificações de serviço descrito na norma do DNIT 032/2005 e DNER – ME 054-97 impõe uma condição para que as areias utilizadas em misturas tipo AAUQ tenham um  $EA \geq 55\%$ . Dessa forma observa - se na tabela 5 que das cinco amostras analisadas, apenas a amostra de número 2 (jazida íris) não está qualificada para misturas tipo AAUQ.

#### 4.1.2 Massa Especifica da Areia

As massas específica das areias utilizadas nesse trabalho foram determinadas pelos procedimentos descritos na DNER-ME194/98. A tabela 7 apresenta a média dos resultados obtidos.

Tabela 7 - Resultados da massa especifica

| Nº | $\gamma_1$ ( $g/cm^3$ ) | $\gamma_2$ ( $g/cm^3$ ) | $\Delta\gamma$ ( $g/cm^3$ ) | $\gamma_m$ ( $g/cm^3$ ) |
|----|-------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|
| 1  | 2,645                   | 2,632                   | 0,0130                      | 2,6385                  |
| 2  | 2,632                   | 2,631                   | 0,0010                      | 2,6315                  |
| 3  | 2,636                   | 2,643                   | 0,0070                      | 2,6395                  |
| 4  | 2,646                   | 2,631                   | 0,0015                      | 2,6385                  |
| 5  | 2,635                   | 2,631                   | 0,0040                      | 2,6330                  |

Fonte: Própria (2019)

A norma especifica que a variação  $\Delta\gamma$  deve se inferior ou igual a 0,05. Sendo assim os resultados estão em conformidade com o exigido em norma. A figura 34 apresenta alguns detalhes desse ensaio.

Figura 34 -Massa especifica usando Frasco de Chapman



Fonte: Própria (2019)

#### 4.1.3 Granulometria

Os resultados das granulometrias das cinco amostras de areis foram obtidos com base nos procedimentos e especificações descritas na norma DNER-ME 083/98, e foram organizados em tabelas (Tabela 8 a 11), que relacionam os percentuais em massa passante com cada peneira e seus respectivos diâmetros, com base no exigido na norma DNIT 032/2005. Nas tabelas são apresentados também comparativos entre as faixas granulométricas de serviço e a granulometria da amostra seguido, podendo também ser observados nos respectivos gráficos (Gráfico 1 a 5) granulométricas de cada amostra.

Na figura 35 observa-se aspectos visuais das areias que foram analisadas.

Figura 35 - Solos utilizados no ensaio de granulometria



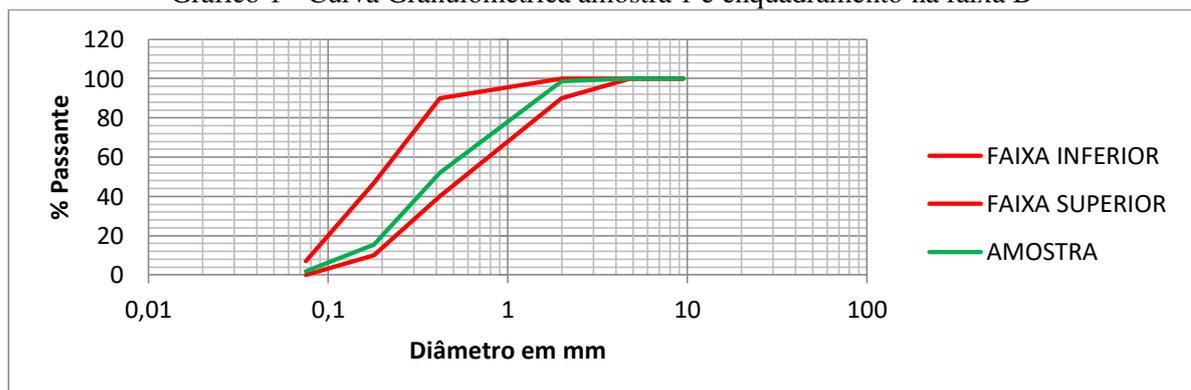
Fonte: Própria (2019)

Tabela 8-Resultados da Análise Granulométrica - Amostra 1

| <i>N</i> <sup>o</sup> | D(mm) | FAIXA A (%) | FAIXA B (%) | ± TOL. (%) | PASSANTE (%) | ENQUADRAMENTO NA FAIXA B |
|-----------------------|-------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------------------|
| 3/8''                 | 9,500 | 100         | 100         | -          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 4                     | 4,800 | 80 - 100    | 100         | 5          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 10                    | 2,000 | 60 - 95     | 90 - 100    | 4          | <b>98,37</b> | <b>SIM</b>               |
| 40                    | 0,420 | 16 - 52     | 40 - 90     | 4          | <b>52,70</b> | <b>SIM</b>               |
| 80                    | 0,180 | 4 - 15      | 10 - 47     | 4          | <b>13,48</b> | <b>SIM</b>               |
| 200                   | 0,075 | 2 - 10      | 0 - 7       | 3          | <b>1,47</b>  | <b>SIM</b>               |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 1 - Curva Granulométrica amostra 1 e enquadramento na faixa B



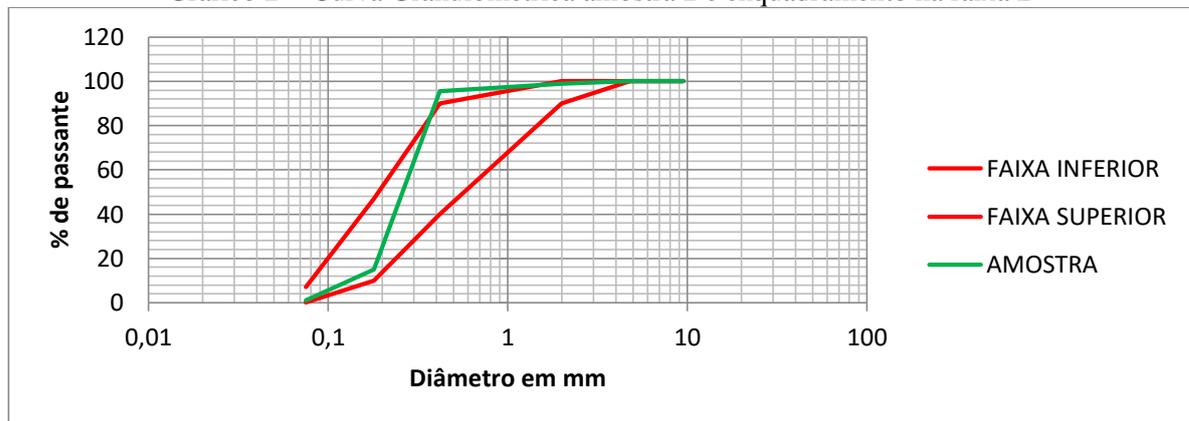
Fonte: Própria (2019)

Tabela 9 - Resultados da Análise Granulometria - Amostra 2

| <i>N</i> <sup>o</sup> | D(mm) | FAIXA<br>A (%) | FAIXA<br>B (%) | ± TOL.<br>(%) | PASSANTE<br>(%) | ENQUADRAMENTO<br>NA FAIXA B |
|-----------------------|-------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------------|
| 3/8''                 | 9,500 | 100            | 100            | -             | <b>100</b>      | <b>SIM</b>                  |
| <b>4</b>              | 4,800 | 80 - 100       | 100            | 5             | <b>100</b>      | <b>SIM</b>                  |
| <b>10</b>             | 2,000 | 60 - 95        | 90 - 100       | 4             | <b>99,98</b>    | <b>SIM</b>                  |
| <b>40</b>             | 0,420 | 16 - 52        | 40 - 90        | 4             | <b>96,03</b>    | <b>NÃO</b>                  |
| <b>80</b>             | 0,180 | 4 - 15         | 10 - 47        | 4             | <b>7,73</b>     | <b>SIM</b>                  |
| <b>200</b>            | 0,075 | 2 - 10         | 0 - 7          | 3             | <b>0,80</b>     | <b>SIM</b>                  |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 2 - Curva Granulométrica amostra 2 e enquadramento na faixa B



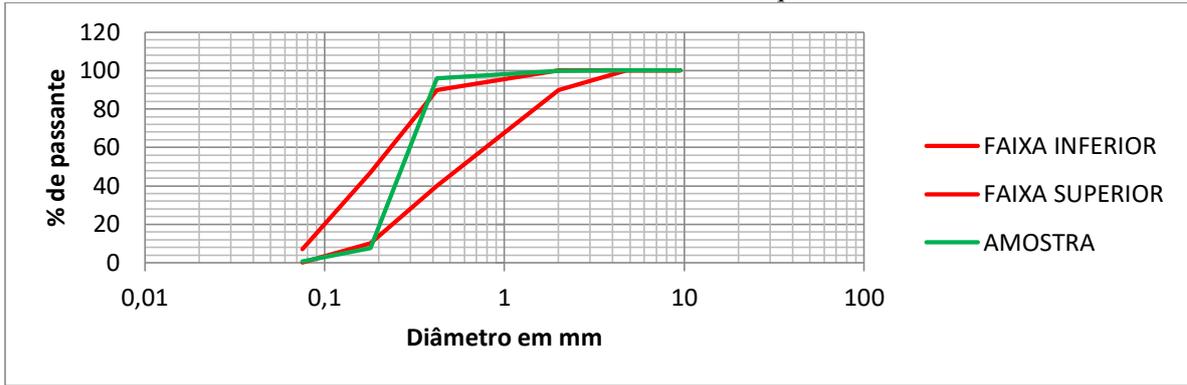
Fonte: Própria (2019)

Tabela 10 - Resultados da Análise Granulometria - Amostra 3

| <i>N</i> <sup>o</sup> | D(mm) | FAIXA<br>A (%) | FAIXA<br>B (%) | ± TOL.<br>(%) | PASSANTE<br>(%) | ENQUADRAMENTO<br>NA FAIXA B |
|-----------------------|-------|----------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------------------|
| 3/8''                 | 9,500 | 100            | 100            | -             | <b>100</b>      | <b>SIM</b>                  |
| <b>4</b>              | 4,800 | 80 - 100       | 100            | 5             | <b>100</b>      | <b>SIM</b>                  |
| <b>10</b>             | 2,000 | 60 - 95        | 90 - 100       | 4             | <b>98,82</b>    | <b>SIM</b>                  |
| <b>40</b>             | 0,420 | 16 - 52        | 40 - 90        | 4             | <b>95,56</b>    | <b>NÃO</b>                  |
| <b>80</b>             | 0,180 | 4 - 15         | 10 - 47        | 4             | <b>14,94</b>    | <b>SIM</b>                  |
| <b>200</b>            | 0,075 | 2 - 10         | 0 - 7          | 3             | <b>0,97</b>     | <b>SIM</b>                  |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 3 -- Curva Granulométrica Amostra 3 e enquadramento na faixa B



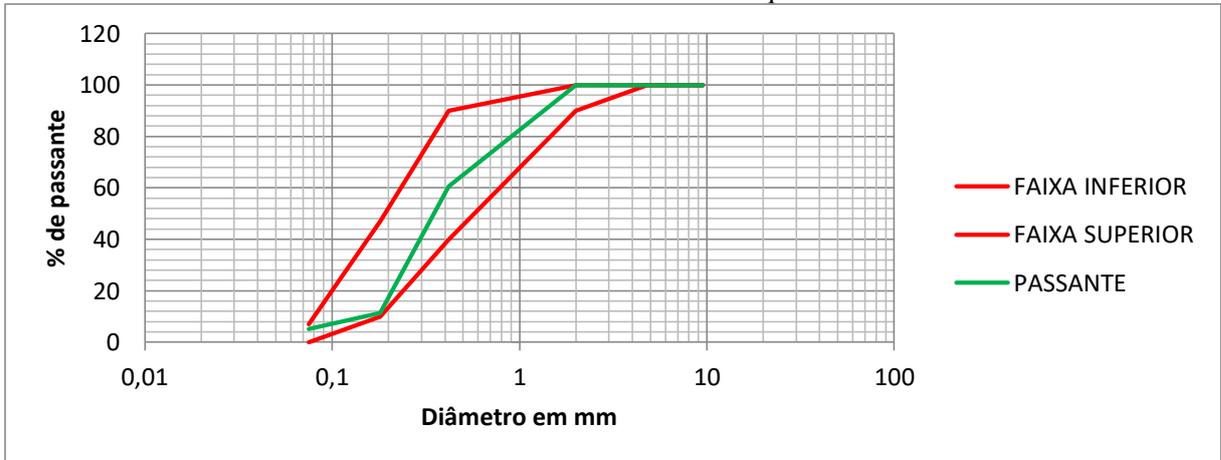
Fonte: Própria (2019)

Tabela 11 - Resultados da Análise Granulometria - Amostra 4

| Nº   | D(mm) | FAIXA A (%) | FAIXA B (%) | ± TOL. (%) | PASSANTE (%) | ENQUADRAMENTO NA FAIXA B |
|------|-------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------------------|
| 3/8" | 9,500 | 100         | 100         | -          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 4    | 4,800 | 80 - 100    | 100         | 5          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 10   | 2,000 | 60 - 95     | 90 - 100    | 4          | <b>99,95</b> | <b>SIM</b>               |
| 40   | 0,420 | 16 - 52     | 40 - 90     | 4          | <b>58,13</b> | <b>SIM</b>               |
| 80   | 0,180 | 4 - 15      | 10 - 47     | 4          | <b>6,75</b>  | <b>NÃO</b>               |
| 200  | 0,075 | 2 - 10      | 0 - 7       | 3          | <b>0,10</b>  | <b>SIM</b>               |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 4 - Curva Granulométrica amostra 4 e enquadramento na faixa B



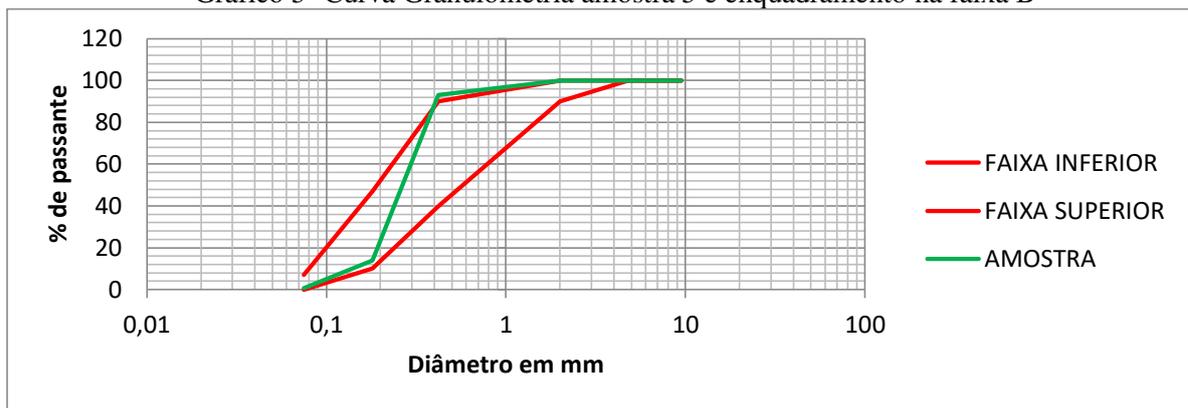
Fonte: Própria (2019)

Tabela 12 - Resultados da Análise Granulometria - Amostra 5

| <i>N</i> <sup>o</sup> | D(mm) | FAIXA A (%) | FAIXA B (%) | ± TOL. (%) | PASSANTE (%) | ENQUADRAMENTO NA FAIXA B |
|-----------------------|-------|-------------|-------------|------------|--------------|--------------------------|
| 3/8"                  | 9,500 | 100         | 100         | -          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 4                     | 4,800 | 80 - 100    | 100         | 5          | <b>100</b>   | <b>SIM</b>               |
| 10                    | 2,000 | 60 - 95     | 90 - 100    | 4          | <b>99,91</b> | <b>SIM</b>               |
| 40                    | 0,420 | 16 - 52     | 40 - 90     | 4          | <b>93,00</b> | <b>NÃO</b>               |
| 80                    | 0,180 | 4 - 15      | 10 - 47     | 4          | <b>13,95</b> | <b>SIM</b>               |
| 200                   | 0,075 | 2 - 10      | 0 - 7       | 3          | <b>0,57</b>  | <b>SIM</b>               |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 5- Curva Granulometria amostra 5 e enquadramento na faixa B



Fonte: Própria (2019)

Os resultados das granulometrias mostram que apenas a amostra N<sup>o</sup>1 se enquadrou completamente na faixa B, especificada na norma DNIT 032/2005. A amostra N<sup>o</sup>4 apresentou discrepâncias nas percentagens de passante nas peneiras de menor malha diametral, podendo ser corrigido com a adição de filer e enquadrado na faixa B da norma. As demais amostras apresentaram um excesso de passante nas peneiras de malha com maior diâmetro, evidenciando um baixo módulo de finura e as inutilizando para uso em misturas asfálticas tipo AAUQ.

#### 4.1.4. Angularidade do Agregado Fino

A angularidade dos agregados miúdos é determinada pelo o procedimento, descrito na norma americana ASTM 1252. Nessa norma há o detalhamento de três procedimentos, sendo o procedimento adotado nesse trabalho o descrito no item "c" os resultados desse ensaio apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Resultados para angularidade dos solos

| Nº | U (%) | U $\geq$ 40% |
|----|-------|--------------|
| 1  | 41    | QUALIFICADA  |
| 2  | 45    | QUALIFICADO  |
| 3  | 44    | QUALIFICADO  |
| 4  | 40    | QUALIFICADO  |
| 5  | 42    | QUALIFICADO  |

Fonte: Própria (2019)

Conforme se observa, os resultados para as angularidades das areias foram todos satisfatórios uma vez que nenhum foi inferior a 40%, valor mínimo exigido em norma ASTM 1252 para misturas asfálticas. As Figuras 36 e 37 seguir ilustram aspectos técnicos do experimento.

Figura 36 – Detalhe do ensaio de angularidade das areias



Fonte: Própria (2019)

Figura 37 – Outros detalhes do ensaio de angularidade



Fonte: Própria (2019)

## 4.2 PROPRIEDADES DO FÍLER

### 4.2.1. Granulometria do Fíler

Os procedimentos empregados para a determinação granulométrica do filler são os descritos na norma DNER-ME 083/98. O enquadramento do material para enchimento em misturas betuminosas está especificado na norma DNER-ME 367/97 cujos os resultados estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14- Granulometria do Fíler

| <b>PENEIRA</b> | $\Phi_{PENEIRA}$ (mm) | <b>FAIXA</b><br>(%) | <b>PASSANTE</b><br>(%) | <b>EQUADRAMENTO</b><br><b>DNER ME 367/97</b> |
|----------------|-----------------------|---------------------|------------------------|--|
| <b>40</b>      | 0,420                 | 100                 | 100                    | SIM  |
| <b>80</b>      | 0,180                 | 95-100              | 100                    | SIM  |
| <b>200</b>     | 0,075                 | 65-100              | 99,53                  | SIM  |

Fonte: Própria (2019)

O material de enchimento, também chamado de Fíler, que foi analisado para uso nesse trabalho, se encaixa nos critérios especificados na norma. O material em questão é o cimento Portland pozolânico CP-IV-32 da marca bravo.

#### 4.2.2 Massa específica do filer

O filer utilizado nesse trabalho será o cimento Portland pozolânico CP-IV-32 da marca bravo, cedido pelo o laboratório de concreto da Universidade Estadual do Maranhão UEMA. O procedimento para esse ensaio está descrito na DNER-ME-085/94, utilizando o frasco de Le Chatelier. Os resultados estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 – Resultado da massa específica

|                  | $m(g)$ | $V_i(cm^3)$ | $V_f(cm^3)$ | $\mu(g/cm^3)$ |
|------------------|--------|-------------|-------------|---------------|
| <b>LEITURA 1</b> | 60,12  | 0,02        | 21,25       | 2,832         |
| <b>LEITURA 2</b> | 60,22  | 0,04        | 21,35       | 2,825         |
| <b>MEDIA</b>     | -      | -           | -           | 2,828         |

Fonte: Própria (2019)

As especificações da norma delimitam um  $\Delta\mu \leq 0,009$ . Na análise em questão o  $\Delta\mu = 0,007$ , o que gabarita o procedimento como correto. A figura 38 mostra detalhes da análise laboratorial.

Figura 38- Massa do Filer (Frasco Le Chatelier)



Fonte: Própria (2019)

### 4.3 PROPRIEDADES DO LIGANTE ASFALTICO

Os ensaios ao qual o CAP foi submetido foram os seguintes: ensaio de penetração no qual o procedimento é descrito na NBR 6776/81, ponto de amolecimento no qual o procedimento é descrito na NBR 6560/2016 e por fim o ensaio Viscosidade Saybolt Furol especificado na NBR 14950/2003. Os resultados para esses três ensaios estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados de Penetração - Ponto de Penetração - Viscosidade

| CARACTERISTICAS              | UNIDADES | LIMITES | RESULTADOS               |
|------------------------------|----------|---------|--------------------------|
| Penetração                   | 0,1mm    | 50 -70  | $64,5 \times 10^{-1} mm$ |
| Ponto de amolecimento mínimo | °C       | 46      | 51 °C                    |
| Viscosidade Saybolt Furol .  | s        | -       | 255 s                    |
| 121°C                        |          |         |                          |
| 135°C                        |          | 141     | 180 s                    |
| 149°C                        |          | -       | 97 s                     |
| 163°C                        |          | -       | 44 s                     |
| 177°C                        |          | 30-150  | 39 s                     |

Fonte: Própria (2019)

Os resultados dos parâmetros analisados para o CAP foram considerados satisfatórios com base no exigido na norma de serviço DNIT 032/2005-ES. As imagens da Figura 39 mostram alguns aspectos técnicos a cerca desses ensaios. Os dados obtidos para Viscosidade Saybolt Furol foram utilizados para a determinação da temperatura do CAP e dos agregados na mistura, bem como a temperatura de compactação da mistura.

Figura 39 - Ensaio de Penetração, Viscosidade e Ponto de Amolecimento, respectivamente.



Fonte: Própria (2019)

#### 4.4. DOSAGEM MARSHALL

##### 4.4.1 Seleção das faixas granulométricas

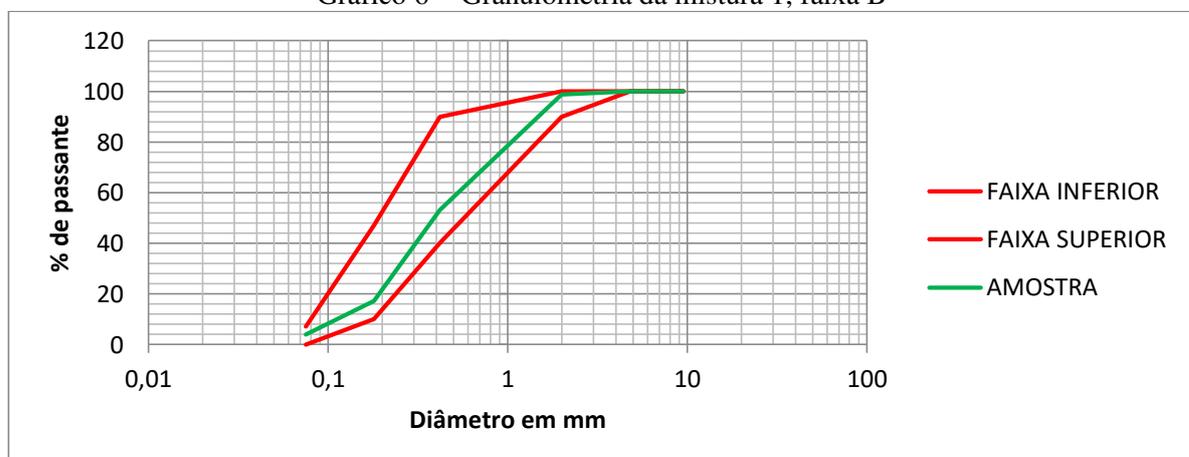
As granulometrias apresentadas a seguir dizem respeito ao enquadramento das misturas conforme as especificações de serviço descritas na norma DNIT ES 032/2005. Como exposto, dentre as amostras estudadas, apenas a jazida Dell Brisa (areia 1) atende todos os requisitos exigidos na norma DNIT ES 032/2005, a jazida Barracão embora não tenha sido qualificada inicialmente, poderá ter sua granulometria corrigida com a adição de filer, e ser enquadrada na faixa B da norma DNIT ES 032/2005. Na areia da jazida Dell Brisa também foi adicionado material de enchimento para melhorar seu enquadramento. Os resultados das misturas adotadas nesse estudo estão apresentados nas Tabelas 17 e 18 e nos Gráficos 6 e 7.

Tabela 17 - Mistura 1 ( 98% de areia e 2% de filler , jazida dell brisa ).

| PENEIRA     | $\Phi_{PENEIRA}$ (mm) | FAIXA B (%) | PASSANTE (%) | EQUADRAMENTO NA FAIXA B |
|-------------|-----------------------|-------------|--------------|-------------------------|
| <b>3/8"</b> | 9,500                 | 100         | 100          | <b>SIM</b>              |
| <b>4</b>    | 4,800                 | 100         | 100          | <b>SIM</b>              |
| <b>10</b>   | 2,000                 | 90 - 100    | 98,68        | <b>SIM</b>              |
| <b>40</b>   | 0,420                 | 40 - 90     | 53,10        | <b>SIM</b>              |
| <b>80</b>   | 0,180                 | 10 - 47     | 17,11        | <b>SIM</b>              |
| <b>200</b>  | 0,075                 | 0 - 7       | 3,83         | <b>SIM</b>              |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 6 - Granulometria da mistura 1, faixa B



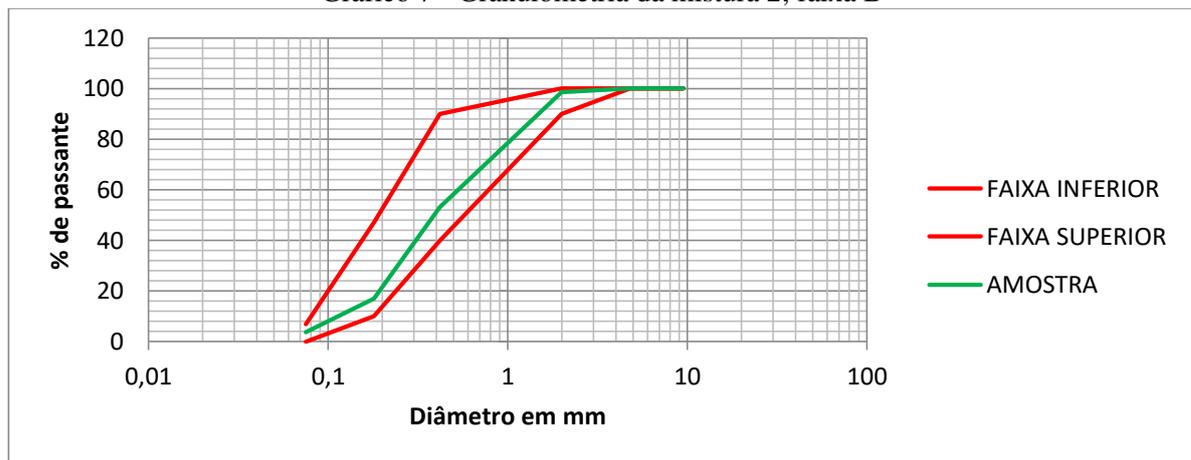
Fonte: Própria (2019)

Tabela 18 -Mistura 2 ( 95% de areia e 5% de filler , jazida barracão )

| PENEIRA     | $\Phi_{PENEIRA}$ (mm) | FAIXA B (%) | PASSANTE (%) | EQUDRAMENTO NA FAIXA B |
|-------------|-----------------------|-------------|--------------|------------------------|
| <b>3/8"</b> | 9,500                 | 100         | 100          | <b>SIM</b>             |
| <b>4</b>    | 4,800                 | 100         | 100          | <b>SIM</b>             |
| <b>10</b>   | 2,000                 | 90 - 100    | 99,96        | <b>SIM</b>             |
| <b>40</b>   | 0,420                 | 40 - 90     | 60,62        | <b>SIM</b>             |
| <b>80</b>   | 0,180                 | 10 - 47     | 11,42        | <b>SIM</b>             |
| <b>200</b>  | 0,075                 | 0 - 7       | 5,07         | <b>SIM</b>             |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 7 - Granulometria da mistura 2, faixa B



Fonte: Própria (2019)

#### 4.4.2 Cálculo das massas de cada material

Após o enquadramento das faixas granulométricas e a definição das porcentagens de filler e areia das duas misturas analisadas (enquadradas na faixa "B" da norma de serviço DNIT 032/2005), calculou-se a massa de cada componente. As tabelas 19 e 20 mostram as quantidades de materiais em função do teor de CAP que varia de 0,5%, em uma faixa que fica de 7% a 12%.

Tabela 19 - Mistura 2 (95% areia, 5% filler )

| <b>TEOR CAP (%)</b> | $m_{CAP}(g)$ | $m_{AREIA}(g)$ | $m_{FILLER}(g)$ |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|
| <b>7,0</b>          | 86           | 1060,20        | 55,80           |
| <b>7,5</b>          | 90           | 1054,50        | 55,50           |
| <b>8,0</b>          | 96           | 1048,80        | 55,20           |
| <b>8,5</b>          | 102          | 1043,10        | 54,90           |
| <b>9,0</b>          | 108          | 1037,40        | 54,60           |
| <b>9,5</b>          | 114          | 1031,70        | 54,30           |
| <b>10,0</b>         | 120          | 1026,00        | 54,00           |
| <b>10,5</b>         | 126          | 1020,30        | 53,70           |
| <b>11,0</b>         | 132          | 1014,60        | 53,40           |
| <b>11,5</b>         | 138          | 1008,90        | 53,10           |
| <b>12,0</b>         | 144          | 1003,20        | 52,80           |

Fonte: Própria (2019)

Tabela 20 - Mistura 1 - (98% areia ,2% filler )

| <b>TEOR CAP (%)</b> | $m_{CAP}(g)$ | $m_{AREIA}(g)$ | $m_{FILLER}(g)$ |
|---------------------|--------------|----------------|-----------------|
| <b>7,0</b>          | 86           | 1093,68        | 22,32           |
| <b>7,5</b>          | 90           | 1087,80        | 22,20           |
| <b>8,0</b>          | 96           | 1081,92        | 22,08           |
| <b>8,5</b>          | 102          | 1076,04        | 21,96           |
| <b>9,0</b>          | 108          | 1070,16        | 21,84           |
| <b>9,5</b>          | 114          | 1064,28        | 21,72           |
| <b>10,0</b>         | 120          | 1058,40        | 21,60           |
| <b>10,5</b>         | 126          | 1052,52        | 21,48           |
| <b>11,0</b>         | 132          | 1046,64        | 21,36           |
| <b>11,5</b>         | 138          | 1040,76        | 21,24           |
| <b>12,0</b>         | 144          | 1034,88        | 21,12           |

Fonte: Própria (2019)

A Figura 40 apresenta alguns aspectos físicos visuais das misturas.

Figura 40- Amostra visual dos componentes das misturas



Fonte: Própria (2019)

#### 4.4.3 Definição das temperaturas do CAP, agregados e compactação

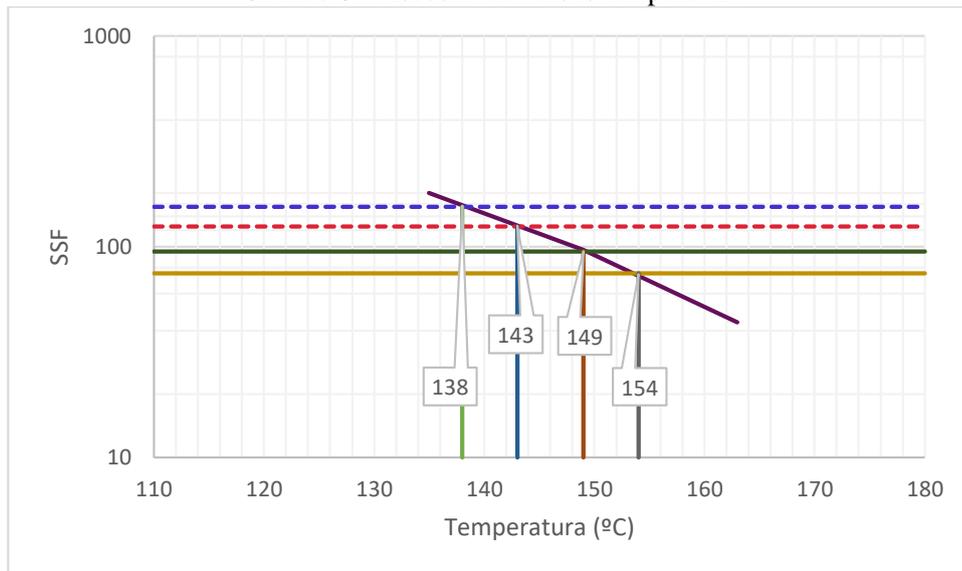
Com base nos valores de viscosidade expressos na tabela 21, foi gerado a curva de viscosidade versus temperatura, que indica os valores de temperatura de serviço para a confecção dos corpos de prova das duas misturas 1 e 2, apresentada no gráfico 8.

Tabela 21 -Viscosidade versus temperatura

| <b>T °C</b> | <b>VISCOSIDADE<br/>(s)</b> |
|-------------|----------------------------|
| <b>121</b>  | 255                        |
| <b>135</b>  | 180                        |
| <b>149</b>  | 97                         |
| <b>163</b>  | 44                         |
| <b>177</b>  | 39                         |

Fonte: Própria (2019)

Gráfico 8 -Viscosidade versus temperatura



Fonte: Própria (2019)

As temperaturas da mistura são:

- Entre 149 a 154 °C para o CAP.

- Entre 159 °C a 164 °C para os agregados da mistura mais a temperatura do CAP para a mistura de agregados.

A temperatura de compactação fica definida entre 138 °C a 143 °C.

#### 4.4.4 Propriedades volumétricas e mecânicas das misturas

Segundo a norma de serviço DNIT-ES 032/2005, para misturas asfálticas tipo AAUQ recomenda-se a adoção de teor de ligante para a faixa de serviço 'B' um teor de CAP que varia de 7% a 12%. Devido a uma grande demanda de tempo e materiais, neste trabalho, foi adotado apenas cinco teores de CAP que variaram 8,5% a 10,5% em intervalos de 0,5%. Foram registrados para cada corpo de prova os seguintes parâmetros: altura, diâmetro, massa seca e massa úmida com base no descrito na norma DNER ME 043/95. Ainda com base nos procedimentos dessa mesma norma, os corpos de prova foram rompidos em uma prensa e obtidos os valores de fluência e estabilidade. A estabilidade foi corrigida por um fator de correção que leva em conta a altura do corpo de prova em questão.

Os resultados encontrados foram organizados nas tabelas 22 e 23 e nos gráficos de 9 a 14 para a mistura 1. Já nas tabelas 24 e 25 e nos gráficos de 15 a 20, apresentam - se os resultados volumétricos e mecânicos da mistura 2.

## TABELAS E CURVAS DA MISTURA 1

Tabela 22 - Propriedades volumétricas – Mistura 1

| % CAP   | DMT ( $g / cm^3$ ) | Gmb ( $g / cm^3$ ) | Vv % | VCB % | VAM % | RBV % |
|---------|--------------------|--------------------|------|-------|-------|-------|
| CP 8,5  | 2,327              | 2,158              | 7,26 | 17,98 | 25,24 | 71,23 |
| CP 9,0  | 2,311              | 2,162              | 6,45 | 19,07 | 25,52 | 74,72 |
| CP 9,5  | 2,295              | 2,173              | 5,31 | 20,24 | 25,55 | 79,21 |
| CP 10,0 | 2,276              | 2,185              | 4,12 | 21,42 | 25,54 | 83,86 |
| CP 10,5 | 2,264              | 2,181              | 3,66 | 22,45 | 26,11 | 85,98 |

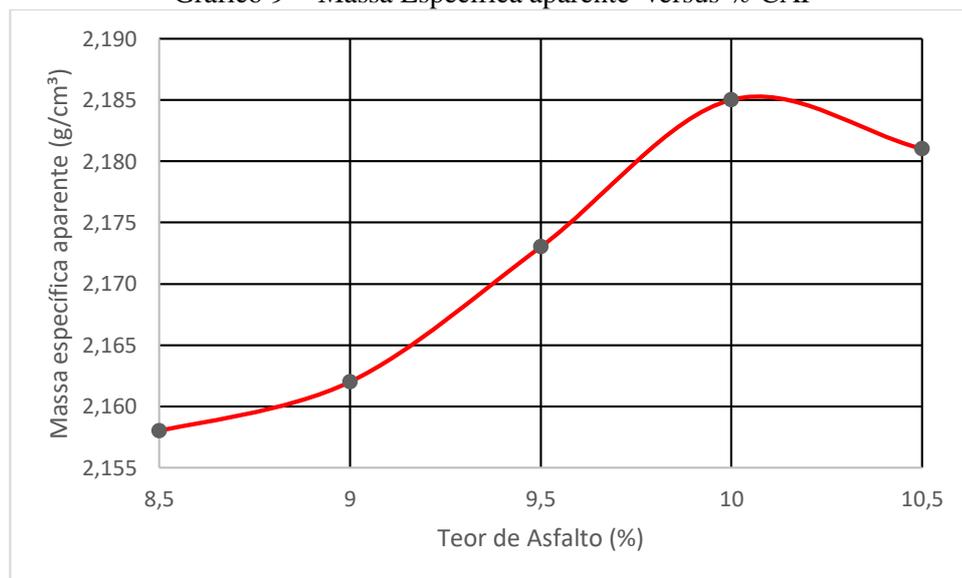
Fonte: Própria (2019)

Tabela 23 - Propriedades mecânicas

| % CAP   | $EST_{LIDA}$ (Kgf) | $h_{CP(m)}$ (mm) | $\Phi_{CP(m)}$ (mm) | $f_{CORR}$ | $EST_{CORR}$ (Kgf) | F (mm) |
|---------|--------------------|------------------|---------------------|------------|--------------------|--------|
| CP 8,5  | 153,5              | 65,42            | 101,88              | 0,976      | 149,81             | 3,02   |
| CP 9,0  | 218,0              | 70,34            | 101,90              | 0,866      | 188,79             | 3,21   |
| CP 9,5  | 292,6              | 67,32            | 102,22              | 0,931      | 272,41             | 3,94   |
| CP 10,0 | 385,3              | 68,16            | 101,92              | 0,912      | 351,12             | 4,41   |
| CP 10,5 | 361,0              | 69,79            | 102,01              | 0,898      | 324,18             | 5,17   |

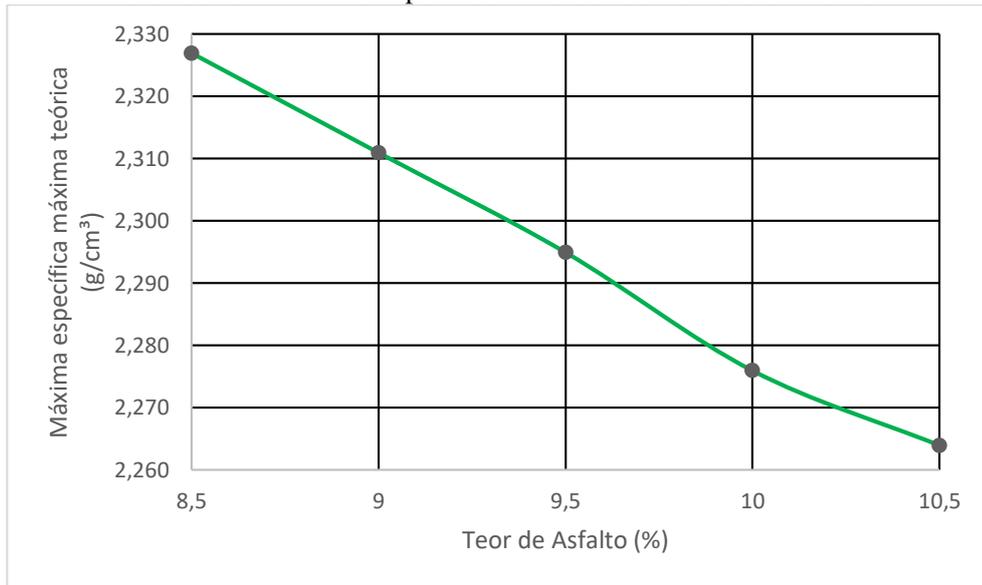
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 9 - Massa Especifica aparente versus % CAP



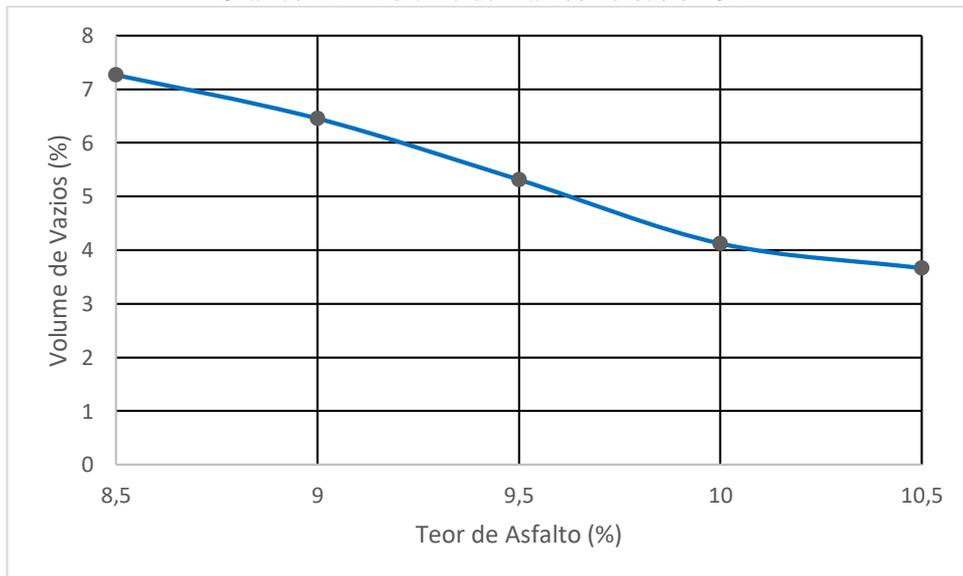
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 10 - Máxima Específica - Massa Teórica versus % CAO



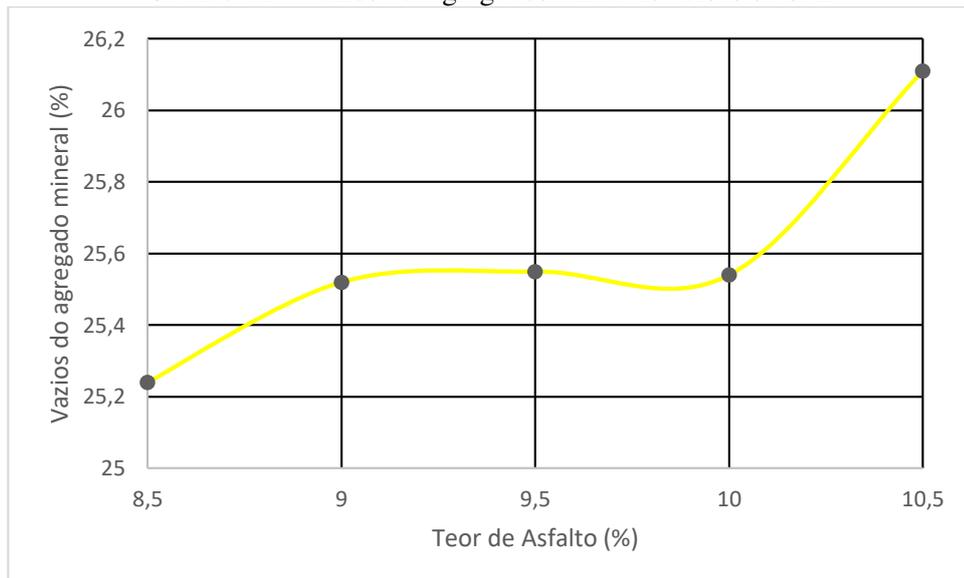
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 11 - Volume de Vazios versus % CAP



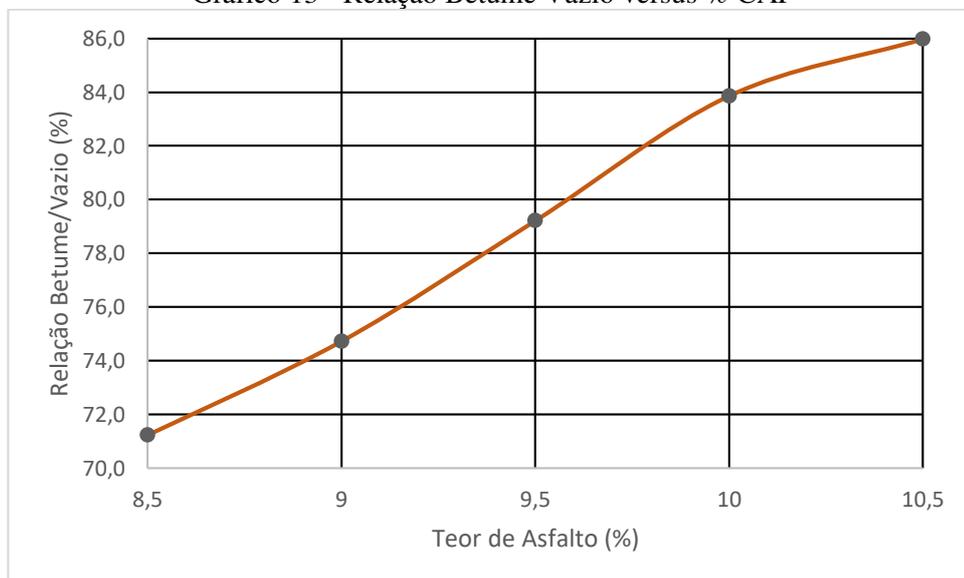
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 12 - Vazios de Agregados Minerais versus % CAP



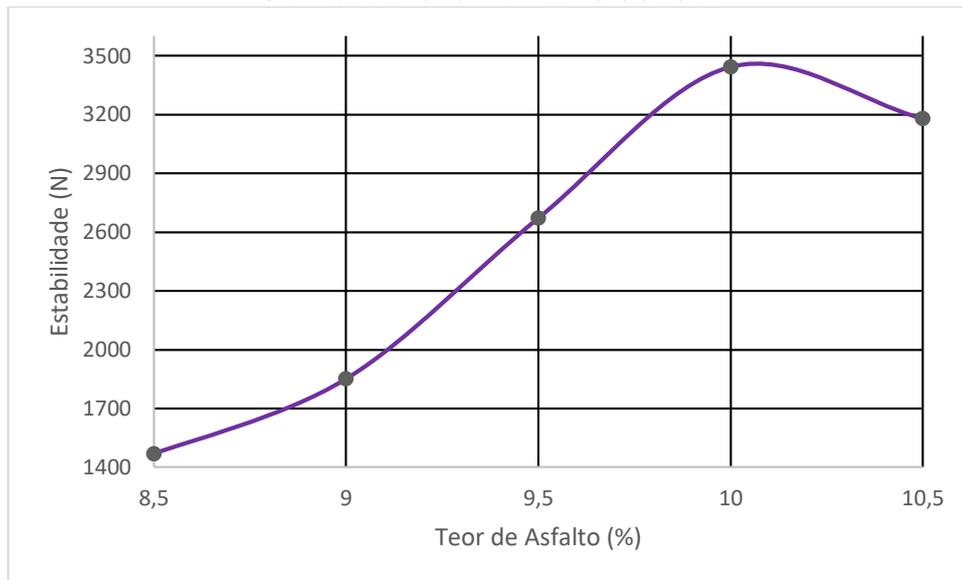
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 13 - Relação Betume Vazio versus % CAP



Fonte: Própria (2019)

Gráfico 14 -Estabilidade versus % CAP



Fonte: Própria (2019)

## TABELAS E CURVAS DA MISTURA 2

Tabela 24 -Propriedades volumétricas

| % CAP   | DMT( $g/cm^3$ ) | Gmb( $g/cm^3$ ) | Vv %  | VCB % | VAM % | RBV % |
|---------|-----------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|
| CP 8,5  | 2,331           | 2,138           | 8,279 | 17,82 | 26,10 | 68,27 |
| CP 9,0  | 2,315           | 2,151           | 7,084 | 18,98 | 26,06 | 72,83 |
| CP 9,5  | 2,299           | 2,146           | 6,656 | 21,04 | 27,70 | 76,00 |
| CP 10,0 | 2,283           | 2,154           | 5,650 | 21,11 | 26,67 | 79,15 |
| CP 10,5 | 2,267           | 2,159           | 4,720 | 22,22 | 26,49 | 82,48 |

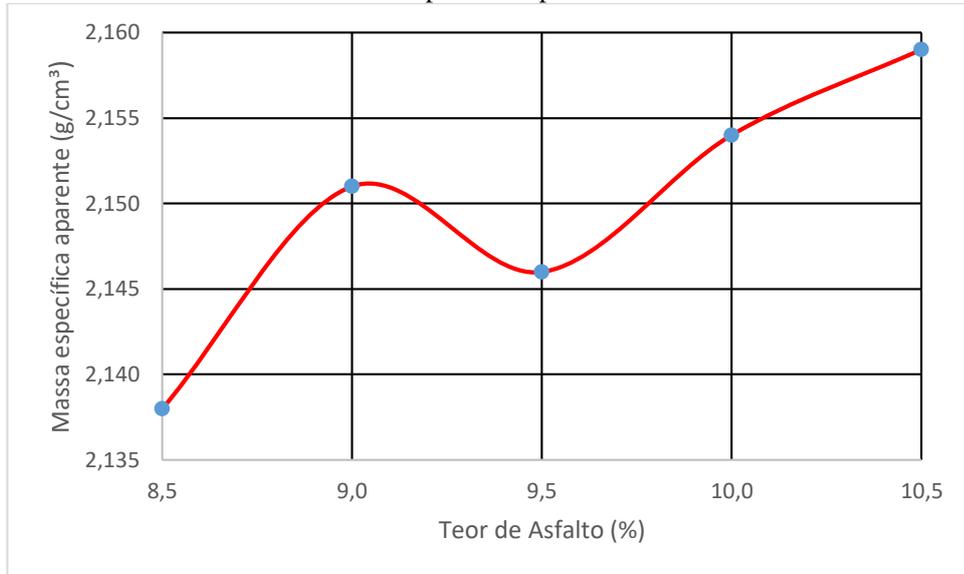
Fonte: Própria (2019)

Tabela 25 -Propriedades mecânicas

| % CAP   | $EST_{LIDA}$ (Kgf) | $h_{CP(m)}$ (mm) | $\Phi_{CP(m)}$ (mm) | $f_{CORR}$ | $EST_{CORR}$ (Kgf) | F (mm) |
|---------|--------------------|------------------|---------------------|------------|--------------------|--------|
| CP 8,5  | 165,3              | 68,55            | 102,30              | 0,904      | 149,16             | 1,96   |
| CP 9,0  | 205,5              | 67,97            | 102,01              | 0,916      | 188,24             | 2,41   |
| CP 9,5  | 230,0              | 69,22            | 101,51              | 0,889      | 208,91             | 2,49   |
| CP 10,0 | 291,6              | 69,90            | 101,56              | 0,875      | 255,15             | 2,97   |
| CP 10,5 | 337,3              | 68,08            | 10170               | 0,914      | 308,30             | 3,56   |

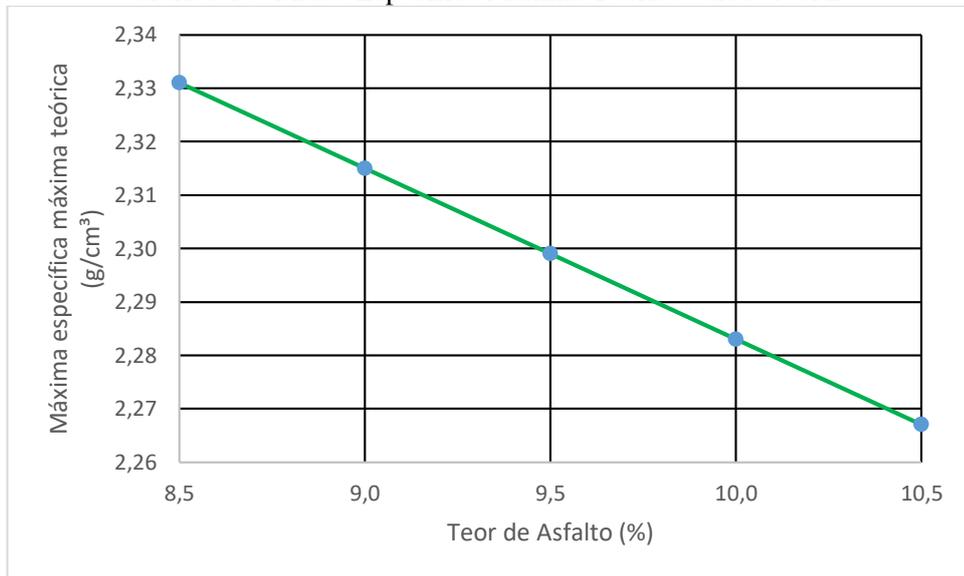
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 15 – massa específica aparente versus % CAP



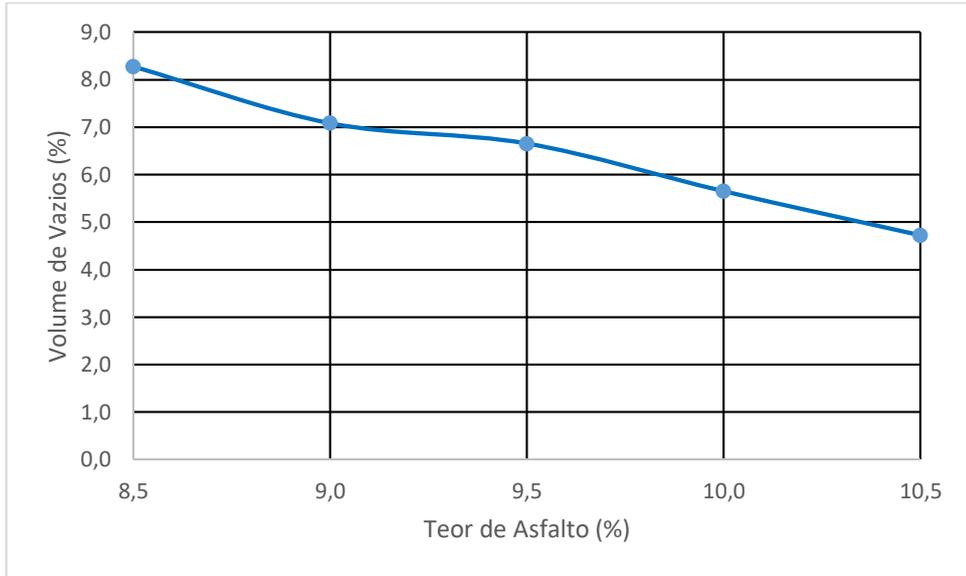
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 16- Massa Específica Máxima Teórica versu % CAP



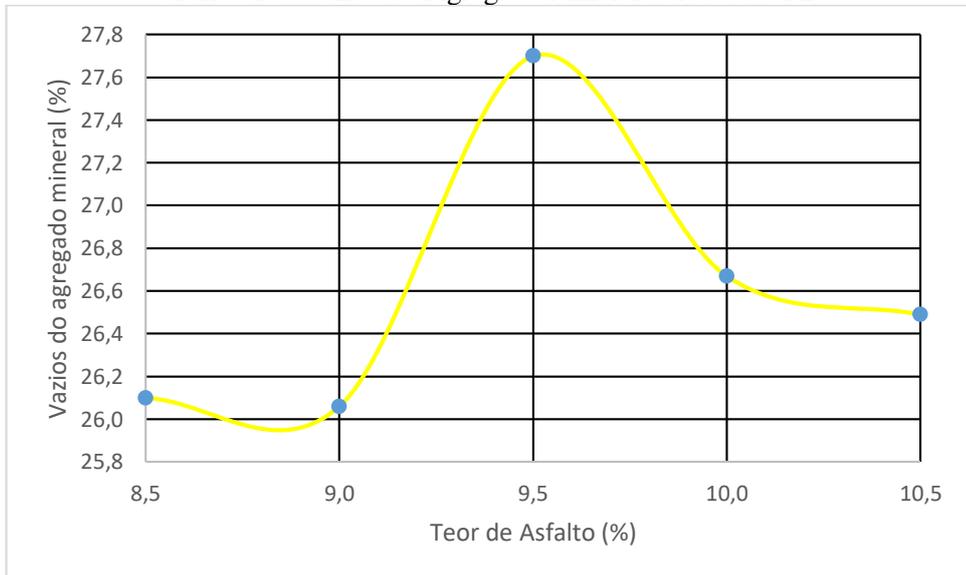
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 17 - Volume de Vazios versu % CAP



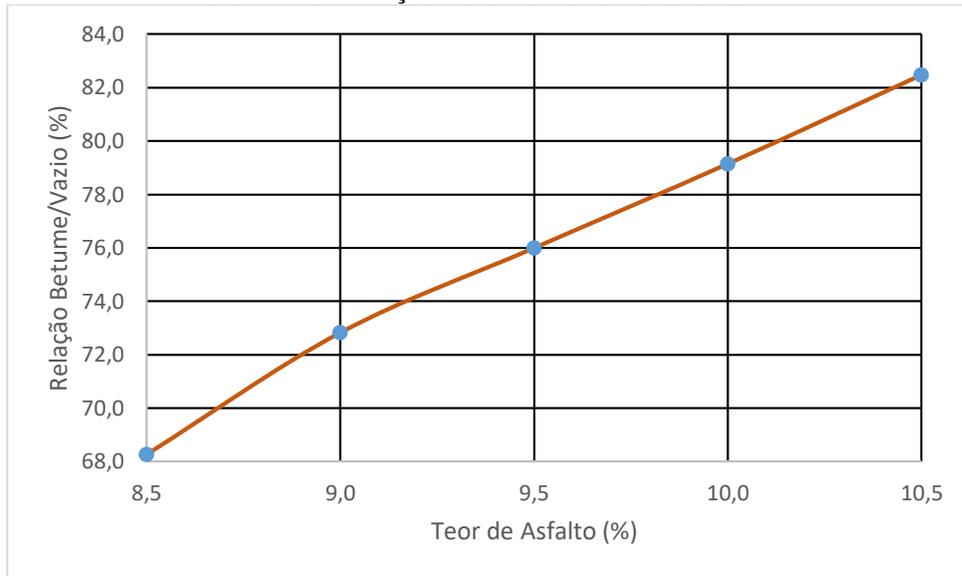
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 18 -Vazios do Agregado Mineral versus % CAP



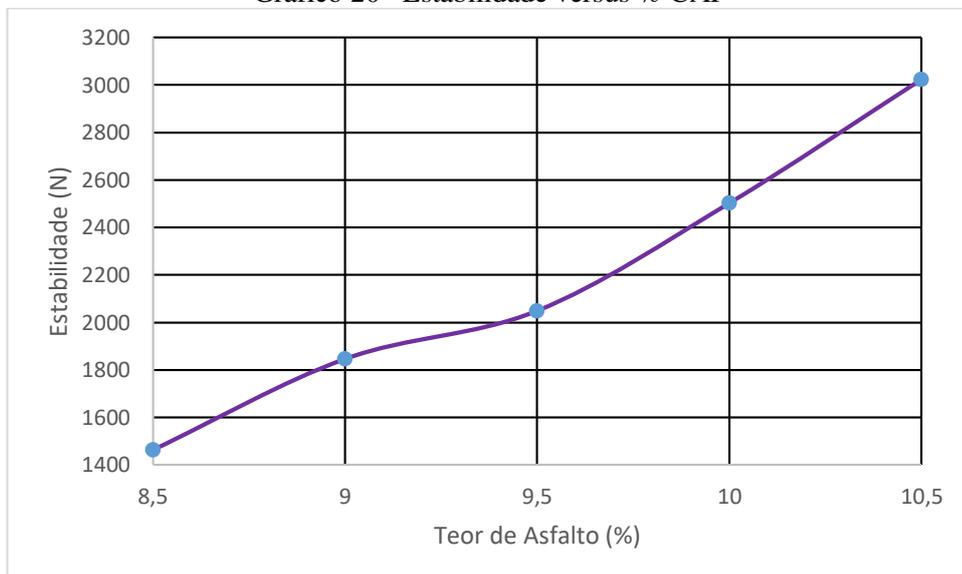
Fonte: Própria (2019)

Gráfico 19 -Relação Betume/Vazio versu % CAP



Fonte: Própria (2019)

Gráfico 20 –Estabilidade versus % CAP

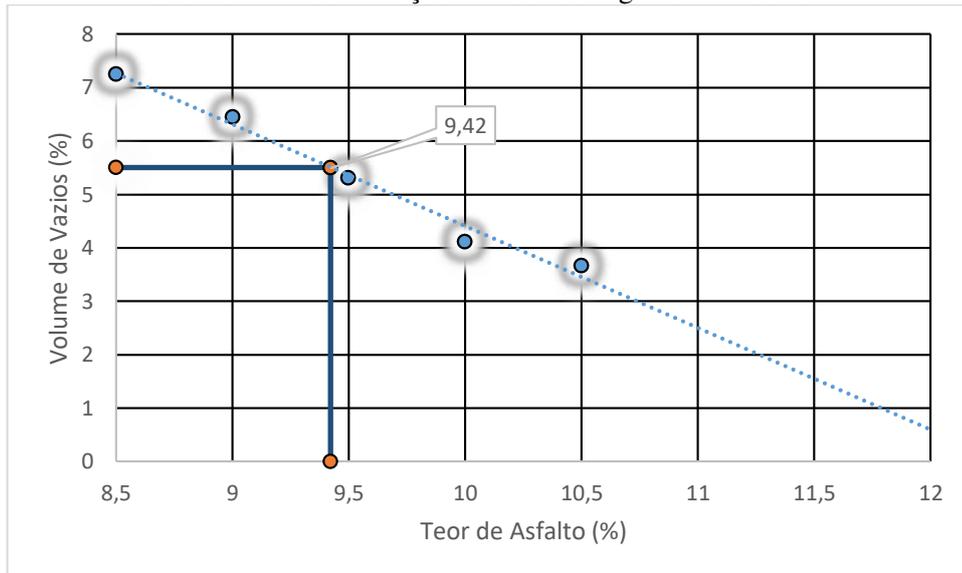


Fonte: Própria (2019)

#### 4.4.5 Definição de um traço ideal para as misturas

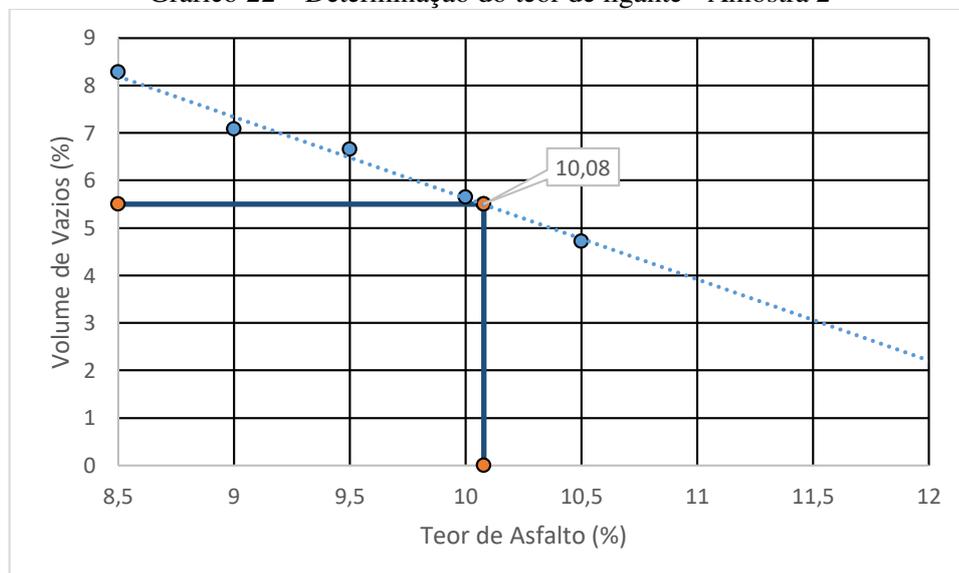
Como exposto utilizou – se o método que leva em conta o percentual de ligante que corresponde ao volume de vazios de 5,5% (media dos valores inferiores e superior determinado pela a norma DNIT ME 032/2005), cujos resultados estão apresentados nos gráficos 21 e 22.

Gráfico 21-Determinação do Teor de Ligante - Amostra 1



Fonte: Própria (2019)

Gráfico 22 – Determinação do teor de ligante - Amostra 2



Fonte: Própria (2019)

Os resultados encontrados foram:

- 9,42% para mistura 1
- 10,08 para a mistura 2

As definições do traço ideal em massas das misturas estão descritas na tabela 26.

Tabela 26 - Mistura = Teor CAP

| <b>MISTURA</b> | <b>TEOR CAP (%)</b> | $m_{CAP}(g)$ | $m_{AREIA}(g)$ | $m_{FILLER}(g)$ |
|----------------|---------------------|--------------|----------------|-----------------|
| <b>1</b>       | 9,42                | 113,04       | 1065,22        | 21,74           |
| <b>2</b>       | 10,08               | 120,96       | 10 25,09       | 53,95           |

Fonte: Própria (2019)

4.4.6. Comparativo das características volumétricos e mecânicas dos teores de ligante que geraram os maiores valores de estabilidade entre as misturas

De posse de todas as informações apresentadas nas tabelas 22 a 25, segundo os procedimentos descritos no item 3.5.3, foram obtidos os valores dos parâmetros volumétricos e mecânicos e comparou se os valores atribuídos aos percentuais de ligante que geraram os maiores valores de estabilidade entre as misturas 1 e 2 com os valores exigidos na norma DNIT-ES 032/2005. Esses resultados e estão apresentados na tabela 27.

Tabela 27 -Propriedades das Misturas

| <b>PROPRIEDADES</b>             | <b>MISTURA 1</b> | <b>MISTURA 2</b> | <b>EXIGENCIA DA NORMA</b> |
|---------------------------------|------------------|------------------|---------------------------|
| <b>TEOR DE CAP %</b>            | 10,0             | 10,5             | -                         |
| $DMT(g / cm^3)$                 | 2,276            | 2,267            | -                         |
| <b>Gmb( g / cm<sup>3</sup>)</b> | 2,185            | 2,159            | -                         |
| <b>Vv %</b>                     | 4,12             | 4,720            | 3 a 8                     |
| <b>VCB %</b>                    | 21,42            | 22,22            | -                         |
| <b>VAM %</b>                    | 25,54            | 26,49            | -                         |
| <b>RBV %</b>                    | 83,86            | 82,48            | 65 a 82                   |
| $EST_{CORR.}(Kgf)$              | 351,12           | 308,30           | $EST \geq 300$            |
| $F(mm)$                         | 4,41             | 3,56             | 2,0 a 4,5                 |

Fonte: Própria (2019).

4.4.7. Discussões e análises dos resultados encontrados

Partindo das cinco amostras de areias apenas duas (Figura 41), foram qualificadas parcialmente com base no exigido nas normas de serviço DNIT-ES 032/2005, para uso em misturas tipo AAUQ. A primeira é oriunda da Jazida Dell Brisa localizada no município de Presidente Dutra-MA. Essa jazida tem como característica sua extração por meio de escavação com retroescavadeira. A outra areia qualificada foi obtida da Jazida Barracão

localizada no município de Joselândia – MA. Essa areia tem como característica sua extração por meio de dragagem do Rio Mearim utilizando uma draga com um motor a diesel.

Figura 41 - Jazidas qualificadas para uso em AAUQ



Fonte: Própria (2019)

A mistura 1 se mostrou mais adequada para serviços de pavimentação por exigir menor quantidade de CAP, tornando a mistura 1 mais econômica para uso em obras de pavimentação sejam equidistantes das jazidas em estudo .

Com forme os resultados apresentados nas tabelas 22 e 24, os volumes de vazios da mistura 2 se mostraram mais elevados que os da mistura 1. Esse fenômeno pode estar relacionado a granulometria dos agregados bem como como a adesividade do ligante ao agregado miúdo proveniente de cada jazida .

A relação betume/vazios RBV se mostrou nas conformidades exigidas em norma DNIT ES 032/2005, para os para os teores de CAP inferiores a 10% na mistura 1 e para os teores de CAP inferiores a 10,5% na mistura 2. Para os teores de CAP que geraram os valores mais elevados de estabilidade em ambas as amostras, o valor do RBV está superior ao exigido em norma que é de 82% , esses valores estão fora dos valores ideias devido a forma de compactação manual na moldagem dos corpos de prova, ao qual literatura alerta que em função da frequência e a força dos golpes poderá haver alterações nos resultados. Se os valores de RBV estiverem em excesso ao exigido na norma, poderá haver exsudação do ligante na camada de rolamento o que pode diminuir a segurança da via em dias de chuva (SENÇO, 2001).

4.4.8. Fazendo um comparativo com outros trabalhos dos padrões mecânicos e volumétricos determinados no ensaio Marshal.

Estudos realizados por e Araújo (2014) e Oliveira (2016) relacionado a mistura do tipo AAUQ produziram resultados que visavam viabilizar e produzir misturas asfálticas com características adequadas a sua utilização na pavimentação, sendo que Araújo (2014) usou como agregado miúdo o pó de brita, e Oliveira (2016), usou uma areia coletada na SEMOSP (Secretaria Municipal de Obras Públicas de São Luís MA), em ambos os trabalhos foram moldados corpos de prova utilizando a metodologia Marshal DNER ME 043/95, Com base nos melhores resultados para os padrões volumétricos e mecânicos desses estudos foram feitas comparativos aos resultados referente as porcentagens de CAP que geraram os maiores valores de estabilidade obtidos nesse trabalho. A tabela 28 detalha esses comparativos entre propriedades mecânicas e volumétricas.

Tabela 28- Quadro Resumo comparativo

| <b>PROPRIEDADES</b>              | <b>MISTURA 1</b> | <b>MISTURA 2</b> | <b>Araujo (2014)</b> | <b>Oliveira(2016)</b> |
|----------------------------------|------------------|------------------|----------------------|-----------------------|
| <b>V<sub>v</sub> %</b>           | 4,12             | 5,87             | 8,38                 | 5,22                  |
| <b>RBV %</b>                     | 83,86            | 82,48            | 61,45                | 77,66                 |
| <b>EST<sub>CORR.</sub> (Kgf)</b> | 351,12           | 308,30           | 486,93               | 415,12                |
| <b>F (mm)</b>                    | 4,41             | 4,09             | 2,93                 | 5,50                  |
| <b>% CAP</b>                     | 10,0             | 10,5             | 6,5                  | 8,0                   |

Fonte: Própria (2019)

Os resultados para os padrões volumétricos e mecânicos obtidos por Araújo (2014) se mostraram bem melhores que os resultados encontrados nesse trabalho bem como os resultados encontrados por Oliveira(2016), isso se dá pelo o fato que o trabalho que obteve os melhores resultados, usou como agregado miúdo o pó de brita, que dispensou inclusive o uso de filer e demandou menores teores de CAP na mistura que gerou os melhores resultados.

Entre as misturas que utilizaram areia como agregado miúdo obteve se padrões bem similares, exceto pelos os valores de RBV, que se mostraram fora da exigências da norma, os resultados de Oliveira (2016), se mostraram dentro das exigências da norma com valores de estabilidades bem mais acentuados em relação aos encontrados nas misturas 1 e 2, analisadas nesse trabalho.

## 5.0 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados nesse trabalho foram considerados satisfatórios e em sintonia com os objetivos apresentados. As amostras de agregados para uso em misturas asfálticas tipo AAUQ foram rigorosamente analisadas e qualificadas conforme o exigido nas normas de serviço apresentadas por agências reguladoras de serviços tais como ABNT e DNIT dentre outras.

Os parâmetros encontrados qualificaram parcialmente duas amostras distintas localizadas em municípios diferentes da região central do Maranhão. Esses parâmetros poderão ser consultados nesse trabalho para fins de projetos relacionados à pavimentação bem como em pesquisas similares em geral, oferecendo informações e dados tais como localização das jazidas qualificadas e não qualificadas, aspectos e dados técnicos dos agregados disponíveis nessas jazidas dentre outras informações.

Portanto conforme apresentado, conclui - se que esse trabalho mostrou - se relevante como uma ferramenta de construção de conhecimento científico, possibilitando o acesso a informações que possa melhorar a qualidade de vida das comunidades que estão nessa área de estudos.

Os parâmetros avaliados quanto ao comparativo com Araújo (2014) e Oliveira (2019) apresentam valores aproximados ao estudado realizado nesse trabalho, tendo em vista que ambos os resultados foram produzidos no mesmo laboratório, podendo observar que a metodologia empregada apresenta resultados coerentes e dentro das exigências da norma.

### 5.1. RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS

- Avaliar a importância do controle da temperatura do CAP e dos agregados na preparação das misturas, bem como a temperatura de compactação e sua influência nas propriedades mecânicas e volumétricas finais da mistura asfáltica.

- Realizar estudos a viabilidade e qualidade dos agregados miúdos encontrados no interior do Maranhão para uso em outros tipos de misturas seja a quente como CAUQ ou a frio como AAUF.

- Realizar estudos comparativos entre as formas de compactação manual e mecânica, avaliando a influência da frequência de golpes bem como a força dos golpes nos resultados finais da dosagem Marshall.



## REFERÊNCIA

- ALECRIM, A. V. **Estudo do Resíduo de Quartzito Foliado para o Emprego em Estruturas de Pavimentos**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009.
- AREMA **Manual de Engenharia Ferroviária**, American Railway Engineering e Manutenção da Way Association, vol. 1-4. 2013.
- ARAÚJO, V. T. P. **Uso pó de pedra britada na mistura de areia- asfalto usinada a quente (AAUQ)**, (Monografia), Universidade Estadual do Maranhão. São Luís - MA, 2014.
- BALBO, J. T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p. il.
- BAUER, L. Falcão, **Materiais de construção** 5ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora. São Paulo, 1995.
- BASILIO, E. Santos. **Agregados para concreto ET 41**, ABCP 1995.
- 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, 2006.
- CARVALHO JÚNIOR, J. A. A. de. **Estudo de misturas asfálticas tipo CAUQ, utilizando seixo rolado** (Monografia), Universidade Estadual do Maranhão. São Luís - MA, 2017.
- CASTRO, L. N. de. **Reciclagem a Frio "In Situ" com espuma de asfalto**. Rio de Janeiro, RJ - Brasil novembro de 2003.
- CNT - **Confederação Nacional dos Transportes**, Anuário CNT de transporte, estatísticas consolidadas, 2017.
- DERBA - NORMA RODOVIÁRIA ESPECIFICAÇÃO DE SERVIÇO - **Pavimentação – Areia Asfalto Usinada à Quente – AAUQ**. DERBA-ES-P-17/01, 2001.
- DER-2008. Departamento de estradas de rodagem do Distrito Federal. **Relatório de Atividades 2008**.
- DNER 003/99 – **Material Betuminoso Determinação da penetração**, 1999.
- \_\_\_\_\_ 004/94 – **Material Betuminoso – Determinação da viscosidade Saybolt Furol a alta temperatura método da película delgada**. 1994.
- \_\_\_\_\_ 034/85 – **Agregados – Determinação da absorção e da densidade do agregado gráudo**. 1985.
- \_\_\_\_\_ 035/98 - **Agregados- Determinação da abrasão Los Angeles**. 1998.
- \_\_\_\_\_ 035/95 – **Peneiras de malha quadrada para análise granulométrica de solos**, 1995.

\_\_\_\_\_ 038/97 - **Agregado Graúdo para concreto de cimento**, 1997.

\_\_\_\_\_ 043/95 – **Misturas betuminosas a quente** – Ensaio Marshall, 1995.

\_\_\_\_\_ 054/97 – **Equivalente de areia** – Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_ 083/98– **Agregados – Análise Granulométrica** – Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ 084/85 – **Agregado miúdo – Determinação da densidade real**, Rio de Janeiro, 1985.

\_\_\_\_\_ 120/97 – **Coleta de amostra de agregados** – Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_ 194/98 – **Agregados –Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco de Chapman**, Rio de Janeiro 1998.

\_\_\_\_\_ 367/97 - **Material de enchimento para misturas betuminosas**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1997.

DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA A TRANSPORTE.  
NORMA DNIT XXX/2018 - **ME Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2018.

\_\_\_\_\_ 031/2006 – **ES: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Rio de Janeiro, 2015.

\_\_\_\_\_ 032/05- **Pavimentos Flexíveis Areia asfalto a quente**, 2005.

\_\_\_\_\_ 120/97 – **Coleta de amostra de agregados** , Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_ 131/2010 - **Materiais asfálticos – Determinação do ponto de amolecimento – Método do Anel e Bola Método de ensaio**, Rio de Janeiro, 2010.

\_\_\_\_\_ 136/2010 - **Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral** – Método de ensaio, Rio de Janeiro, 2010.

GONÇALVES, J. P.; MOURA, W. A.; DAL MOLIN, D. C. C. **Avaliação da influência da utilização do resíduo de granito (RCG) como adição, em propriedades mecânicas do concreto. Ambiente Construído**, Porto Alegre, 2002.

LEITE, L.F.M. **Estudos de preparo e caracterização de asfaltos modificados por polímeros**. 1999. 266 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NBR 085/94 – **Material finamente pulverizado – Determinação de massa específica real**, Rio de Janeiro 1994.

\_\_\_\_\_ 5564/2001 - **Via férrea**, Lastro padrão – Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro 2001.

\_\_\_\_ 6560/2000 - **Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do anel e bola**, Rio de Janeiro 2000.

\_\_\_\_ 6954/1989 - Lastro padrão - **Determinação da forma do material**, Rio de Janeiro 1989.

\_\_\_\_ 6576/1998 - **Materiais Betuminosos – Determinação da penetração**, Rio de Janeiro 1998.

\_\_\_\_ 6776/1981- **Fio de cobre esmaltado de seção circular, à base de poliéster modificado, recoberto ou não com poliéster, classe térmica 180°C, grau 3**, Rio de Janeiro 1981.

\_\_\_\_ 7211/2005 - **Agregados para concreto** – Especificação, Rio de Janeiro 2005.

\_\_\_\_ 7217/1983 - **Determinação da composição granulométrica dos agregados** - Método de ensaio. ABNT, Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_ 7809/2005. Agregado graúdo - **Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio**, ABNT, Rio de Janeiro 2005.

\_\_\_\_ 9776/1987 – **Agregados – Determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**, ABNT, Rio de Janeiro, 1987.

\_\_\_\_ 12052/1992 - **Solo agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia**, ABNT, Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_ 14756/2001 - **Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade cinemática**, ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

\_\_\_\_ 14950/2003 - **Materiais betuminosos – Determinação da viscosidade Saybolt – Furol**, ABNT, Rio de Janeiro 2003.

OLIVEIRA, Letícia Sousa de. **Estudo do efeito do equivalente de areia fora dos requisitos de norma nas misturas de areia asfáltica a quente** – São Luís, 2016.

PAIXÃO, M. P. CORDEIRO, C. C. C.; CORREIA, M. da C. N.. **Pavimentos Semirrígidos: Prevenção E Tratamento Da Reflexão De Trincas**. UNIFACS, 2017.

PILZ, S. E. **Apostila de Concretos e Argamassas para o Curso de Engenharia Civil** – UNOCHAPECO. Disponível em <http://www.scribd.com>. Acesso em 09 de dez de 2019.

PINTO, S. **Materiais pétreos e concreto asfáltico, conceituação dosagem**, Rio de Janeiro, 1998.

PRODANOV, C. C.. **Metodologia do trabalho científico** [recurso eletrônico] : métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico– 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAY RAYMOND, G.P. (1985) **Pesquisa sobre Especificação e Avaliação de Ferrovias**, Transportation Research Board, pp. 1-6. ISBN: 0309038162.

SANTANA, H. **Considerações sobre os nebulosos conceitos e definições de filer em misturas asfálticas.** In: REUNIÃO ANUAL DE PAVIMENTAÇÃO, 29., 1995, Cuiabá. Anais. Cuiabá: Associação Brasileira de Pavimentação, 1995.

SELIG, E.T. COLLINGWOOD, B. I. Field, S. W . **Causas de falta na pista.** Boletim 717 da ÁREA, 1988.

SENÇO, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 1ed. PINI, São Paulo, 2001, v. II.

\_\_\_\_\_, W. de. **Manual de Técnicas de Pavimentação.** 2 ed. PINI, São Paulo, 2007, v. I.

SILVA, P. F. A. **Manual de Patologia e Manutenção de Pavimentos.** Editora Pini. São Paulo. 2008. 114p.

SHELL. **The Shell bitumen handbook.** 5. ed. Cambridge, 2003.

VALVERDE, F. Mendes. **Agregados Para Construção Civil.** Balanço Mineral Brasileiro. São Paulo. DNPM, 2001.