

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO - UEMA
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS - CCT
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

ANTONIA GESSIANE BEZERRA SIRIANO

**INFLUÊNCIA DO AGENTE REJUVENESCEDOR NAS MISTURAS ASFÁLTICAS
RECICLADAS A QUENTE UTILIZADAS COMO REVESTIMENTO DE
PAVIMENTOS**

São Luis
2019

ANTONIA GESSIANE BEZERRA SIRIANO

**INFLUÊNCIA DO AGENTE REJUVENESCEDOR NAS MISTURAS ASFÁLTICAS
RECICLADAS A QUENTE UTILIZADAS COMO REVESTIMENTOS DE
PAVIMENTOS**

Monografia apresentada junto ao curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão- UEMA, como requisito para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana

São Luís

2019

Siriano, Antônia Gessiane Bezerra.

Influência do agente rejuvenescedor nas misturas recicladas a quente utilizadas como revestimento de pavimento / Antônia Gessiane Bezerra Siriano. – São Luís, 2019.

109 f

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

Orientador: Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana.

ANTONIA GESSIANE BEZERRA SIRIANO

**INFLUÊNCIA DO AGENTE REJUVENESCEDOR NAS MISTURAS
ASFÁLTICAS RECICLADAS A QUENTE UTILIZADAS COMO
REVESTIMENTOS DE PAVIMENTOS**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão como parte das exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 01/07/2019

BANCA EXAMINADORA



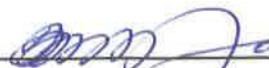
Orientador: **Prof. Dr. Walter Canales Sant'Ana**

Universidade Estadual do Maranhão



1º membro: **Prof.ª Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho**

Universidade Estadual do Maranhão



2º membro: **Prof. Msc. Marivaldo Costa Duarte**

Universidade Estadual do Maranhão

“A persistência é o menor caminho do êxito”

Charles Chaplin

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por tua fidelidade, teu amor incondicional e por iluminar meu caminho, confortando-me nos momentos de dúvida.

À minha família pelo total apoio, por sempre estarem ao meu lado quando mais precisei.

Ao meu professor orientador Walter Canales Sant'Ana, por sua assistência durante todo o decorrer deste trabalho, tirando dúvidas e dando sugestões sempre em busca melhorias.

À professora Maria Teresinha Coelho, por despertar em mim, pela área de infraestrutura urbana, através das suas aulas durante o curso e por tantos conhecimentos repassados durante o período ao qual pude acompanhá-la em suas aulas no laboratório de solos e pavimentação.

Ao meu professor e melhor diretor do curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, João Aureliano Lima, pelo apoio, incentivo, compreensão e conhecimentos compartilhados durante minha jornada acadêmica.

À minha amiga Jasmina Cunha Barbosa, pelo companheirismo, trocas de conhecimentos, madrugadas de estudos compartilhadas, desde o início da nossa carreira acadêmica até a conclusão deste trabalho.

Aos meus amigos e companheiros de laboratório, pelo auxílio e trocas de conhecimento, em especial ao meu amigo Renan que não hesitou quando pedi ajuda nos trabalhos que exigiam mais esforços físicos.

Ao meu amigo Matheus Sousa Castro pelo o apoio e por está ao meu lado quando precisei.

Ao ex aluno da instituição Davvi Heluy, autor do trabalho do qual fiz esse estudo comparativo pelo auxílio e por tirar minhas dúvidas sempre quando eu o procurava.

A meus amigos da turma 2014.2 do curso de Engenharia Civil, que fizeram desses cinco anos os melhores da minha vida.

Obrigada a todos, sem vocês esse sonho não seria possível.

RESUMO

A reciclagem de revestimentos asfálticos é uma técnica que vem sendo bastante utilizada devido às suas vantagens de ordem ambiental e econômica. Durante sua vida útil, o ligante asfáltico sofre oxidação proporcionando o envelhecimento e perda das suas características originais. Para recuperar os revestimentos, uma das soluções é a fresagem dessa camada, ou parte dela, com a retirada do material que comumente é denominado RAP (Reclaimed Asphalt Paviment) e a utilização de Agente Rejuvenescedor de asfalto para então compor uma nova camada do pavimento. O presente trabalho aborda o estudo da influência de um agente rejuvenescedor nas misturas recicladas à quente usando material fresado de revestimento asfáltico envelhecido proveniente das avenidas Guajajaras e José Sarney, localizadas na região metropolitana de São Luís. Em função dos estudos realizados a cerca do mesmo material, foi observado que a utilização de 25% de RAP atende às normas de especificação de misturas asfálticas à quente, portanto foi usada essa porcentagem de material fresado e três diferentes teores de agente rejuvenescedor, 15%, 20% e 25% sobre o ligante residual, de modo a verificar qual o teor mais indicado para recuperar as características do ligante envelhecido. Para melhor avaliar o efeito do agente rejuvenescedor procedeu-se a comparação com a mistura asfáltica onde não foi utilizado o aditivo, avaliando as propriedades mecânicas dessas misturas obtidas em laboratório. Dentre as várias conclusões dessa pesquisa tem-se que a mistura contendo 20% de AR mostrou melhores resultados comparado aos demais teores.

Palavras-chave: Reciclagem; Material fresado; Agente Rejuvenescedor.

ABSTRACT

The recycling of asphalt coatings is a technique that has been widely used due to its environmental and economic advantages. During its useful life, the asphalt binder undergoes oxidation providing aging and loss of its original characteristics. In order to recover the coatings, one of the solutions is the milling of this layer, or part of it, the removal of the material, commonly called RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) and the use of an asphalt Rejuvenating Agent to then compose a new layer of the pavement. The present work deals with the study of the influence of a rejuvenating agent in the hot recycled mixtures using milled material of aged asphalt coating coming from the Guajajaras and José Sarney avenues, located in the metropolitan region of São Luís. Due to the studies carried out on the same material, it was observed that the use of 25% of RAP meets the norms of specification of hot asphalt mixtures, therefore, this percentage of milled material and three different levels of rejuvenating agent, 15%, 20% and 25% were used on the residual binder in order to verify the most suitable content to recover the characteristics of the aged binder. To better evaluate the effect of the rejuvenating agent the comparison was made with the asphalt mixture where the additive was not used, evaluating the mechanical properties of these mixtures obtained in the laboratory. Among the several conclusions of this research is that the mixture containing 20% of RA showed better results compared to the other contents..

Keywords: Recycling; Milling material; Rejuvenating Agent.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Classificação dos revestimentos	24
Figura 2- Estrutura de um pavimento rígido	25
Figura 3- Estrutura de um pavimento flexível	25
Figura 4- Estrutura de um pavimento semi-rígido	28
Figura 5- Máquina Fresadora	30
Figura 6- Cilindros para cada tipo de fresagem.....	30
Figura 7- Processo de fresagem e recolhimento do material	31
Figura 8- Pista após fresagem	31
Figura 10-Comparação entre os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista.....	33
Figura 11- Reciclagem à frio	35
Figura 12- Usina Gravimétrica.....	36
Figura 13- - Representação esquemática de uma usina de asfalto do tipo Drum Mixer	37
Figura 14- Reciclagem a quente in situ	38
Figura 15- Reciclagem com fresagem profunda.....	39
Figura 16- SYLVAROAD™ RP1000.....	41
Figura 17- Máquina fresadora Wirtgen.....	43
Figura 18- Método do Quarteamento	44
Figura 19- Série de peneiras	45
Figura 20- Agregado imerso em água.....	46
Figura 21- Determinação do volume da fração graúda	47
Figura 22- Determinação da massa específica dos miúdos	48
Figura 23- Determinação da massa específica do cimento.....	49
Figura 24 - Máquina de abrasão a "Los Angeles"	50
Figura 25- Medição dos agregados.....	52
Figura 26- Agregado revolvido	53
Figura 27- Agregado revolvido e submerso.....	53
Figura 28- Procedimento do ensaio de EA.....	55
Figura 29- Rotarex	56
Figura 30- Equipamentos para ensaio de penetração.....	57
Figura 31- Equipamentos Anel e bola	58

Figura 32- Viscosímetro Saybolt-Furol	59
Figura 33- Molde de compressão.....	62
Figura 34- Máquina Marshall.....	62
Figura 35- Molde para ensaio de RT com friso	63
Figura 36- Corpo de prova sob pressão.....	63
Figura 37- Resultado do ensaio de adesividade	76
Figura 38- Corpo de prova pós ensaio cântabro	90

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Efeito do aditivo na viscosidade	42
Gráfico 2- Curva granulométrica da Areia	66
Gráfico 3- Curva granulométrica do pó de brita.....	67
Gráfico 4- Curva granulométrica do Filler.....	69
Gráfico 5- Curva granulométrica da brita 0.....	70
Gráfico 6- Curva granulométrica da brita 1.....	71
Gráfico 7- Curvas granulométricas do RAP	73
Gráfico 8- Indicação de temperaturas de misturas e compactação.....	80
Gráfico 9- Enquadramento granulométrico com as faixas limites do DNIT	83
Gráfico 10- Volume de vazios x CAP	84
Gráfico 11- Densidade Aparente x CAP	84
Gráfico 12- Volume de Agregado Mineral x CAP	85
Gráfico 13- Relação Betume Vazios x CAP	85
Gráfico 14- Estabilidade Marshall x CAP	86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Especificação brasileira para agentes rejuvenescedores (dnc 733/97).....	40
Tabela 2- Resultados das massas específicas dos grãos.....	73
Tabela 3- Resultados das massas específicas dos miúdos	74
Tabela 4- Resultado final da densidade do RAP	74
Tabela 5- Resultado da massa específica do filler	74
Tabela 7-Resultado do Abrasão para o RAP	75
Tabela 8- Resultado do Abrasão para brita 1	75
Tabela 9- Resultados do Abrasão para brita 0	76
Tabela 10- Resultados do equivalente de areia	77
Tabela 11- Resultados da Extração de betume	78
Tabela 12-Resultados do ensaio de penetração	79
Tabela 13- Resultados do ponto de amolecimento	79
Tabela 14- Parâmetros Volumétricos com e sem AR para 25% de RAP	91
Tabela 15- Estabilidade Marshall com e sem adição de AR para 25%de RAP	91
Tabela 16- Resistência à Tração com e sem AR para 25% de RAP.....	92
Tabela 17- Desgaste cântabro com e sem AR para 25% de RAP	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Classificação da forma das partículas.....	51
Quadro 2- Granulometria da Areia	65
Quadro 3- Granulometria do pó de brita.....	67
Quadro 4- Granulometria do filler	68
Quadro 5 - Granulometria da brita 0.....	70
Quadro 6- Granulometria da brita 1.....	71
Quadro 7- Granulometria do RAP	72
Quadro 8- Resultados do índice de forma dos materiais	77
Quadro 9- Temperaturas no ensaio de viscosidade	80
Quadro 10- Temperaturas de misturas e compactação	81
Quadro 11- Faixas de enquadramento granulométrico DNIT.....	82
Quadro 12- Enquadramento granulométrico da mistura	82
Quadro 13- Dosagens das misturas com 25% RAP.....	83
Quadro 14- Parâmetros para cada teor de CAP e AR	86
Quadro 15- Resultados de RT para cada teor de CAP e AR	86
Quadro 16- Resultados dos parâmetros volumétricos para os teores ótimos	88
Quadro 17- Resultados da estabilidade para teores ótimos.....	88
Quadro 18- Resultados de RT para teores ótimos	89
Quadro 19- Resultado do desgaste cântabro.....	89

LISTA DE SIGLAS

%	- Por cento
°C	-Graus Celsius
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
AR	- Agente Rejuvenescedor
ANP	- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Energia
ANTT	- Agência Nacional de Transportes Terrestres
CAP	- Cimento Asfáltico de Petróleo
CAUQ	- Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CCT	- Centro de Ciências Tecnológicas
cm	- centímetro
cm ³	- centímetro cúbico
CNT	- Confederação Nacional de Transporte
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
CONCEPA	- Concessão com Contrato Encerrado
CP	- Corpo de Prova
Dap	- Massa específica aparente da mistura
DNER	- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DMT	- Densidade Máxima Teórica
DNIT	- Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
EAP	- Emulsão Asfáltica de Petróleo
ES	- Especificação de Serviço
g	- gramas
g/cm ³	- gramas por centímetros cúbico
h	- horas
kgf	- Quilograma-força

km	- Quilômetros
LSP	- Laboratório de Solos e Pavimentação
ME	- Método de Ensaio
mm	- milímetro
MPa	- Mega Pascal
N	- Newton
NBR	- Norma Brasileira
RBV	- Relação Betume/Vazios
SSF	- Segundo Saybolt-Furol
UEMA	- Universidade Estadual do Maranhão
VAM	- Vazios do Agregado Mineral
VCB	- Vazios Com Betume
Vv	- Volume de Vazios

Sumário

1. INTRODUCAO	19
1.1. Objetivos	20
1.1.1. Objetivo Geral	20
1.1.2. Objetivos Específicos	20
2. JUSTIFICATIVA	21
3. REFERENCIAL TEÓRICO	22
3.1. Pavimento	22
3.2. Camadas do Pavimento	22
3.2.1. Reforço.....	23
3.2.2. Sub-base.....	23
3.2.3. Base	23
3.2.4. Revestimento	23
3.3. Tipos de Pavimentos	24
3.3.1. Pavimento Rígido	24
3.3.2. Pavimento Flexível.....	25
3.3.2.1. Revestimentos Flexíveis Betuminosos	26
3.3.2.2. Revestimentos flexíveis por calçamento	27
3.3.3. Pavimento Semi-Rígido.....	28
3.4. Reciclagem de Revestimentos Asfálticos	28
3.4.1. Fresagem	28
3.4.2. Tipos de fresagem.....	31
3.4.2.1. Quanto à espessura do corte.....	31
3.4.2.1.1. Fresagem Superficial.....	32
3.4.2.1.2. Fresagem Rasa	32
3.4.2.1.3. Fresagem Profunda	32
3.4.2.2. Quanto à rugosidade resultante na pista	32
3.4.2.2.1. Fresagem Padrão	32
3.4.2.2.2. Fresagem Rasa	33
3.4.2.2.3. Microfresagem	33
3.4.3. Métodos de reciclagem	33
3.4.3.1. Reciclagem a frio (Cold planning)	34
3.4.3.2. Reciclagem a frio <i>in situ</i> (Cold <i>in-place recycling</i>).....	35
3.4.3.3. Reciclagem a quente (<i>Hot recycling</i>)	36
3.4.3.4. Reciclagem a quente <i>in situ</i> (<i>hot in-place recycling</i>);.....	37

3.4.3.5. Reciclagem de camadas do pavimento (<i>Full depth reclamation</i>).....	38
3.5. Agentes Rejuvenescedores (AR)	39
3.5.1. SYLVAROAD™ RP1000.....	41
4. METODOLOGIA	43
4.1. Ensaio Laboratoriais para os Agregados	44
4.1.1. Granulometria dos Materiais	44
4.1.2. Massa específica real e absorção	45
4.1.3. Massa específica do agregado miúdo.....	47
4.1.4. Massa específica do cimento	48
4.1.5. Ensaio de Abrasão à Los Angeles	49
4.1.6. Índice de forma do agregado	51
4.1.7. Ensaio de Adesividade.....	52
4.1.8. Equivalente de Areia.....	54
4.2. Extração do Ligante da Mistura Asfáltica (Rotarex)	55
4.3. Ensaio para Ligante Asfáltico	57
4.3.1. Ensaio de penetração	57
4.3.2. Ponto de Amolecimento (método anel e bola)	58
4.3.3. Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol	59
4.4. Dosagens das Misturas	60
4.4.1. Dosagem Marshall	60
4.4.2. Estabilidade.....	61
4.4.3. Resistência a Tração por compressão diametral	63
4.4.4. Desgaste Cântabro	64
5. RESULTADOS E ANÁLISES	65
5.1. Ensaio para os Agregados.....	65
5.1.1. Granulometria.....	65
5.1.2. Massa específica real e absorção.....	73
5.1.3. Abrasão à Los Angeles.....	75
5.1.4. Ensaio de Adesividade	76
5.1.5. Equivalente de Areia.....	77
5.1.6. Ensaio de Índice de Forma.....	77
5.2. Extração do Betume	78
5.3. Ensaio para o ligante	78
5.3.1. Ensaio de penetração.....	78
5.3.2. Ponto de amolecimento	79

5.3.3. Viscosidade Saybolt-Furol.....	80
5.4. Dosagem Marshall.....	81
5.4.1. Enquadramento Granulométrico.....	81
5.4.2. Determinação do teor ótimo de ligante.....	83
5.4.3. Estabilidade Marshall.....	88
5.4.4. Resistência à tração por compressão diametral.....	89
5.4.5. Desgaste Cântabro.....	89
5.4.6. Análises e comparações dos resultados obtidos.....	90
6. CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	95
APÊNDICES.....	99

1. INTRODUÇÃO

Diante da necessidade da ampliação da infraestrutura e da carência de recursos para este fim, o meio rodoviário nos últimos anos tenta buscar novas técnicas e desenvolvimento de soluções mais econômicas e que sejam menos agressivas ao meio ambiente, como a restauração de pavimentos deteriorados. Este trabalho tem como objetivo apresentar a influência de agentes rejuvenescedores em misturas asfálticas com material reciclado.

A pavimentação asfáltica é formada por uma estrutura de múltiplas camadas de materiais, executada de acordo com o seu uso, sendo que esta é construída sobre uma superfície final de terraplanagem compactada. Destina-se a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e intempéries climáticas ao longo de sua vida útil, proporcionando ao usuário melhoria nas condições de deslocamento com conforto e segurança (BERNUCCI *et al*, 2006).

Para um engenheiro civil, o pavimento é visto como uma estrutura, composta por diversos elementos com suas respectivas funções. Em se tratando de pavimentos flexíveis, esses elementos podem ser representados pelas camadas de revestimento, base, sub-base e reforço. Cada uma delas é constituída por materiais diversos com características peculiares, definidos e regulados por normas do DNIT e DNER (ROSSI, 2017).

Dentre os diversos tipos de revestimento, existem os revestimentos reciclados, que se utilizam de parcela dos revestimentos envelhecidos na sua composição, objetivando poupar tanto agregados quanto ligante, tornando assim o revestimento menos caro economicamente e menos danoso ao meio ambiente (SILVA, 2011).

Referindo-se à camada de revestimento de um pavimento flexível, ela é constituída basicamente de materiais agregados e ligantes. Quando nessa camada é utilizado parte de revestimento de um pavimento antigo, devidamente fresado, denomina-se que esse é um pavimento asfáltico reciclado (ou RAP: *Reclaimed Asphalt Pavement*). Esse é o elemento de estudo desse projeto, que visa estudar o revestimento fresado para fabricação de revestimentos asfálticos a quente utilizando o AR.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

Avaliar misturas asfálticas recicladas com utilização de AR (Agente Rejuvenescedor).

1.1.2. Objetivos Específicos

- Estudar as características físicas do material fresado;
- Estudar volumetrias e características mecânicas para as misturas asfálticas propostas;
- Comparar os resultados obtidos com outros trabalhos.

2. JUSTIFICATIVA

A pavimentação asfáltica é sem dúvida um dos tipos de pavimentos mais utilizados no mundo. No entanto, o cenário brasileiro, segundo a Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), em 2018, a malha rodoviária possuía uma extensão de mais de 1,7 milhão de quilômetros de rodovias, sendo apenas 12,4 % delas, pavimentadas.

Além disso, vale ressaltar a elevada incidência de defeitos nesses mais de 200 mil quilômetros de pavimento asfáltico, sem contar que esse tipo de revestimento tem um tempo vida útil sendo necessário sua substituição ou tratamento para prolongamento do mesmo (VIANA, 2019).

Sob outro ponto de vista, existe ainda a questão ambiental. Essa questão, com a chegada do século XXI, tem tomado cada vez mais a atenção de todos. Conferências como a Eco-92 e a Rio+20, mostram a urgência que essa discussão ganhou durante os últimos anos.

A reciclagem de pavimentos é uma técnica que visa à reutilização dos agregados e ligantes do revestimento antigo, necessitando de agente rejuvenescedor para redução da viscosidade e reposição de compostos aromáticos e resinas para recompor as características do ligante (BETUNEL, 2019).

Os Agentes Rejuvenescedores (AR) são asfaltos de baixa consistência, usados em serviços de reciclagem a quente. A seleção do tipo de AR a ser empregado no serviço de reciclagem dependerá das características de envelhecimento do ligante presente no revestimento a ser reciclado. A utilização de matéria reciclada como o RAP, surge nessa nova linha adotada pelos países emergentes, que buscam otimizar os materiais extraídos da natureza, como o ligante e os materiais agregados utilizados na produção do revestimento, afetando assim minimamente a biosfera (CONCEPA/ANTT, 2017).

Levando em consideração a questão ambiental supracitada, da importância do pavimento asfáltico, e dos eventuais defeitos nas rodovias, é iminente a substituição do mesmo, existindo no asfalto reciclado, com revestimento fresado, uma excelente oportunidade para reforma e melhoria das rodovias Brasil e do mundo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Pavimento

Pavimento é um sistema complexo de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre uma fundação chamada de subleito de uma rodovia, que tem como objetivo resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, propiciando assim, uma melhoria aos usuários nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança (BERNUCCI *et al*, 2006, p.9).

As principais funções dos pavimentos são: resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los, melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança, resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento e resistir às ações do intemperismo (FALEIROS, 2005 apud RIBEIRO, 2017).

As cargas solicitantes de um pavimento são transmitidas por meio das rodas dos veículos. A área de contato entre os pneus e o pavimento tem a forma aproximadamente elíptica, e a pressão exercida, dada a relativa rigidez dos pneus, tem uma distribuição aproximadamente parabólica. Para fins didáticos, pode-se admitir uma carga uniformemente distribuída numa área de região circular. Para efeito de dimensionamento a pressão de contato é aproximadamente igual à pressão dos pneus, sendo a diferença desprezível (ODA, 2003, p. 4).

Segundo Balbo (2007) “Para caracterizar-se um pavimento, a condição mínima é a existência do revestimento e fundação. De modo geral, as camadas de um pavimento são revestimento, base, sub-base e reforço do subleito”, sendo o subleito a fundação da estrutura.

3.2. Camadas do Pavimento

Em geral os pavimentos são constituídos das seguintes camadas: reforço, sub-base, base e revestimento.

3.2.1. Reforço

É outra camada considerada opcional, caso o subleito já possua uma resistência satisfatória, Segundo Ronaldo (2015, p.71) “ela é utilizada quando o pavimento é muito espesso e é executada com o objetivo de reduzir a espessura da própria sub-base”. Assim é possível reduzir o custo total do pavimento visto que o reforço é formado por material mais nobre quando comparado ao subleito e menos nobre quando comparada a sub-base.

3.2.2. Sub-base

Camada complementar à base, com as mesmas funções desta, considerada facultativa, segundo SENÇO (2007, p.19) ela é executada quando, por razões de ordem técnica e econômica, quando for conveniente reduzir a espessura da base.

3.2.3. Base

Segundo Ronaldo (2015, p.71) “É a camada destinada a resistir e transmiti-la ao sub-leito, os esforços oriundos do tráfego e sobre a qual se construirá o revestimento”.

Essa camada também pode ter função hidráulica, quando esta é formada a partir de materiais granulares, exercendo função na drenagem superficial do pavimento (SENÇO, 2007).

3.2.4. Revestimento

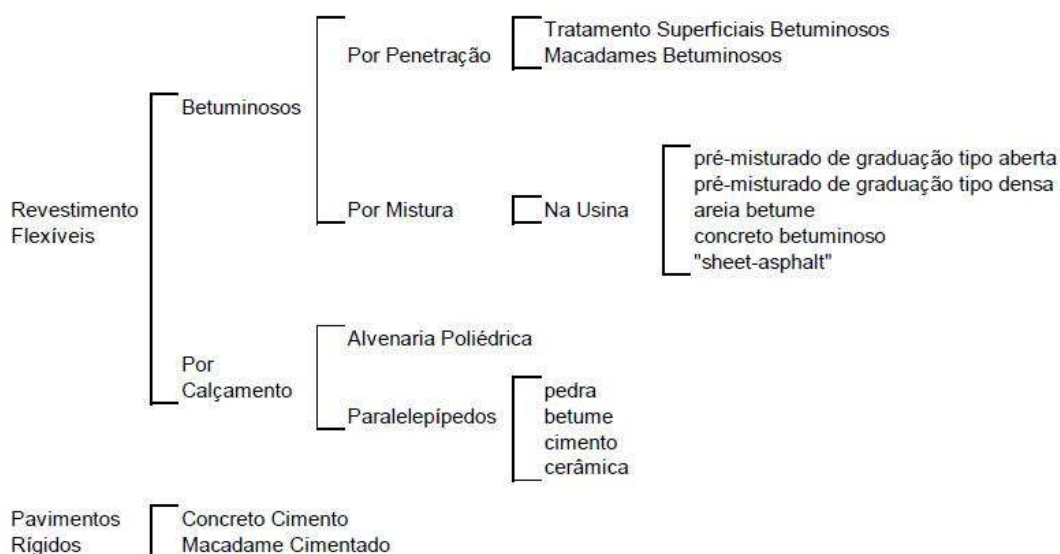
Camada designada a receber e resistir esforços tornando mais durável a superfície, oriundos das ações do tráfego, a melhorar as condições de rolamento quanto aos quesitos comodidade e segurança, uma camada tanto quanto impermeável (BERNUCCI *et al.*, 2006)

Os requisitos técnicos e de qualidade de um revestimento serão determinados e avaliados a partir de um projeto e poderá ser produzido em usina fixa ou móvel. Sua classificação pode variar de acordo com o ligante utilizado, sendo

a quente quando há a utilização de CAP, ou a frio com EAP (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Segundo Bernucci (2006, p.10) “Os revestimentos asfálticos são constituídos por associação de agregados e de materiais asfálticos, podendo ser de duas maneiras principais, por penetração ou por mistura” (figura 1).

Figura 1- Classificação dos revestimentos



Fonte: DNIT, 2006.

Existe ainda outra camada chamada de subleito do pavimento, segundo Marques (2006, p.6) é o terreno de fundação onde será apoiado todo o pavimento. Deve ser considerado e estudado até as profundidades em que atuam significativamente as cargas impostas pelo tráfego (de 60 a 1,50 m de profundidade).

3.3. Tipos de Pavimentos

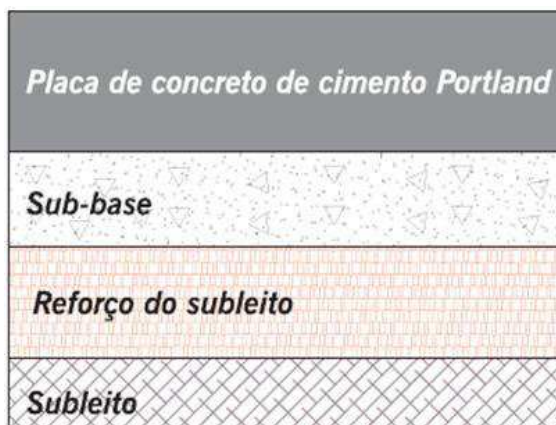
De forma geral, os pavimentos são classificados como rígidos e flexíveis.

3.3.1. Pavimento Rígido

É formado predominantemente por uma mistura relativamente rica de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, bem distribuída com o devido

adensamento na forma de concretagem, as camadas constituintes (figura 2) trabalham sensivelmente à tração. O dimensionamento dá-se através da resistência do próprio pavimento (TAVARES *et al*, 2015).

Figura 2- Estrutura de um pavimento rígido

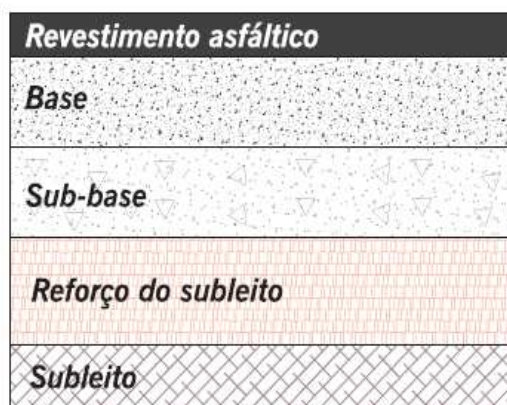


Fonte: Bernucci *et al*. (2006)

3.3.2. Pavimento Flexível

É uma estrutura constituída de uma ou mais camadas de espessura finita, assente sobre um espaço finito, cujo revestimento é do tipo betuminoso (figura 3) o dimensionamento é comandado pela resistência do subleito (TAVARES *et al*, 2015).

Figura 3- Estrutura de um pavimento flexível



Fonte: Bernucci *et al*. (2006)

3.3.2.1. Revestimentos Flexíveis Betuminosos

De acordo com DNIT (2006, p.98) Os revestimentos betuminosos são constituídos por associação de agregados e materiais betuminosos.

Esta associação pode ser feita de duas maneiras clássicas: por penetração e por mistura.

a) Revestimentos por Penetração

As quais podem ser por penetração invertida ou direta.

b) Revestimentos Betuminosos por Penetração Invertida

São os revestimentos executados através de uma ou mais aplicações de material betuminoso, seguida(s) de idêntico número de operações de espalhamento e compressão de camadas de agregados com granulometrias apropriadas. Conforme o número de camadas tem-se os intitulados, tratamento superficial simples, duplo ou triplo. DNIT (2006, p.98).

c) Revestimentos Betuminosos por Penetração Direta

São os revestimentos executados através do espalhamento e compactação de camadas de agregados com granulometria apropriada, sendo cada camada, após compressão, submetida a uma aplicação de material betuminoso e recebendo, ainda, a última camada, uma aplicação final de agregado miúdo.

Revestimento típico, por "penetração direta", é o Macadame Betuminoso. DNIT (2006, p.98).

d) Revestimentos por Mistura

Nos revestimentos betuminosos por mistura, o agregado é pré-envolvido com o material betuminoso, antes da compressão.

Quando o pré-envolvimento é feito em usinas fixas, resultam os "Pré-misturados Propriamente Ditos" e, quando feito na própria pista, têm-se os "Pré-misturados na Pista" (road mixes) DNIT (2006, p.98).

e) Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ)

O CAUQ é uma mistura betuminosa composta por uma granulometria contínua e bem graduada, de forma a possuir poucos vazios devido aos agregados menores preencherem os vazios dos maiores (BERNUCCI *et al.*, 2006).

“Essa mistura é constituída de agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, espalhada e comprimida a quente” (Tavares, *et al* 2015, p.77).

Esse tipo de revestimento é o mais usual no Brasil, sendo uma mistura resistente, contanto que sejam selecionados os materiais e dosados adequadamente. (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Esse tipo de mistura pode ser utilizada em duas situações: para camada de rolamento (ou “capa”), sendo a camada que é destinada a receber diretamente a ação do tráfego, ou podendo ser utilizada como camada de ligação (binder), sendo essa a camada inferior a de rolamento (BERNUCCI *et al.*, 2006).

3.3.2.2. Revestimentos flexíveis por calçamento

A utilização destes tipos de pavimento, em rodovias caiu consideravelmente, na medida em que se intensificou a utilização de pavimentos asfálticos e de concreto.

Assim é que, de uma maneira geral, a sua execução se restringe a pátios de estacionamento, vias urbanas e alguns acessos viários. DNIT (2006, p.98)

Neste estudo destaca-se para os revestimentos a quente o CAUQ (concreto asfáltico usinado a quente) utilizado com materiais fresados e agente rejuvenescedor de asfalto.

3.3.3. Pavimento Semi-Rígido

Um pavimento pode ser considerado como semi-rígido (figura 4) quando este apresenta deformações maiores que de um pavimento rígido, porém menor do que um flexível. É caracterizado por apresentar camada de revestimento asfáltico sobre uma base ou sub-base que possui material cimentado (DNIT, 2006).

Figura 4- Estrutura de um pavimento semi-rígido



Fonte: E-Civil (2016)

3.4. Reciclagem de Revestimentos Asfálticos

A reciclagem de revestimento asfáltico consiste em restaurar o revestimento envelhecido e oxidado, este é retirado parcial ou totalmente e são tratados com agentes rejuvenescedores, podendo adicionar novos agregados ou não, a fim de recuperar as características do revestimento.

Essa técnica é, há mais de uma década, uma alternativa viável economicamente, pois os métodos convencionais de manutenções, tapa-buracos e outros serviços, custam caro e as vezes não são os mais satisfatórios quando se fala em durabilidade, conforto e segurança dos usuários (TAVARES, 2015).

3.4.1. Fresagem

A fresagem consiste na primeira etapa do processo de reciclagem, Segundo Tavares (2015):

A fresagem consiste na remoção da capa asfáltica do pavimento envelhecido ou que apresentem problemas na espessura originalmente projetada. Pode ser feita a frio ou a quente, sendo a primeira mais comum pelo fato de não necessitar de placas aquecimento que utilizem como combustível o “gás de cozinha”. Entretanto há de se observar que a fresagem a frio é mais agressiva ao pavimento, devido ao maior esforço mecânico, que resulta em uma maior geração de furos pela quebra dos agregados mais graúdos.

Dentre as vantagens da utilização da técnica da reciclagem na conservação tem-se considerada a economia de materiais, até a preservação do meio ambiente. Com a diminuição do consumo dos materiais asfálticos, de alto valor comercial, e dos materiais agregados retirados da natureza, há uma diminuição dos custos das obras. A reciclagem contribui para a preservação ambiental, uma vez que evita a exploração agressiva das áreas de exploração, ocasionada pela redução da área de exploração de jazidas. Estima-se atualmente que cerca de 27 milhões de toneladas de ligante asfáltico e meio bilhão de toneladas de agregados sejam consumidos a cada ano na construção e manutenção de rodovias (PETERSON *et al*, 1994 *Apud* LIMA, 2003).

A reutilização desse material poderia eliminar grande quantidade de seu descarte proveniente do pavimento antigo, resolvendo um grande e antigo problema, que é a disposição final destes materiais em locais inadequados.

Para realização do processo de fresagem, o equipamento principal é a máquina fresadora (figura 5), que está disponível em variados tamanhos, e sua utilização varia de acordo com o tipo de serviço (DEGRAUS, 2018).

Figura 5- Máquina Fresadora



Fonte: CAT, 2018

Essa máquina é composta por um cilindro (figura 6), dente de corte, correia transportador e o reservatório de água.

Figura 6- Cilindros para cada tipo de fresagem



Fonte: DVS, 2019.

Nesses cilindros ficam acoplados os dentes de corte, responsáveis pelo corte do pavimento, tem ainda a correia que faz a finalização do processo, onde os resíduos são capturados e transportados para o caminhão basculante (figura 7) e assim levado para seu destino final.

Figura 7- Processo de fresagem e recolhimento do material



Fonte: Bernucci (2006)

Figura 8- Pista após fresagem



Fonte: Bernucci (2006)

3.4.2. Tipos de fresagem

Segundo Bonfim (p. 21, 2007), a fresagem é classificada de acordo com dois critérios, a espessura do corte e sua rugosidade.

3.4.2.1. Quanto à espessura do corte

Quanto à espessura do corte, a fresagem pode ser classificada em três esferas: superficial, rasa ou profunda.

3.4.2.1.1. Fresagem Superficial

Este tipo de fresagem ocorre na superfície do pavimento, com o objetivo de corrigir os defeitos presente no mesmo, sendo conhecida como fresagem de regularização, pois não há necessidade de recapeamento após desbaste, possibilitando assim o tráfego de veículos logo depois de sua execução, já que apresenta superfície de rolamento segura, no entanto não muito confortável (BONFIM, p. 21, 2007).

3.4.2.1.2. Fresagem Rasa

Esse tipo de fresagem geralmente atinge a camada de ligação. A profundidade média do corte é cerca de 5 cm de espessura. Ela é utilizada na correção de defeitos funcionais e remendos superficiais. Aplicado na correção do greide que se mantém inalterado, em relação aos dispositivos de drenagem superficial e obras de artes (BONFIM, p. 21, 2007).

3.4.2.1.3. Fresagem Profunda

Esse tipo a fresagem apresenta espessuras de corte maiores, podendo atingir além do revestimento, outras camadas como a base e a sub-base. Esse procedimento é realizado quando há necessidade de recuperar o aspecto estrutural. Com o objetivo funcional de restabelecer as condições ideais de funcionamento dos dispositivos de drenagem superficial, essa técnica é possível ser utilizada para corrigir o greide original do pavimento (BONFIM, p. 21, 2007).

3.4.2.2. Quanto à rugosidade resultante na pista

Quanto à rugosidade, a fresagem é classificada como padrão, fina e microfresagem (figura 9). A classificação da rugosidade resultante na pista depende do tipo de cilindro utilizado na execução e da velocidade de operação da fresagem.

3.4.2.2.1. Fresagem Padrão

É a fresagem que resulta dos cilindros originais oferecidos nos equipamentos e possui distância lateral entre os dentes de corte de aproximadamente 15 mm. Utiliza-se este tipo de fresagem para o desbaste de camada especificada em projeto para uma posterior aplicação de nova camada de revestimento (BONFIM, p. 23, 2007).

3.4.2.2.2. Fresagem Rasa

Possui distância lateral entre os dentes de corte de aproximadamente 8 mm, o que a torna menos rugosa comparada à fresagem padrão é utilizada para a regularização das pistas e possibilitam melhores condições no tráfego. Algumas vezes pode-se dispensar posterior recapeamento do pavimento (BONFIM, p. 24, 2007).

3.4.2.2.3. Microfresagem

Esse tipo de fresagem possui um cilindro com distância lateral entre os dentes de corte de aproximadamente 2 a 3 mm, visando a adequação do perfil longitudinal ou retirada de faixas de sinalização horizontal das pistas, para alteração do layout viário (BONFIM, p. 24, 2007).

Figura 9-Comparação entre os tipos de fresagem quanto à rugosidade resultante na pista



Fonte: Adaptado de Bonfim (2007).

3.4.3. Métodos de reciclagem

O Manual de Restauração de Pavimento Asfáltico do DNIT (2006), mostra algumas alternativas disponíveis, mas que dependem de vários fatores como:

- Observação dos defeitos do pavimento;
- Determinação das prováveis causas dos defeitos, baseados em estudos de campo e laboratório;
- Informações de projeto e histórico das intervenções de conservações;
- Custos;
- Histórico do desempenho do pavimento;
- Restrição quanto a geometria da rodovia (horizontal e vertical);
- Fatores ambientais; e
- Tráfego.

A associação de reciclagem asfáltica dos Estados Unidos (*The Asphalt Recycling and Reclaiming Association-ARRA*), define cinco categorias principais de diferentes métodos de reciclagem (LIMA, 2003):

- ✓ Reciclagem a frio (*Cold planning*);
- ✓ Reciclagem a quente (*Hot recycling*);
- ✓ Reciclagem a quente in situ (*Hot in-place recycling*);
- ✓ Reciclagem a frio in-situ (*Cold in-place recycling*);
- ✓ Reciclagem de camadas do pavimento (*Full depth reclamation*).

É importante notar a diferença entre reciclagem e fresagem. A reciclagem de pavimento é uma técnica de restauração, enquanto a fresagem do pavimento é uma operação onde o pavimento, ou parte dele, é cortado através de um equipamento dotado de um cortador giratório empregando movimento rotativo. A fresagem pode ser feita a frio ou a quente. Dá-se o nome de termo-reperfilagem quando o revestimento é aquecido e compactado para corrigir a deformação nele existente, e o termo regeneração quando há aquecimento do revestimento, seguido de escarificação e nivelamento (LIMA, 2003).

3.4.3.1. Reciclagem a frio (*Cold planning*)

Na reciclagem a frio deve ser utilizada a emulsão asfáltica, agentes rejuvenescedores ou estabilizantes químicos, essa é uma técnica de fresagem na qual o pavimento asfáltico é retirado a uma profundidade estabelecida e depois restaurado através da confecção de uma nova camada superficial. Este método permite a correção do greide da pista, inclinação, ondulações e deformações na camada superficial.

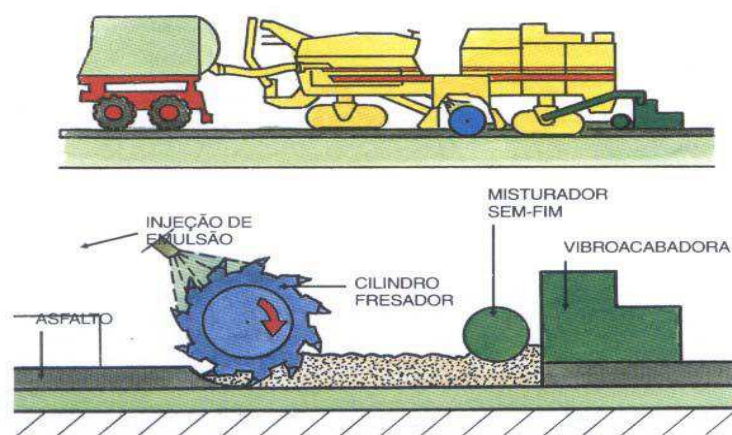
Mistura-se o material fresado, já classificado granulometricamente, com a emulsão de ruptura lenta que já deverá possuir o agente rejuvenescedor incorporado a agregados novos, de acordo com o traço e especificações do projeto. (*Asphalt Institute*, 1986 Apud BAPTISTA, 2006)

3.4.3.2. Reciclagem a frio *in situ* (Cold *in-place* recycling)

Nesse método o corte é feito a frio e a mistura da emulsão e dos novos agregados é feita na fresadora recicladora (figura 10), ela é mais indicada para áreas que permitam a operação de equipamentos de grande porte como rodovias e vias expressas (TAVARES *et al*, 2015).

Os pavimentos mais adequados para usar essa técnica são os trincados, com recapeamento sucessivos, que apresentam problemas de drenagem entre as camadas originais e reforço, com desagregação do revestimento (ROGGE e HICKS, 1993 Apud SILVA, 2011).

Figura 10- Reciclagem à frio



Fonte: Lima (2003).

3.4.3.3. Reciclagem a quente (*Hot recycling*)

A reciclagem a quente é realizada em usina do tipo drum mixer ou usinas gravimétricas, nas quais o material fresado utilizado é classificado granulometricamente e assim misturado ao novo asfalto, aos novos agregados graúdos e miúdos, agente rejuvenescedores e caso haja a necessidade, a um melhorador de adesividade- DOPE (TAVARES, *et al*, 2015).

Nas usinas gravimétricas (figura 11) o agregado virgem é seco e aquecido em um secador convencional, em seguida é misturado e transportado para o misturador. Nesse tipo de usina, o material armazenado é introduzido no local de pesagem e é seco pela troca de calor ao misturá-lo com o agregado virgem. O CAP e o agente rejuvenescedor (caso necessário) são adicionados à mistura de acordo com o projeto de mistura.

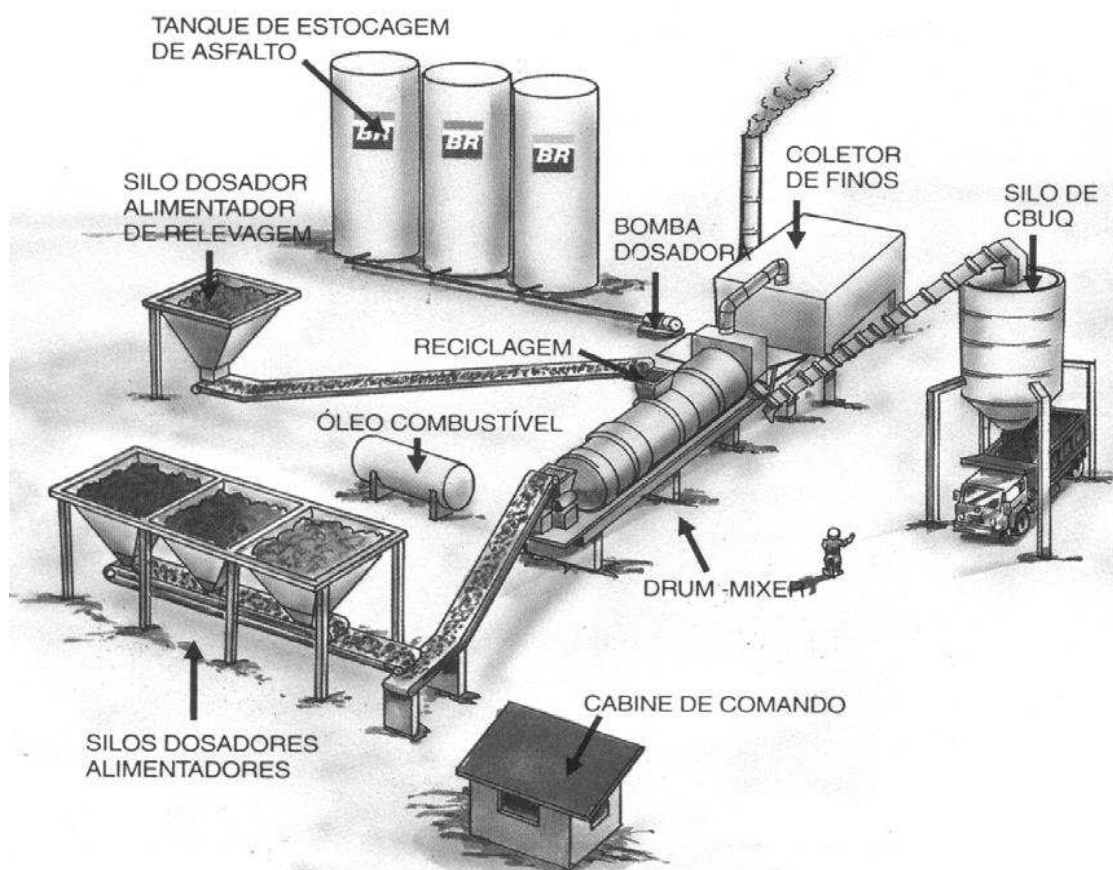
Figura 11- Usina Gravimétrica



Fonte: Bernucci et al, 2006

As usinas Drum Mixer (figura 12) são compostas por depósitos para estocagem dos agregados; tanque de suprimento de asfalto; tambor misturador; silos de armazenagem da mistura pronta e equipamento de controle de emissões poluentes. Os materiais agregados estocados são dosados em conformidade com o projeto de mistura e transportados através de esteiras até o tambor onde se dá o aquecimento necessário para a mistura atingir aproximadamente 175°C (*Asphalt Institute*, 1986 Apud BAPTISTA, 2006).

Figura 12- - Representação esquemática de uma usina de asfalto do tipo Drum Mixer



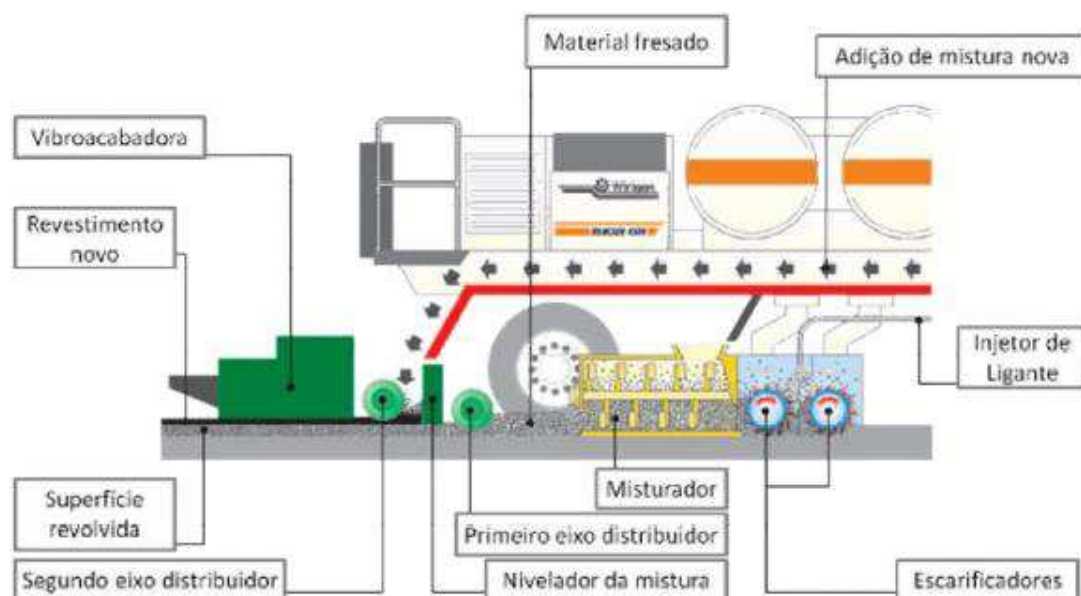
Fonte: Cortesia PETROBRAS DISTRIBUIDORA S.A.

3.4.3.4. Reciclagem a quente *in situ* (hot in-place recycling);

A reciclagem a quente *in situ* (figura 13) é definida como um procedimento de ação corretiva da superfície do pavimento asfáltico. Consiste na remoção mecânica da superfície asfáltica, mediante o aquecimento e consequente amolecimento.

A superfície retirada passa por um processo de envolvimento com o ligante asfáltico, no caso, o CAP, juntamente com os novos agregados e agente rejuvenescedores e por fim a mistura reciclada é colocada novamente sobre a superfície do pavimento (LIMA, 2003).

Figura 13- Reciclagem a quente in situ



Fonte: Silva, 2011.

3.4.3.5. Reciclagem de camadas do pavimento (*Full depth reclamation*)

Esse é um processo no qual as camadas do pavimento são incorporadas com a camada asfáltica do revestimento, com a adição ou não de materiais virgens, produzindo assim uma nova camada de base é utilizada na reabilitação de pavimentos desgastados. Esta técnica é considerada uma variação do método de reciclagem a frio, a diferença é o fato de se incorporar diferentes tipos de aditivos tais como: cal hidratada, cimento, agregados, emulsões, agentes, etc. Estes aditivos têm por finalidade dotar o pavimento velho de características físicas apropriadas a um pavimento novo (Araújo *et al.*, 2001 *Apud* Lima, 2003). A figura 14 ilustra esse processo.

Figura 14- Reciclagem com fresagem profunda



Fonte: TECNOPAV, 2017.

3.5. Agentes Rejuvenescedores (AR)

Ao longo dos anos, o ligante asfáltico vai perdendo algumas de suas propriedades e torna-se um pouco enrijecido, e como já foi mencionado, utilizam-se técnicas de reciclagem a frio ou a quente, afim de devolver as características iniciais do ligante e para isso são utilizados agentes rejuvenescedores, que são produtos feitos para funcionar como repositor de frações maltênicas do ligante envelhecido. A tabela 1, mostra a especificação brasileira para agentes rejuvenescedores (BERNUCCI, 2006).

Os agentes rejuvenescedores são usados para reciclagem a quente, tanto em usina quanto *in situ*. Para reciclagem a frio são utilizados agentes rejuvenescedores emulsionados (ARE). As especificações desta ainda se apresentam como o proposto pela Comissão de Asfalto do Instituto Brasileiro do Petróleo e Gás (IBP), mas já são utilizadas em várias obras de reciclagem. (BERNUCCI, 2006)

Tabela 1- Especificação brasileira para agentes rejuvenescedores (dnc 733/97)

Características	Unidade	Especificações					
		AR1	AR5	AR25	AR75	AR250	AR500
		Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.	Mín. Máx.
Viscosidade cinemática, 60°C	cSt	50 175	176 900	901 4.500	4.501 12.500	12.501 37.500	37.501 60.000
Ponto de fulgor (VAC) ¹	°C	218	218	218	218	218	218
Saturados	% massa	30	30	30	30	30	30
ECA, 163°C (Efeito do calor e do ar)							
Razão viscosidade ²	–	4	4	4	4	4	4
Varição de massa, máx.	%	4	4	3	3	3	3
Densidade 20/4°C		Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar	Anotar

¹VAC – Vaso Aberto de Cleveland.

²Razão de viscosidade = $\frac{\text{Viscosidade a } 60^{\circ}\text{C após RTFOT ou TFOT}}{\text{Viscosidade a } 60^{\circ}\text{C antes RTFOT ou TFOT}}$

Fonte: Bernucci, 2006

A oxidação é o principal responsável pelo envelhecimento do ligante, ocorre na maioria das vezes na usinagem, pois nessa etapa o ligante é revolvido a altas temperaturas chegando a ter um grau de envelhecimento de 60%. (Silva, 2011)

A seleção do tipo de AR a ser empregado no serviço de reciclagem dependerá das características de envelhecimento do ligante presente no revestimento a ser reciclado. Quanto mais envelhecido estiver o ligante asfáltico residual (medido em termos de penetração ou viscosidade) menos consistente deverá ser o AR a ser usado (SILVA, 2018).

Ao ser recuperado, o ligante envelhecido pode apresentar problemas na sua viscosidade devido a problemas de contaminação pelo solvente usado na extração do betume, isso influencia diretamente na quantidade ideal de AR para rejuvenescer o ligante (SILVA, 2018).

De acordo com a BETUNEL (2019), o uso do AR, apresenta uma série de vantagens em misturas recicladas, dentre elas podemos citar:

- É uma técnica de reciclagem consagrada no mundo;
- É um produto formulado em planta industrial e pronto para uso final;

- Gera uma economia de energia e de recursos naturais com o reaproveitamento parcial ou integral de material fresado;
- Redução de bota-fora de material fresado;
- Mantém as alturas originais da via, pontes, viadutos.

3.5.1. SYLVAROAD™ RP1000

O SYLVAROAD™ RP1000 (figura 15) é um agente rejuvenescedor da empresa denominada KRATON. Ele foi utilizado nesta pesquisa, é um aditivo que melhora a eficiência do pavimento reduzindo a necessidade de novos agregados e betume, diminuindo significativamente o impacto ambiental produzido pela construção de estradas.

Figura 15- SYLVAROAD™ RP1000



Fonte: Autor,2019.

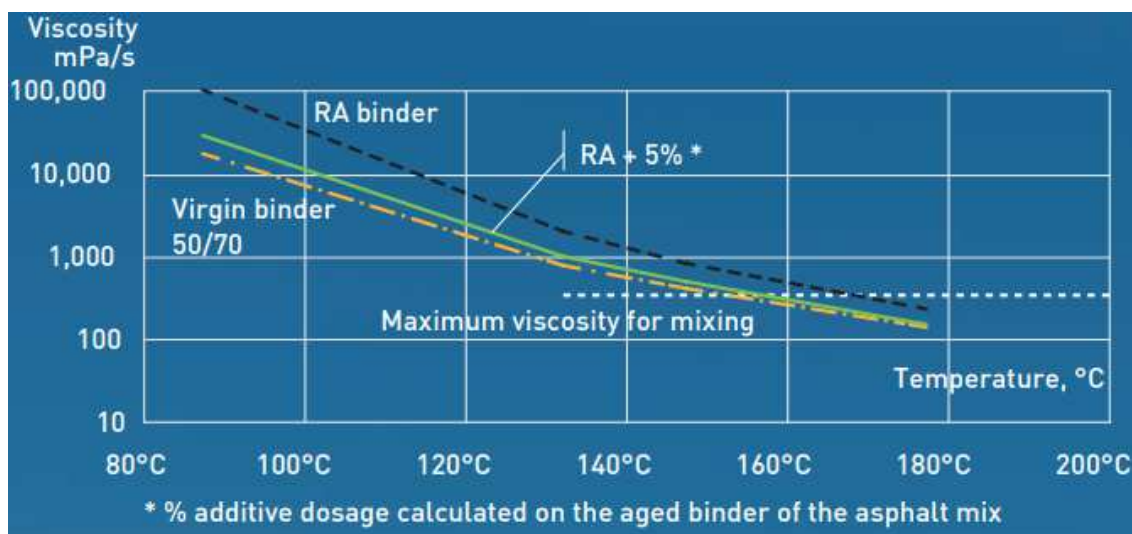
Derivado do petróleo, é uma matéria-prima renovável subproduto de indústria de papel, este aditivo de base biológica faz utilização eficaz dos recursos existentes para garantir construção mais segura e sustentável.

Menos de um quilo deste aditivo de desempenho é necessário por tonelada de asfalto para restaurar as propriedades originais e atender aos requisitos desafiadores da pavimentação (KRATON, 2019).

O produto é de fácil manuseio e armazenamento. Melhora a capacidade de produção e eficiência devido a aderência de betume de alta viscosidade em todo o processo. O aditivo é termicamente estável, mesmo em níveis elevados de temperaturas. Isso facilita a adição do produto para asfalto recuperado antes de entrar no tambor de aquecimento, o que otimiza o tempo de produção e fornece uma mistura mais eficiente (KRATON, 2019).

O produto melhora consideravelmente processabilidade na mistura em usina e no local, pela sua boa trabalhabilidade (gráfico 1). O grau de compactação também pode ser obtido em temperaturas mais baixas (KRATON,2019).

Gráfico 1- Efeito do aditivo na viscosidade



Fonte: KRATON, 2019.

4. METODOLOGIA

Para realização deste trabalho, alguns materiais foram coletados como CAP, brita, pó de brita, areia, filler e o material fresado chamado RAP. Estes materiais foram caracterizados fisicamente por meio de ensaios laboratoriais.

A amostra de RAP utilizada na pesquisa foi coletada na Rua José Sarney, bairro Tirirical, na cidade de São Luís. A fresagem foi realizada no dia 07 de setembro de 2018, com o auxílio de uma máquina fresadora da marca Wirtgen (figura 16). O processo foi realizado com uma profundidade de 3 cm, caracterizando assim uma fresagem rasa.

Figura 16- Máquina fresadora Wirtgen



Fonte: Matos, 2018

Foram levados cerca de 300 kg de material fresado para Universidade Estadual do Maranhão, onde foram objeto de estudo para trabalhos de monografias desde então.

O AR, utilizado na pesquisa, foi fornecido pela empresa Kraton Corporation Indústria e Comércio de Produtos Petroquímicos Ltda, localizada em Paulínia- SP.

Os demais materiais foram disponibilizados pelo Laboratório de Solos e Pavimentação (LSP) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA).

4.1. Ensaio Laboratoriais para os Agregados

O material coletado (RAP) foi levado para o Laboratório de Solos e Pavimentação da UEMA, onde ficou acondicionado e posteriormente devidamente homogeneizado, e teve sua amostra reduzida pelo método do quarteamento (figura 17) segundo a norma DNER-PRO 199/96.. O material fresado teve sua granulometria determinada com e sem ligante asfáltico, esse último obtido por meio do uso do aparelho rotarex.

Figura 17- Método do Quarteamento



Fonte: Autor, 2019.

4.1.1. Granulometria dos Materiais

A análise granulométrica dos materiais é de fundamental importância, pois tem influência direta no comportamento do revestimento asfáltico, determinando sua composição granulométrica e a dimensão máxima dos agregados. Essa análise foi feita conforme a norma DNER-ME 83/98.

Baseado no tópico 5.2 da norma DNER-ME 083-98, foram separadas amostras mínimas para o ensaio. Para brita 1 que tem dimensão máxima 25 mm, utiliza-se 10 kg, para o RAP (com e sem betume), brita 0, e pó de brita que tem dimensão máxima de 19 mm, utiliza-se 7 kg e para a areia e filler, considerados agregados miúdos, utiliza-se 1 kg de amostra.

Para a realização do ensaio, utilizou-se um conjunto de peneiras, dispostas de maneira que as peneiras de maior malha sejam seguidas das de menor malha (figura 18). Todos os materiais foram devidamente lavados e secos em estufa até constância de massa, em seguida são submetidas ao conjunto de peneiras e agitadas manualmente, o material retido em cada peneira é pesado para posterior cálculo das porcentagens passantes em cada uma, afim de obter a curva granulométrica de cada um deles.

Figura 18- Série de peneiras



Fonte: Autor, 2019.

4.1.2. Massa específica real e absorção

O ensaio de massa específica e absorção tem a finalidade de determinar as densidades aparentes dos agregados graúdos e suas respectivas absorções. Esses valores serão usados para posterior caracterização dos materiais na mistura asfáltica, pois eles auxiliarão na Determinação da Densidade Máxima teórica (DMT), e conseqüentemente implicarão do cálculo do volume de vazios, dentre outros parâmetros.

Esse ensaio foi executado conforme a norma do DNER 081/98, onde estabelece todos os equipamentos, materiais e mecanismos para realização do ensaio.

Como o ensaio foi realizado para os agregados graúdos, as amostras foram submetidas a peneira de abertura 4,8 mm, descartando assim, a fração passante, considerados agregados miúdos, os quais serão submetidos a outros ensaios de densidade. A massa mínima de amostra para os ensaios é determinada de acordo com a dimensão máxima do agregado conforme mostra a tabela 1 da referida norma.

Inicialmente a amostra é lavada e seca em estufa a temperatura até constância de massa, após isso, deixa-se a amostra resfriar ao ar, em seguida o agregado é imerso em água (figura 19) à temperatura ambiente, por um período de 24 horas (± 4).

Figura 19- Agregado imerso em água



Fonte: Autor,2019

Após o período submerso, retira-se o excesso de água do material com auxílio de um pano absorvente, isso para determinar a massa do agregado na condição saturada superfície seca (M_h). A próxima etapa é a obtenção da massa de água deslocada quando a amostra é submersa em água, obtida pelo princípio de Arquimedes, um recipiente com água e uma cesta são mobilizados sobre a balança através de uma haste e a amostra então é submersa, o valor mostrado na balança corresponde à massa de água deslocada (M_i) (figura 20), por fim a amostra é novamente levada para estufa afim de eliminar a água superficial e higroscópica, para a obtenção da massa seca em estufa (M_s).

Figura 20- Determinação do volume da fração graúda



Fonte: Autor, 2019.

A massa específica real (γ_s) e a absorção (a) são encontradas, respectivamente, com base nas fórmulas abaixo:

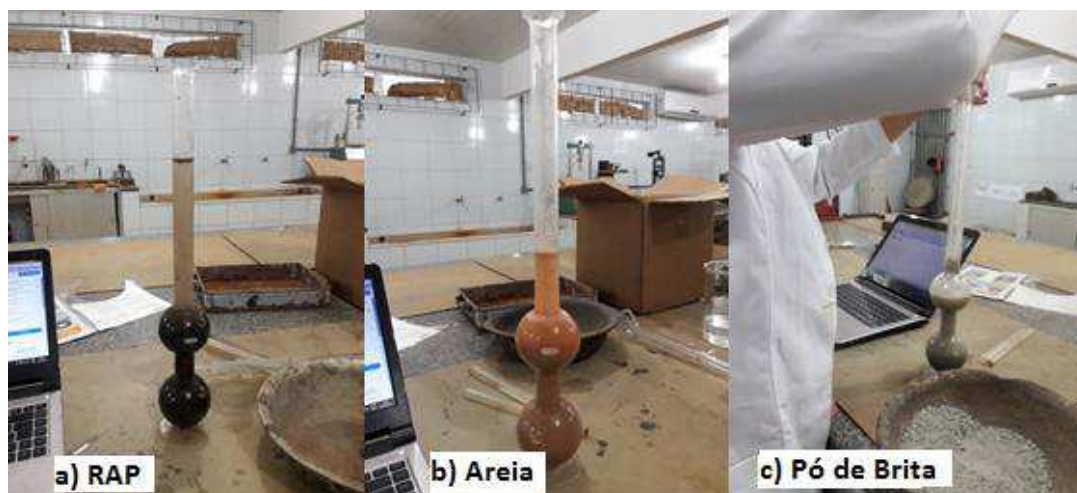
$$\gamma_s = \frac{M_s}{M_h - M_i} \quad (1)$$

$$a = \frac{M_h - M_s}{M_s} \times 100 \quad (2)$$

4.1.3. Massa específica do agregado miúdo

A massa específica dos agregados miúdos (areia, pó de brita e o miúdo do RAP), foram determinados por meio do frasco de Chapman, os procedimentos e equipamentos usados, são descritos na norma DNER- ME 194/98. Inicialmente os agregados são secos em estufa até a constância de massa, em seguida, foi inserido em um frasco Chapman (figura 21) 200 cm³ de água e, deixa-se um período de repouso para que a água aderida às faces do frasco escorram, então coloca-se 500 g do agregado miúdo seco, O frasco foi agitado para evitar a formação de bolhas de ar e foi feita a leitura do nível da água atingido no gargalo (L), que indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo.

Figura 21- Determinação da massa específica dos miúdos



Fonte: Autor, 2019.

A massa específica do agregado miúdo (γ) é calculada pela seguinte expressão:

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (3)$$

4.1.4. Massa específica do cimento

Este ensaio foi realizado conforme a norma DNER-ME 085/94 , que indica a utilização do frasco volumétrico *Le Chatelier* para a determinação da massa específica do cimento.

Separa-se uma massa de 60 g de cimento, coloca-se querosene no frasco *Le Chatelier* (figura 22) até atingir o intervalo de 0,0 cm³ a 1,00 cm³. Em seguida, o cimento é inserido dentro do frasco com querosene com auxílio de um funil para não perder material no ensaio. Logo após é feita a leitura final que o material atinge.

Figura 22- Determinação da massa específica do cimento



Fonte: Autor, 2019.

Para calcular a densidade do cimento (ρ), faz-se o uso da seguinte fórmula 4, em que “m” é a massa de cimento inserida no frasco *Le Chatelier* e “v” é o volume deslocado por essa massa:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (4)$$

4.1.5. Ensaio de Abrasão à Los Angeles

Os procedimentos e equipamentos utilizados estão descritos na norma DNER-ME 035/98. Esse ensaio fornece o desgaste sofrido pelo agregado quando colocado na máquina de “Los Angeles” (figura 23) juntamente com uma carga abrasiva, no caso são esferas de aço que pesam entre 390g com diâmetro de aproximadamente 47,6mm. Esse ensaio simula o desgaste que o próprio agregado sofre na sua usinagem e sob ação do tráfego.

Figura 23 - Máquina de abrasão a "Los Angeles"



Fonte: Autor, 2019

Para a execução do ensaio os materiais foram lavados e colocados em estufa para secarem, em temperatura entre 105°C e 110°C. as amostras ensaiadas devem ser enquadradas dentre as oito faixas da tabela 1 da referida norma. Com base nas faixas, as amostras são pesadas e inseridas na máquina "Los Angeles". Em seguida, também são inseridas esferas metálicas de acordo com a graduação escolhida. A máquina, devidamente fechada, inicia movimentos de rotações. Após 500 rotações, todo o material é retirado de dentro da máquina, separando-se as esferas. Logo após, o material é colocado na peneira de 1,7 mm, rejeitando o passante nessa peneira. Então lava-se, na própria peneira, todo material que ficou retido nela. Após isso, o material é seco em estufa com temperatura entre 105°C e 110°C, durante o tempo de pelo menos 3 horas e finalmente pesado.

O valor de abrasão "Los Angeles" é calculado a partir da seguinte equação:

$$A_n = \frac{M_n - M/n}{M_n} \times 100 \quad (5)$$

Onde:

- n – Graduação escolhida, de acordo com a norma;
- An – Abrasão a Los Angeles da graduação n, em %;

- Mn – Massa total da amostra colocada na máquina, em g;
- M'n - Massa da amostra lavada na peneira 1,7 mm, em g.

4.1.6. Índice de forma do agregado

O índice de forma é um parâmetro que permite analisar a estrutura do agregado graúdo, verificando sua forma, através do cálculo de um fator que determinará se o agregado é bom ou não para a pavimentação. Em geral, os agregados cúbicos são melhores do que os lamelares para utilização na pavimentação.

Todo o material retido na peneira de abertura 50,8 mm é dispensado para o ensaio.

Para realizar o ensaio, é necessário saber a granulometria do material ensaiado e assim de verificar a quantidade necessária de grãos, para cada fração granulométrica. A fórmula do cálculo da fração necessária é de:

$$N_i = \frac{200}{\sum_{i=1}^n F_i} \times F_i \quad (6)$$

O ensaio consiste basicamente em realizar medidas das seguintes dimensões de uma amostra de 200 grãos com a utilização de um paquímetro (figura 25): comprimento (a), largura (b) e espessura (c). a norma que descreve todo o procedimento é a ABNT NBR 7809/2005. O agregado é classificado conforme o quadro 1.

Quadro 1- Classificação da forma das partículas

Média das relações b/a e c/b	Classificação da forma
b/a > 0,5 e c/b > 0,5	Cúbica
b/a < 0,5 e c/b > 0,5	Alongada
b/a > 0,5 e c/b < 0,5	Lamelar
b/a < 0,5 e c/b < 0,5	Alongada-lamelar

Fonte: adaptado de Bernucci, *et al*, 2006

Figura 24- Medição dos agregados



Fonte: Autor, 2019.

4.1.7. Ensaio de Adesividade

A adesividade de um agregado ao material betuminoso é a propriedade que o agregado tem de ser aderido pelo ligante, e é normatizado pelo DNER-ME 078/94. Esse ensaio é importante para a avaliação de viabilidade do agregado na via, pois se o recobrimento não for satisfatório, pode comprometer a qualidade do pavimento.

A amostra a ser ensaiada, cerca de 500g, deve ser selecionada entre duas peneiras, as de abertura 19mm e 12,7mm, em seguida, deve ser lavada e colocada dentro da água destilada por 1 minuto. Logo após levar a amostra para estufa a 120°C e deixar por duas horas. Em seguida, o ligante é aquecido em estufa a 120°C e o agregado a 100°C, ao atingirem as temperaturas, é colocado sobre o agregado 17,5g de ligante e com o auxílio de uma espátula, dá-se o completo envolvimento.

O agregado já envolvido é colocado sobre uma superfície lisa (figura 25) para que esfrie. Em seguida, é colocada em um béquer totalmente recoberto com água destilada (figura 26) e levado para estufa à 40°C, durante 72 horas.

Figura 25- Agregado revolvido



Fonte: Autor, 2019.

Figura 26- Agregado revolvido e submerso



Fonte: Autor, 2019.

O resultado é dito satisfatório quando não houver nenhum deslocamento do ligante depois das 72 horas.

4.1.8. Equivalente de Areia

Este ensaio regulamentado pela norma DNER-ME 055/97, tem como objetivo determinar a quantidade real de areia presente em amostras de agregado miúdo. Para a execução deste ensaio o material é passado na peneira de abertura 4,8 mm, e colocado em uma cápsula. A solução diluída em água destilada é colocada a 1 m acima da mesa, em seguida assopra-se um tubo que está interligado ao garrafão, para que a solução seja colocada dentro da proveta até alcançar a marca de 10 cm (Figura 27A). Com o auxílio de um funil, a amostra é colocada dentro da proveta (Figura 27B)., devendo-se bater no fundo da mesma a fim de expulsar as bolhas de ar, após isso, o material é deixado em repouso por 10 minutos. Passando esse período, coloca-se uma rolha tampando a proveta e agita-se horizontalmente (Figura 27C)., a amostra durante 30 segundos. A proveta é colocada em cima da mesa e suas faces internas são lavadas, preenche-se até a outra marca (Figura 27D) e deixa-se repousar durante 20 minutos (Figura 27E). Após esse período mede-se a partir da base da proveta a altura da argila em suspensão (H_2), em seguida é introduzido um pistão quando a base do pistão toca uma parte fixa, mede-se a altura do agregado sedimentado (H_1) (Figura 27F).

O valor do equivalente de areia é obtido a partir da seguinte equação:

$$EA = \frac{H_2}{H_1} \times 100 \quad (7)$$

Figura 27- Procedimento do ensaio de EA



Fonte: Autor, 2019.

4.2. Extração do Ligante da Mistura Asfáltica (Rotarex)

A extração do ligante é a separação do ligante asfáltico e dos agregados presentes nas misturas asfálticas, esse procedimento é feito para obtenção do teor de betume da mesma.

A máquina Rotarex (figura 28) é o equipamento utilizado para realização do ensaio, ela possui um motor que possibilita a rotação de um prato interno, gerando uma força centrífuga necessária para o experimento.

Figura 28- Rotarex



Fonte: Autor, 2019.

O ensaio seguiu os procedimentos presentes na norma DNER-ME 053/94, baseado nela, a amostra deve ser submetida à estufa em uma temperatura entre 100°C a 120°C, durante 1 hora, em seguida separar cerca de 1000 gramas dessa amostra e levar para o rotarex.

Inicialmente, adiciona-se 150 ml de solvente na amostra (neste trabalho, foi utilizado gasolina comum), e deixa-se em repouso durante 15 minutos, em seguida é colocada sobre o prato, um filtro circular com um furo central, então a tampa é fechada e inicia-se a centrifugação, até que o solvente juntamente com o CAP envelhecido comece a escoar pelo tubo lateral, quando termina-se o escoamento é adicionado mais solvente, e o procedimento se repete até que o solvente saia o mais “puro” possível. Nesse ponto, a amostra é levada para estufa até a constância de massa.

A porcentagem de betume então é calculada pela seguinte expressão:

$$\%Betume = \frac{Massa_{inicial} - Massa_{final}}{Massa_{inicial}} \times 100 \quad (8)$$

4.3. Ensaio para Ligante Asfáltico

4.3.1. Ensaio de penetração

A norma que descreve todos os procedimentos e equipamentos do ensaio é a NBR 6576/2007, e tem como objetivo verificar a consistência do CAP medida através do ensaio de penetração a 25º C.

Os equipamentos usados (figura 28) são: uma agulha padronizada de 100g, um penetrômetro calibrado e um recipiente cilíndrico para colocar a amostra.

Figura 29- Equipamentos para ensaio de penetração



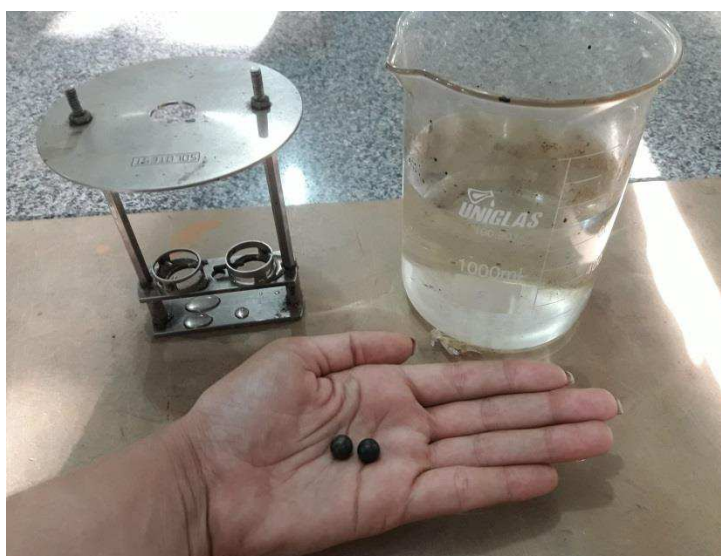
Fonte: autor, 2019

Para a realização desse ensaio a amostra é colocada no banho maria à temperatura de 25°C, em seguida, a amostra é posicionada sobre o equipamento e a agulha, posicionada sobre ela, sem que haja perfuração, tocando apenas na superfície do CAP, através de um acionar, a agulha padronizada penetra numa amostra de CAP por 5 segundos, então anota-se a penetração, esse processo é realizado em três pontos distintos para cada amostra, três é o suficiente. A dureza de um CAP é inversamente proporcional à penetração da agulha.

4.3.2. Ponto de Amolecimento (método anel e bola)

Este ensaio é normatizado pela DNIT-ME 131/2010, determinando que o CAP deve ser aquecido a uma temperatura de 135°C a fim de deixá-lo. A determinação do ponto de amolecimento tem o objetivo de encontrar a temperatura em que o ligante asfáltico se torna fluido. Utiliza-se neste ensaio o procedimento conhecido como “anel e bola” (Figura 30), que consiste em colocar o ligante dentro de um anel metálico de dimensões padronizada com 15,8 mm de diâmetro e 6,4 mm de altura, preenchendo-o completamente. Em seguida coloca-se uma esfera em cada anel preenchido com ligante. Coloca-se o conjunto anel e bola dentro de um Becker forma que fiquem de 13 a 19 mm do fundo do Becker.

Figura 30- Equipamentos Anel e bola



Fonte: Autor, 2019

Aquece-se o conjunto e anota-se a temperatura em que o ligante se distende até tocar o fundo, esta temperatura será o ponto de amolecimento do ligante.

4.3.3. Ensaio de viscosidade Saybolt-Furol

Outro ensaio para saber a consistência do CAP, é o de viscosidade, existem vários métodos para determinar, mas o mais utilizado no Brasil é o Saybolt-Furol (figura 31).

Figura 31- Viscosímetro Saybolt-Furol



Fonte: Autor, 2019.

O ensaio é regulado pela norma da ABNT NBR 14950/2003, onde estabelece algumas temperaturas padronizadas para caracterizar o ligante: 121°C, 135°C, 149°C, 163°C, 177°C, 204°C e 232°C. Os materiais necessários além da máquina, é um cronômetro, um termômetro e um frasco receptor de vidro. Uma amostra de 450 g, é aquecida a temperatura de ensaio desejada, acrescida de 10 a 15°C sob a placa de aquecimento. Depois do posicionamento da amostra no tubo de viscosidade, inicia-se o cronômetro e a amostra é liberada, passando por um orifício caindo no frasco receptor, quando alcançar a marca de 60 ml, no cronômetro, verifica-se quanto tempo durou até atingir a marca. Esse processo é repetido para as sete temperaturas.

Ao fim do procedimento é gerado um gráfico onde a linha intermediária define as temperaturas para as determinadas viscosidades. Para a confecção dos

corpos de prova é necessário que se avalie duas faixas principais: entre 75 sSf (Segundos, Saybolt-Furol) e 150 sSF, e entre 125 e 155, para mistura e compactação, respectivamente. Para a preparação da mistura o ligante deve estar entre 107°C e 177°C e dos agregados 10°C a 15°C acima da do ligante.

4.4. Dosagens das Misturas

A maioria dos procedimentos de dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente segue uma metodologia baseada no estudo do ligante envelhecido para a determinação do teor de ligante novo e do agente rejuvenescedor que será adicionado. Existem várias propostas para a dosagem de misturas asfálticas recicladas a quente. As mais utilizadas são as do *Asphalt Institute* (1986), e a metodologia SUPERPAVE, porém este estudo é de cunho comparativo, as dosagens foram feitas pelo método Marshall utilizado no trabalho de Heluy (2018).

4.4.1. Dosagem Marshall

A dosagem Marshall é de fundamental importância, pois a partir dela, é possível calcular alguns parâmetros necessário para as misturas asfálticas, inclusive o teor ótimo de ligante, que é o teor utilizado no projeto (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Para início das moldagens, deve-se obter os valores de densidade real e granulometria de todos os componentes da mistura, no caso o CAP, areia, filler, pó de brita, brita 0 e brita 1 e RAP. A porcentagem de RAP selecionada para estudo foi baseada em um estudo anterior a este, já foi considerada boa para reutilização em revestimentos asfálticos, a composição granulométrica da mistura foi feita pelo método das tentativas. As porcentagens de ligantes usadas foram definidas a partir de um teor piloto variando de -0,5%, -1,0%, +0,5% e +1,0% do material.

Foram cinco teores diferentes de ligante e três de AR, e para cada um foram moldados quatro corpos de prova.

De acordo com Castro Neto (2000), a porcentagem de AR a ser utilizada em uma mistura estará em uma faixa de 0 a 30% da quantidade de ligante envelhecido. Assim foram definidos três teores variando em $\pm 0,5\%$, foram eles: 15%, 20%, 25% sobre o teor de CAP envelhecido, para cada porcentagem de CAP

novo. A partir disso são confeccionados corpos de prova com massa aproximada de 1200g.

A mistura e moldagem dos corpos de prova devem ser feitas nas temperaturas adequadas. Quando chegam a essa temperatura é feita a homogeneização e são levadas para compactar em moldes de aproximadamente 110 mm de diâmetro e 90 mm de altura, sendo aplicados neles 75 golpes de cada lado com pressão entre 7 e 14 kgf/cm². Esses CP's são deixados a temperatura ambiente durante 12 horas no mínimo, para serem desmoldados.

Em seguida são medidas alturas, diâmetros, peso seco e submerso dos corpos de prova para cálculos de parâmetros como: Vv(Volume de vazios), V (volume dos CP's), G_{md} (Massa específica aparente da mistura), VAM (Vazios do agregado mineral), e a relação betume/vazios (RBV).

Ao final de todos esses procedimentos é definido um teor ótimo de ligante baseado em um Vv de 4%, mas existem outros métodos, considerando a estabilidade, e a G_{md}. Ao ser definido o teor ótimo de ligante e AR, moldam-se os corpos de prova definitivos para obtenção da resistência à tração e estabilidade Marshall.

4.4.2. Estabilidade

A estabilidade Marshall é definida como a resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo de prova, quando é moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido nesse método expressa em N ou Kgf (SILVA, 2011).

A norma que rege esse ensaio é a DNER-ME 043/95. De acordo com essa norma os CP's deverão ser colocados a 60°C, por um período médio de 30 minutos, em seguidas são colocados no molde de compressão (figura 32), e são colocados na máquina Marshall (figura 33) e então submetidas até uma carga N necessárias para romper o corpo de prova.

Figura 32- Molde de compressão



Fonte: Autor, 2019.

Figura 33- Máquina Marshall



Fonte: Autor, 2019.

Baseado na norma 043/96, de acordo com a altura do corpo de prova, a altura deverá ser corrigida por um fator f , calculado através da fórmula:

$$f=927,23 \times h^{-1,64} \quad (9)$$

O valor da estabilidade Marshall é o valor lido multiplicado por esse fator.

4.4.3. Resistência a Tração por compressão diametral

“A resistência à tração corresponde à máxima tensão que um corpo de prova pode suportar quando este é submetido a um carregamento estático de compressão ao longo do plano diametral, até a ruptura” (SILVA, 2011).

O ensaio é executado conforme a norma: DNER-ME 138/94. Onde é feito a partir da dosagem Marshall, usando um molde de aço com friso (figura 34) e a máquina Marshall, com temperatura entre 25°C e 60 °C.

Figura 34- Molde para ensaio de RT com friso



Fonte: Autor,2019.

Figura 35- Corpo de prova sob pressão



Fonte: Autor,2019.

O corpo de prova é posicionado na máquina (figura 35) e nele é aplicado uma pressão de aproximadamente 0,8 mm por segundo, o valor da carga de ruptura (F_R), é registrado no equipamento. A resistência a tração por compressão diametral é calculada através da fórmula:

$$RT = \frac{2F_R}{100 \times \pi \times D_{cp} \times h_{cp}} \quad (IX)$$

Onde:

- RT = Resistência à tração, Mpa;
- F_R = Carga de ruptura, N;
- D_{cp} = Diâmetro do corpo de prova em cm;
- h_{cp} = Altura do corpo de prova, em cm;

4.4.4. Desgaste Cântabro

Esse ensaio tem como objetivo determinar o desgaste à abrasão das misturas asfálticas, utilizando os corpos de provas obtidos através da metodologia Marshall, a norma que descreve os procedimentos e equipamentos é a norma DNER-ME 383/99. Os equipamentos usados são: a máquina Los Angeles, sem a carga abrasiva e uma balança com capacidade de 5kg.

A amostra ensaiada é submetida a 300 revoluções a uma velocidade de 30 rpm dentro da máquina. Em seguida, o corpo de prova é retirado da máquina e pesado. Através da seguinte expressão pode-se calcular o desgaste sofrido:

$$A = \frac{P - P'}{P} \times 100 \quad (10)$$

Onde:

- A = Desgaste da mistura
- P = Peso inicial do corpo de prova
- P' = Peso após o ensaio

5. RESULTADOS E ANÁLISES

De acordo com as normas regulamentadoras, foram realizados diversos ensaios com o material fresado, o material virgem, ligante asfáltico e posteriores misturas asfálticas. Todos os resultados destes ensaios serão analisados a seguir:

5.1. Ensaio para os Agregados

5.1.1. Granulometria

Para todos os agregados estudados: areia, pó de brita, filler, brita 1, brita 0 e RAP, foi feita a análise granulométrica a fim de verificar o posterior enquadramento da mistura de tais materiais em algumas das faixas do DNIT.

5.1.1.1. Areia

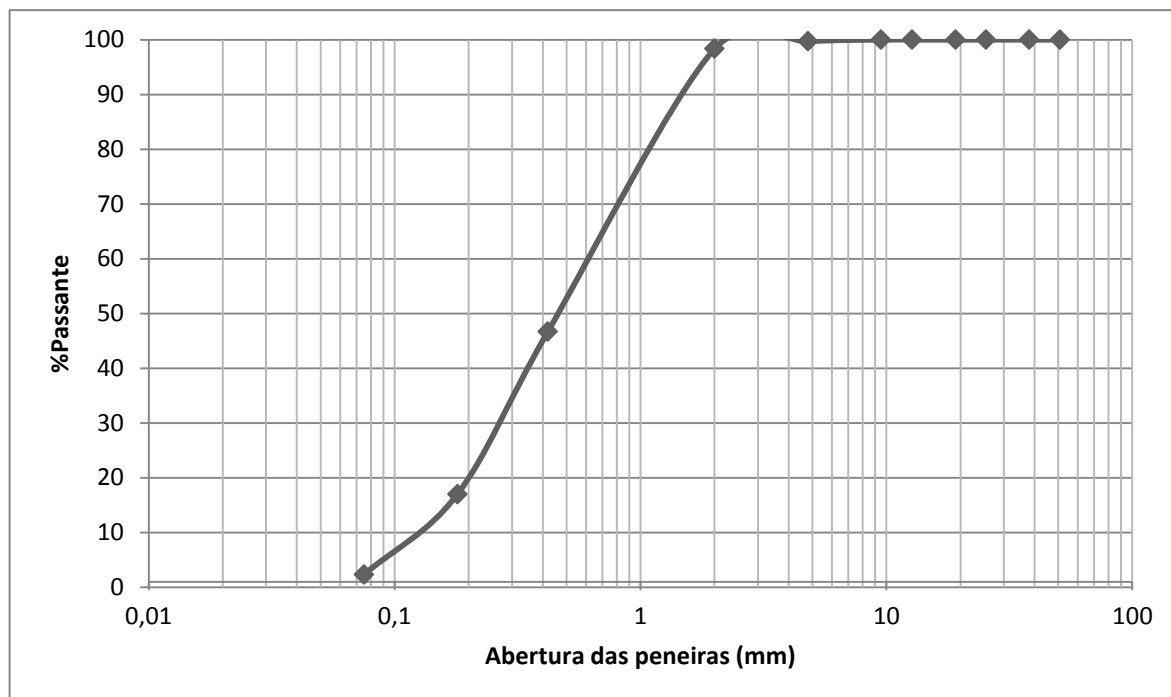
A partir do peneiramento da areia, calculou-se a porcentagem passante expressa no quadro 2 e assim gerado a curva granulométrica expressa no gráfico 2.

Quadro 2- Granulometria da Areia

AREIA		
Peneira	Abertura (mm)	% Passante
2"	50,8	100,00
1 1/2"	38,1	100,00
1"	25,4	100,00
3/4"	19,1	100,00
1/2"	12,7	100,00
3/8"	9,5	100,00
4"	4,8	99,71
10	2	98,35
40	0,42	46,72
80	0,18	16,99
200	0,075	2,30

Fonte: Autor, 2019

Gráfico 2- Curva granulométrica da Areia



Fonte: Autor, 2019.

Conforme a curva granulométrica da areia, este material tem granulometria contínua, ou seja, possui grãos com diferentes diâmetros.

5.1.1.2. Pó de Brita

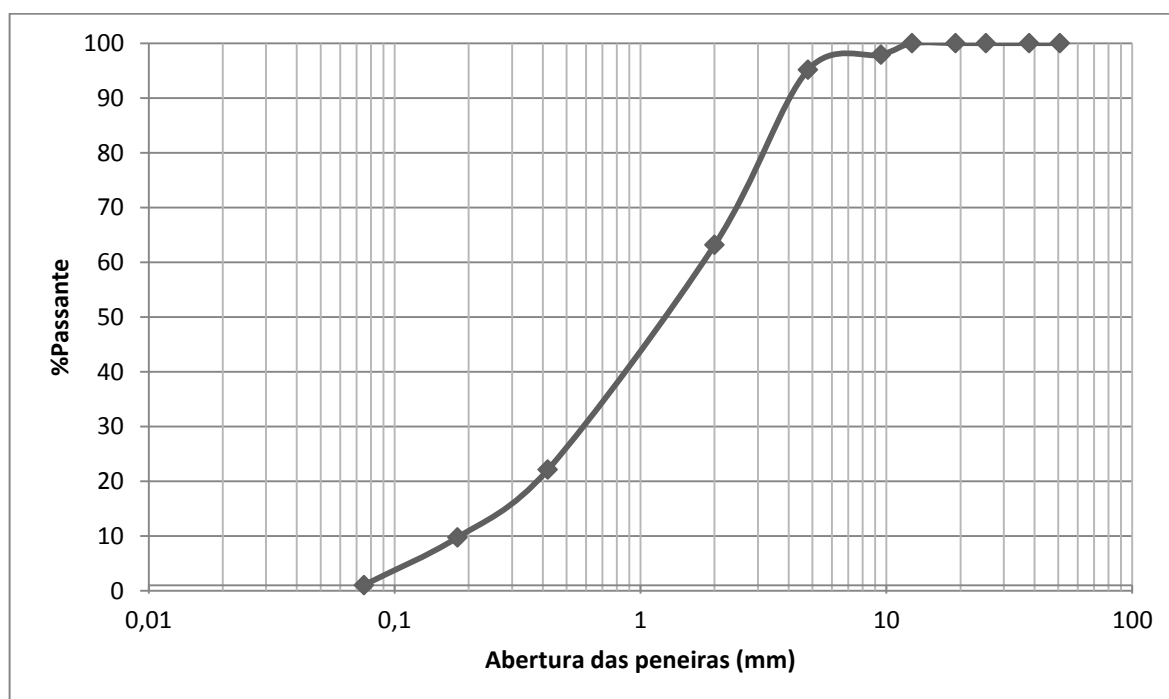
A partir do peneiramento do pó de brita, calculou-se a porcentagem passante expressa no quadro 3 e assim gerada a curva granulométrica expressa no gráfico 3.

Quadro 3- Granulometria do pó de brita

PÓ DE BRITA		
Peneira	Abertura (mm)	% Passante
2"	50,8	100
1 1/2"	38,1	100
1"	25,4	100
3/4"	19,1	100
1/2"	12,7	100
3/8"	9,5	97,89
4"	4,8	95,12
10	2	63,14
40	0,42	22,11
80	0,18	9,71
200	0,075	1,02

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 3- Curva granulométrica do pó de brita



Fonte: Autor, 2019.

Conforme a curva granulométrica da areia, este material tem granulometria contínua, ou seja, possui grãos com diferentes diâmetros.

5.1.1.3. Filler

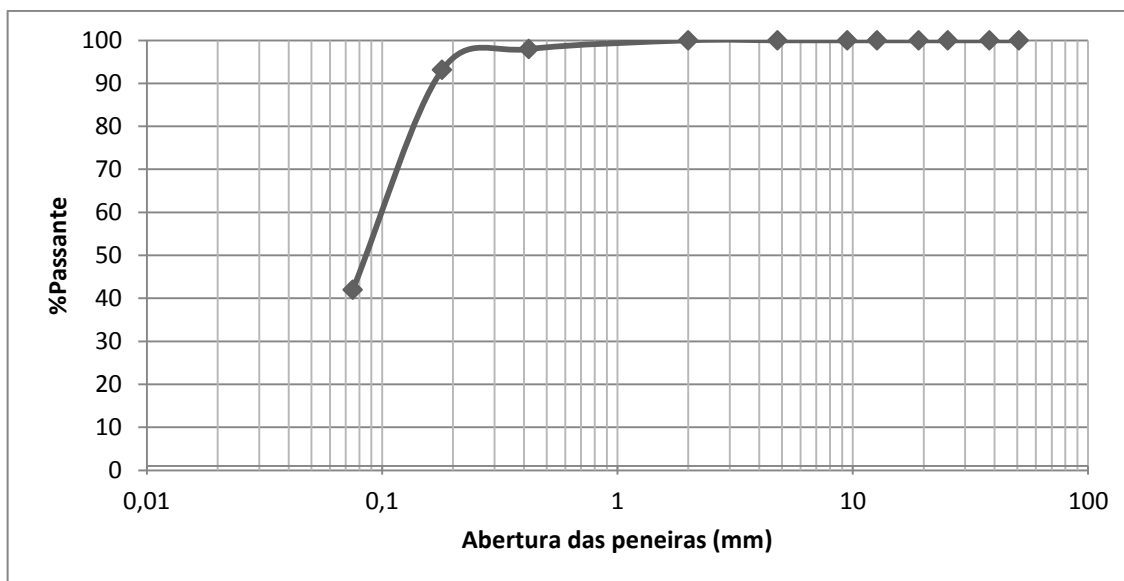
A partir do peneiramento material de enchimento, o cimento Portland, calculou-se a porcentagem passante expressa no quadro 4 e assim foi gerado a curva granulométrica expressa no gráfico 4.

Quadro 4- Granulometria do filler

FILLER		
Peneira	Abertura (mm)	% Passante
2"	50,8	100
1 1/2"	38,1	100
1"	25,4	100
3/4"	19,1	100
1/2"	12,7	100
3/8"	9,5	100
4"	4,8	100
10	2	100
40	0,42	97,97
80	0,18	93,13
200	0,075	42,01

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 4- Curva granulométrica do Filler



Fonte: Autor, 2019.

A partir da análise do gráfico, observou-se uma grande quantidade de material fino.

5.1.1.4. Brita 0

A partir do peneiramento pó de brita, calculou-se a porcentagem passante expressa no quadro 5 e assim gerado a curva granulométrica expressa no gráfico 5.

Quadro 5 - Granulometria da brita 0

BRITA 0		
Peneira	Abertura (mm)	% Passante
2"	50,8	100
1 1/2"	38,1	100
1"	25,4	100
3/4"	19,1	100
1/2"	12,7	99,45
3/8"	9,5	75,89
4"	4,8	11,97
10	2	0,58
40	0,42	0,41
80	0,18	0,25
200	0,075	0,05

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 5- Curva granulométrica da brita 0

Fonte: Autor, 2019.

5.1.1.5. Brita 1

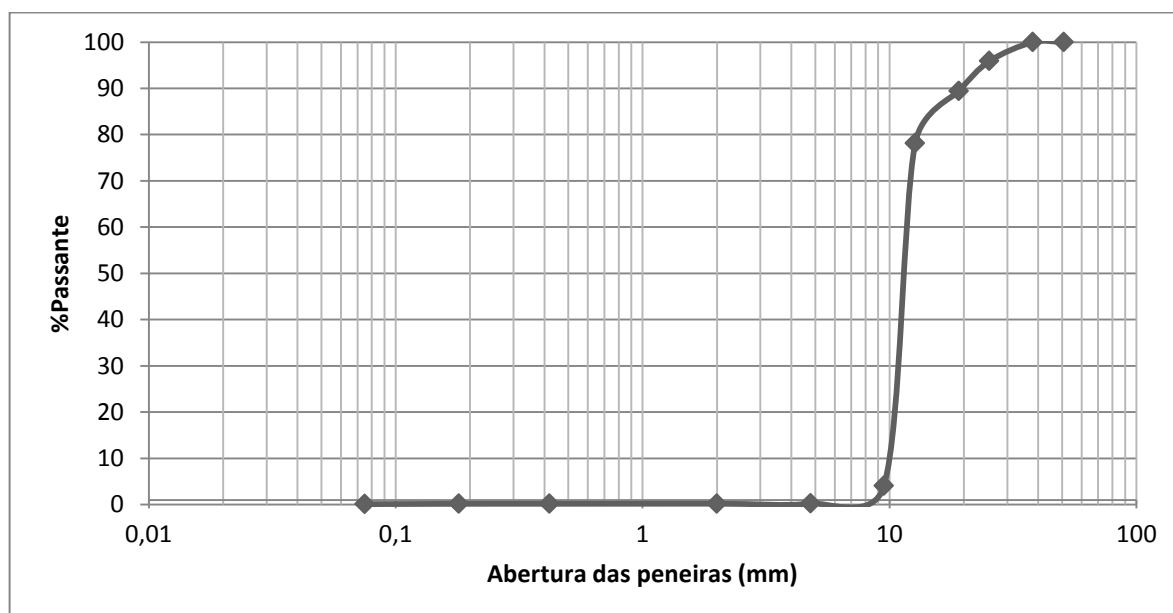
A partir do peneiramento material de enchimento, o cimento Portland, calculou-se a porcentagem passante expressa no quadro 6 e assim foi gerado a curva granulométrica expressa no gráfico 6.

Quadro 6- Granulometria da brita 1

BRITA 1		
Peneira	Abertura (mm)	% Passante
2"	50,8	100
1 1/2"	38,1	100
1"	25,4	95,89
3/4"	19,1	89,41
1/2"	12,7	78,1
3/8"	9,5	4,07
4"	4,8	0,22
10	2	0,19
40	0,42	0,17
80	0,18	0,16
200	0,075	0,09

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 6- Curva granulométrica da brita 1



Fonte: Autor, 2019.

5.1.1.6. RAP

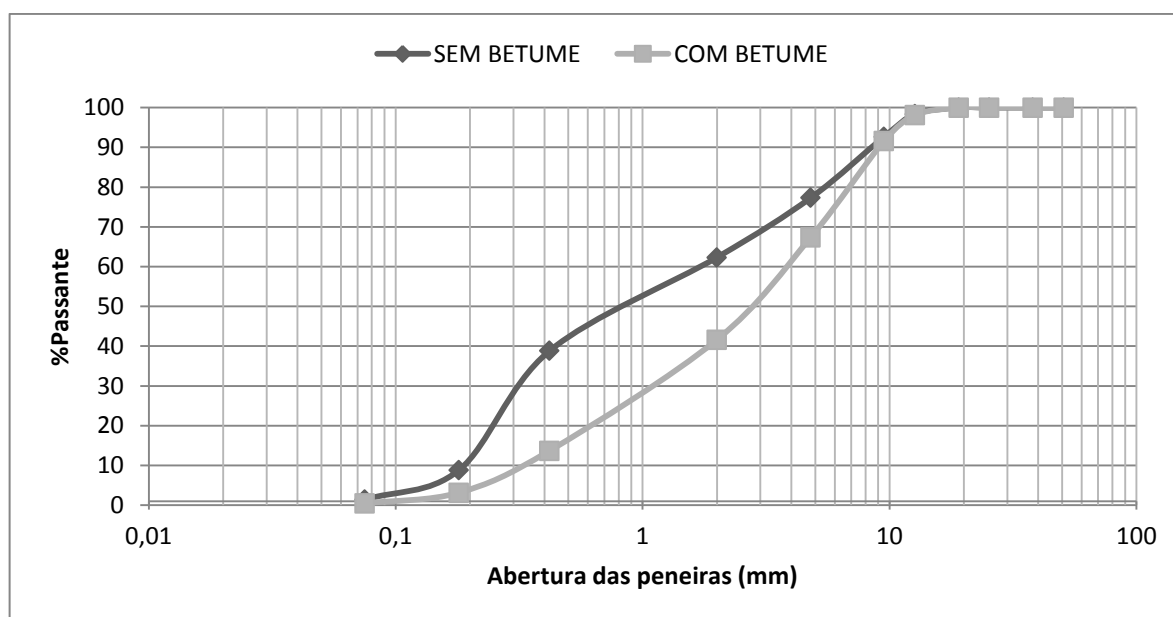
Para o RAP, foram feitos dois peneiramentos com e sem betume, cujos resultados obtidos estão expressos no quadro 7, e nas curvas granulométricas no gráfico 7.

Quadro 7- Granulometria do RAP

RAP		SEM BETUME	COM BETUME
Peneira	Abertura (mm)	% Passante	% Passante
2"	50,8	100	100
1 1/2"	38,1	100	100
1"	25,4	100	100
3/4"	19,1	100	100
1/2"	12,7	98,38	98,16
3/8"	9,5	92,65	91,62
4"	4,8	77,32	67,40
10	2	62,31	41,61
40	0,42	38,83	13,69
80	0,18	8,79	3,14
200	0,075	1,38	0,43

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 7- Curvas granulométricas do RAP



Fonte: Autor, 2019.

As misturas foram feitas a partir do RAP com betume.

5.1.2. Massa específica real e absorção

5.1.2.1. Brita 1, Brita 0 e RAP

Para determinação da densidade dos agregados graúdos, como a brita 1, brita 0 e a fração graúda do RAP, utilizou-se o princípio de Arquimedes para o cálculo do volume. Os valores das densidades estão expressos na tabela 2 para os respectivos materiais.

Tabela 2- Resultados das massas específicas dos graúdos

RESULTADOS	BRITA 1	BRITA 0	RAP
Massa Seca (g)	2398,9	2127,1	2124,6
Massa Superfície Seca (g)	2430,1	2150,2	2140,3
Massa Submersa (g)	966,1	820,4	900,2
Massa Específica (g/cm ³)	2,483	2,593	2,360
Absorção (%)	1,28	1,07	0,73

Fonte: Autor, 2019.

5.1.2.2. Massa específica do agregado miúdo

Para os agregados miúdos como a areia, pó de brita e a fração miúda do RAP, foi utilizado o frasco Chapman para medir a densidade de cada um dos materiais. Os resultados estão expressos na tabela 3.

Tabela 3- Resultados das massas específicas dos miúdos

	Areia	Pó de Brita	RAP
L(mm)	388	380	433
d(g/cm³)	2,660	2,778	2,146

Fonte: Autor, 2019.

Para o cálculo da densidade final do RAP, fez-se uma média ponderada entre o valor obtidos para a fração miúda e para a fração graúda, os valores estão expressos na tabela 4.

Tabela 4- Resultado final da densidade do RAP

RAP		%
Densidade Miúdo (g/cm³)	2,146	71,3
Densidade Graúdo (g/cm³)	2,362	28,7
Média	2,207	

Fonte: Autor, 2019.

Para o material de enchimento filler, foram obtidas as seguintes leituras conforme a tabela 5.

Tabela 5- Resultado da massa específica do filler

FILLER	
Leitura Inicial (mm)	0
Leitura Final (mm)	20,7
Densidade (g/cm³)	2,899

Fonte: Autor, 2019.

5.1.3. Abrasão a Los Angeles

5.1.3.1. RAP

O valor do desgaste encontrado para o RAP, foi em média 43,78% (tabela 6) valor considerado satisfatório segundo a norma DNIT 033/2005 e DNIT 034/2005, onde o valor máximo permitido é 50%.

Tabela 6 -Resultado do Abrasão para o RAP

RAP			
Peso Amostra Inicial	Peso Amostra Final	Abrasão a Los Angeles	Média
5000	2778,7	44,43%	43,78%
4998,6	2842	43,13%	

Fonte: Autor, 2019.

5.1.3.2. Brita 1

Para brita 1, o valor do desgaste foi de 17,5% (tabela7), resultado considerado satisfatório de acordo com as normas vigentes:

Tabela 7- Resultado do Abrasão para brita 1

RAP			
Peso Amostra Inicial	Peso Amostra Final	Abrasão a Los Angeles	Média
4997,9	4129,8	17,36%	17,50%
5000	4117,9	17,64%	

Fonte: Autor, 2019.

5.1.3.3. Brita 0

A brita 0 também pode ser utilizada em misturas asfálticas, visto que seu desgaste foi de 19,45% (tabela 9), valor satisfatório segundo as normas mencionadas acima.

Tabela 8- Resultados do Abrasão para brita 0

RAP			
Peso Amostra Inicial	Peso Amostra Final	Abrasão a Los Angeles	Média
4997,9	4000,2	19,95%	19,45%
5000	4053	18,94%	

Fonte: Autor, 2019

5.1.4. Ensaio de Adesividade

A adesividade do agregado é considerada satisfatória quando não há desprendimento parcial ou total do ligante, na figura 36, observa-se que o resultado foi insatisfatório de acordo com a norma DNER-ME 078/94.

Figura 36- Resultado do ensaio de adesividade



Fonte: Autor, 2019.

Como o resultado mostrou-se insatisfatório, faz-se necessário a adição de um melhorador de adesividade, o DOPE por exemplo. Esse aditivo modifica a característica de ligação entre agregado e ligante, aprimorando-a.

5.1.5. Equivalente de Areia

A partir deste ensaio é possível verificar o grau pureza do material, foram feitas duas amostras para obter um valor médio do equivalente de areia como mostra a tabela 9:

Tabela 9- Resultados do equivalente de areia

AREIA			
Amostra 1		Amostra 2	
Leitura Inicial (mm)	13,5	Leitura Inicial (mm)	13,4
Leitura Final (mm)	9,9	Leitura Final (mm)	10,1
Equivalente de Areia (%)	73,33	Equivalente de Areia (%)	75,37
Equivalente de Areia Médio		74,35%	

Fonte: Autor, 2019

Esse resultado é considerado satisfatório de acordo com a especificação da norma DNIT 031/2006 que define que o equivalente de areia deve ser igual ou superior a 55%.

5.1.6. Ensaio de Índice de Forma

Segundo as especificações da norma DNIT 031/2006, o valor do índice de forma deve ser superior a 0,5, classificando os agregados como cúbicos. O quadro 8 mostra o resumo da classificação do RAP e da brita 1.

Quadro 8- Resultados do índice de forma dos materiais

Relação	RAP	BRITA 1
	MÉDIA	
b/a	0,8	0,73
c/b	0,75	0,67

Fonte: Autor, 2019.

As medidas das dimensões de cada um estão apresentadas nos apêndices A para brita 1 e B para o RAP.

5.2. Extração do Betume

Esse ensaio é de suma importância, pois é através dele que é verificado a quantidade de ligante residual presente no RAP, e assim adicionar a quantidade de agente rejuvenecedor observando sua influência nas características mecânicas da mistura. O RAP foi submetido ao equipamento Rotarex três vezes e foram obtidos os seguintes valores expressos na tabela 10.

Tabela 10- Resultados da Extração de betume

Ensaio Rotarex					
Amostra 1		Amostra 2		Amostra 3	
Massa Inicial (g)	1000	Massa Inicial (g)	989	Massa Inicial (g)	1000
Massa Final (g)	945,3	Massa Final (g)	939,2	Massa Final (g)	950,1
Porcentagem de Betume	5,47%	Porcentagem de Betume	5,04%	Porcentagem de Betume	4,99%
Porcentagem de Betume Média					
5,17%					

Fonte: Autor, 2019.

5.3. Ensaio para o ligante

5.3.1. Ensaio de penetração

A tabela 11 mostra os resultados das leituras para três amostras de CAP, onde foram realizadas penetrações em três lugares distintos de cada uma das amostras.

Tabela 11-Resultados do ensaio de penetração

Ensaio de Penetração					
	Leitura Inicial	Leitura Final	Penetração (mm)	Média	Situação
AMOSTRA 1	55	121	66	65	SATISFATÓRIA
	118	182	64		
	133	198	65		
AMOSTRA 2	136	200	64	63	SATISFATÓRIA
	200	263	63		
	94	156	62		
AMOSTRA 3	189	251	62	63,7	SATISFATÓRIA
	230	293	63		
	84	150	66		
Penetração Média					
63,9					

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com as especificações da ANP (2005), os valores de penetração podem variar de 50mm a 70mm, portanto, os valores são considerados satisfatórios.

5.3.2. Ponto de amolecimento

Para ponto de amolecimento a temperatura mínima aceitável é de 45°C, os resultados encontrados foram considerados satisfatórios (tabela 12).

Tabela 12- Resultados do ponto de amolecimento

Ponto de amolecimento(°C)		Média (°C)
Ensaio 1	54,5	52,7
Ensaio 2	49	
Ensaio 3	54,5	

Fonte: Autor, 2019.

5.3.3. Viscosidade Saybolt-Furol

Para cada temperatura foram obtidos os valores expressos no quadro 9:

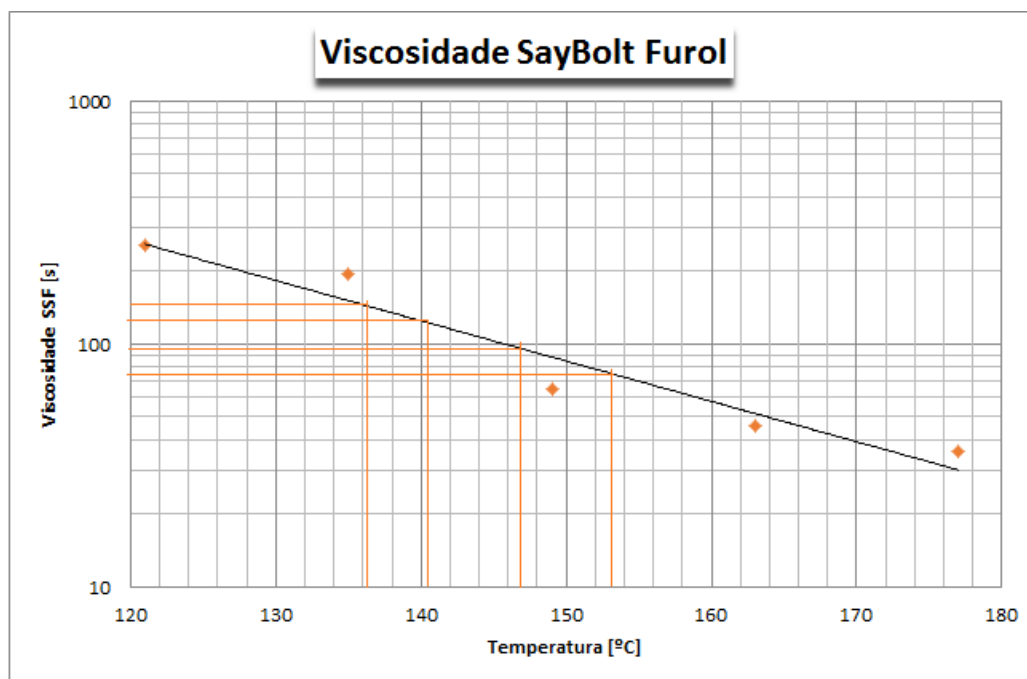
Quadro 9- Temperaturas no ensaio de viscosidade

Viscosidade SayBolt Furol	
Temperatura	Segundos sSF
°C	sSF
121	254
135	194
149	65
163	46
177	36

Fonte: Autor, 2019.

A partir desses valores foi traçado o gráfico 8 para obtenção das temperaturas de mistura e compactação.

Gráfico 8- Indicação de temperaturas de misturas e compactação



Fonte: Autor, 2019.

A partir da análise do gráfico são determinadas as temperaturas de mistura e compactação mostradas no quadro 10

Quadro 10- Temperaturas de misturas e compactação

Temperatura de mistura	147,15°C a 153,7°C
Temperatura de compactação	136,2 °C a 142,01°C

Fonte: Autor, 2019.

Os intervalos de temperatura de mistura e compactação devem ser 107°C a 177°C e de 135°C a 150° C

5.4. Dosagem Marshall

Foram confeccionados 60 corpos de provas para as 15 misturas distintas, com os diferentes teores de CAP e AR, e cada um deles foi avaliado quanto ao seu peso em temperatura ambiente, peso imerso e altura, dados necessários para o posterior cálculo de parâmetros como volume (V), volume de vazios (Vv), densidade aparente (G_{md}), densidade máxima teórica (DMT), vazios preenchidos com betume (VCB), vazios do agregado mineral (VAM) e relação betume/vazios (RBV).

O teor ótimo de ligante para cada teor de AR empregado foi definido pelo método que relaciona a quantidade de ligante com o volume de vazios.

5.4.1. Enquadramento Granulométrico

O enquadramento deu-se pelo método das tentativas, tomando como referência as faixas do DNIT 033/2005 e 034/2005 (quadro 11).

Quadro 11- Faixas de enquadramento granulométrico DNIT

Abertura (mm)	FAIXA A		FAIXA B		FAIXA C		Tolerância
50,8	100	100	100	100	100	100	±7
38,1	95	100	100	100	100	100	±7
25,4	75	100	95	100	100	100	±7
19,1	60	90	80	100	100	100	±7
12,7	60	90	80	100	80	100	±7
9,5	35	65	45	80	70	90	±7
4,5	25	60	28	60	44	72	±5
2	20	40	20	45	22	60	±5
0,42	10	30	10	32	8	26	±5
0,18	5	20	8	20	4	16	±3
0,075	1	8	3	8	2	10	±2

Fonte: Adaptado das normas DNIT 033/2006-ES e DNIT 034/2006-ES

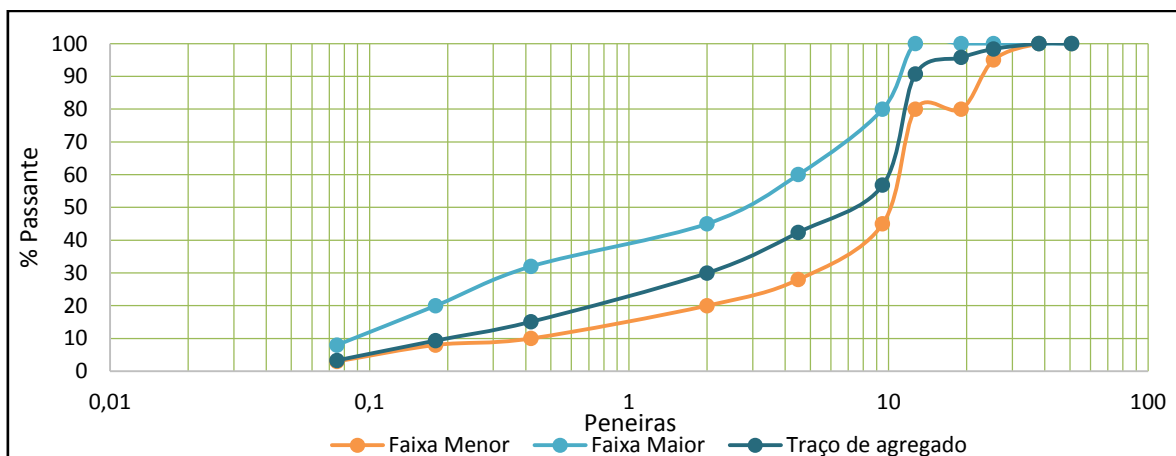
Foi escolhida a faixa B, onde foi enquadrada granulometricamente conforme o quadro 12 e gráfico 9.

Quadro 12- Enquadramento granulométrico da mistura

Abertura(mm)	Granulometria						Traço						
	Brita 1	Brita 0	Pó de Brita	Areia	Filer	RAP	%Brita1	%Brita0	%Pó de brita	%Areia	%Filer	%RAP	
	% Passante	% Passante	% Passante	% Passante	% Passante	% Passante	40	10	15	3	7	25	
50,8	100	100	100	100	100	100							100,0
38,1	100	100	100	100	100	100							100,0
25,4	95,9	100	100	100	100	100							98,4
19,1	89,4	100	100	100	100	100							95,8
12,7	78,1	99,5	100	100	100	98,2							90,7
9,5	4,1	75,9	97,89	100	100	91,6							56,8
4,5	0,2	12,0	95,12	99,7	100	67,4							42,4
2	0,2	0,6	63,14	98,4	100	41,6							30,0
0,42	0,2	0,4	22,11	46,7	97,97	13,7							15,1
0,18	0,2	0,3	9,71	17,0	93,13	3,1							9,4
0,075	0,1	0,1	1,02	2,3	42,01	0,4							3,3

Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 9- Enquadramento granulométrico com as faixas limites do DNIT



Fonte: Autor, 2019.

O teor piloto de ligante foi de 5% para essa mistura que juntamente com CAP residual presente no RAP, totalizam 6,23% de ligante na mistura (quadro 13).

Quadro 13- Dosagens das misturas com 25% RAP

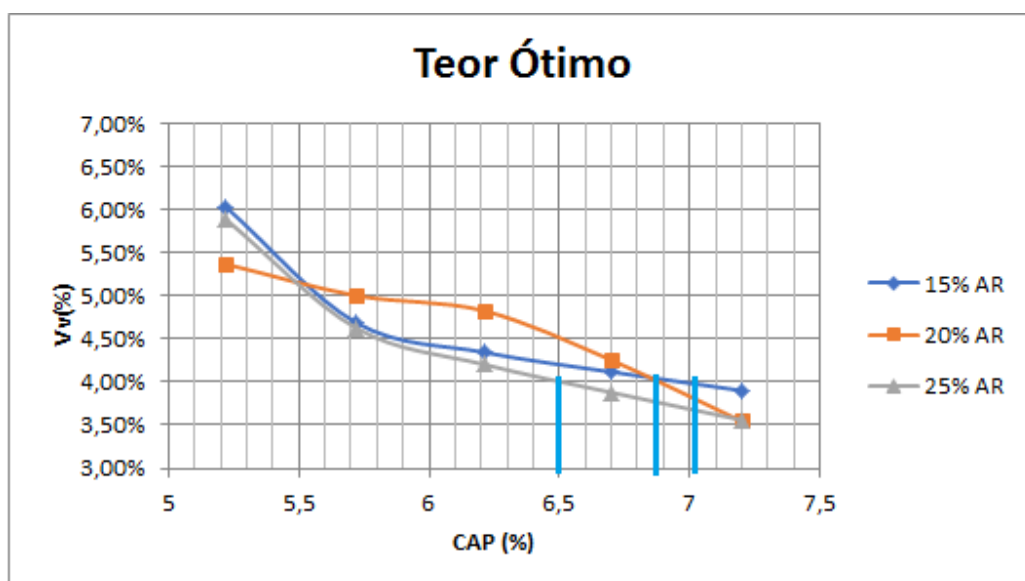
CP 25% RAP	Massa	CP 25% RAP	Massa	CP 25% RAP	Massa	CP 25% RAP	Massa	CP 25% RAP	Massa					
Ligante	-	Ligante	-	Ligante	-	Ligante	-	Ligante	-					
CAP	4,00%	48,00 g	CAP	4,50%	54,00 g	CAP	5,00%	60,00 g	CAP	5,50%	66,00 g	CAP	6,00%	72,00 g
Agregados	-	Agregados	-	Agregados	-	Agregados	-	Agregados	-					
Areia	2,88%	34,56 g	Areia	2,87%	34,38 g	Areia	2,85%	34,20 g	Areia	2,84%	34,02 g	Areia	2,82%	33,84 g
Filler	6,72%	80,64 g	Filler	6,69%	80,22 g	Filler	6,65%	79,80 g	Filler	6,62%	79,38 g	Filler	6,58%	78,96 g
Pó de Brita	14,40%	172,80 g	Pó de Brita	14,33%	171,90 g	Pó de Brita	14,25%	171,00 g	Pó de Brita	14,18%	170,10 g	Pó de Brita	14,10%	169,20 g
Brita 0	9,60%	115,20 g	Brita 0	9,55%	114,60 g	Brita 0	9,50%	114,00 g	Brita 0	9,45%	113,40 g	Brita 0	9,40%	112,80 g
Brita 1	38,40%	460,80 g	Brita 1	38,20%	458,40 g	Brita 1	38,00%	456,00 g	Brita 1	37,80%	453,60 g	Brita 1	37,60%	451,20 g
RAP	24,00%	288,00 g	RAP	23,88%	286,50 g	RAP	23,75%	285,00 g	RAP	23,63%	283,50 g	RAP	23,50%	282,00 g
CAP Total	5,24%		CAP Total	5,73%		CAP Total	6,23%		CAP Total	6,72%		CAP Total	7,21%	

Fonte: Autor, 2019.

5.4.2. Determinação do teor ótimo de ligante

Para cada teor de AR foi definido um teor ótimo de ligante, através do método em que a escolha do teor de asfalto primordialmente para camadas de rolamento em concreto asfáltico é baseada somente no volume de vazios (Vv), correspondente a 4%. Para 15%, 20% e 25% de AR, tem-se 7,10%, 6,87 % e 6,5% de CAP, respectivamente (gráfico 10).

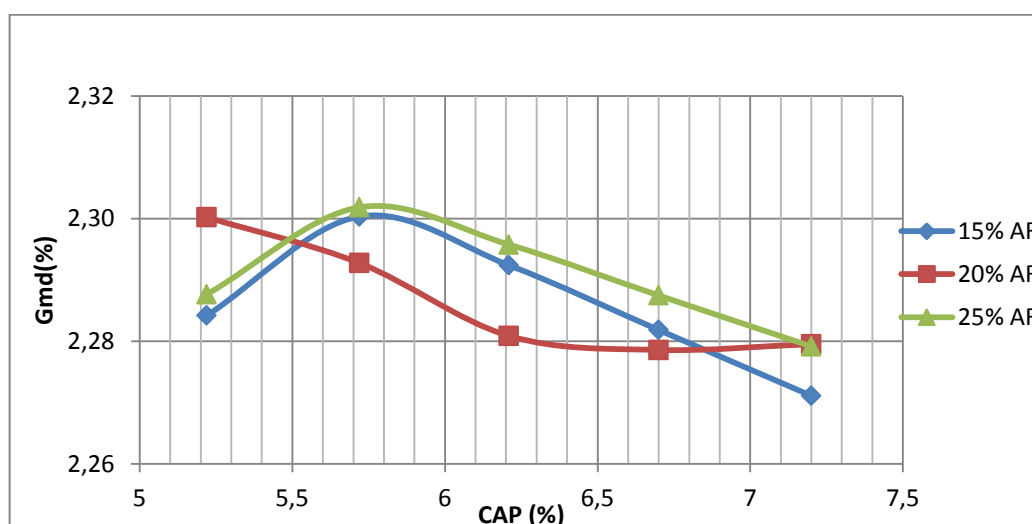
Gráfico 10- Volume de vazios x CAP



Fonte: Autor, 2019

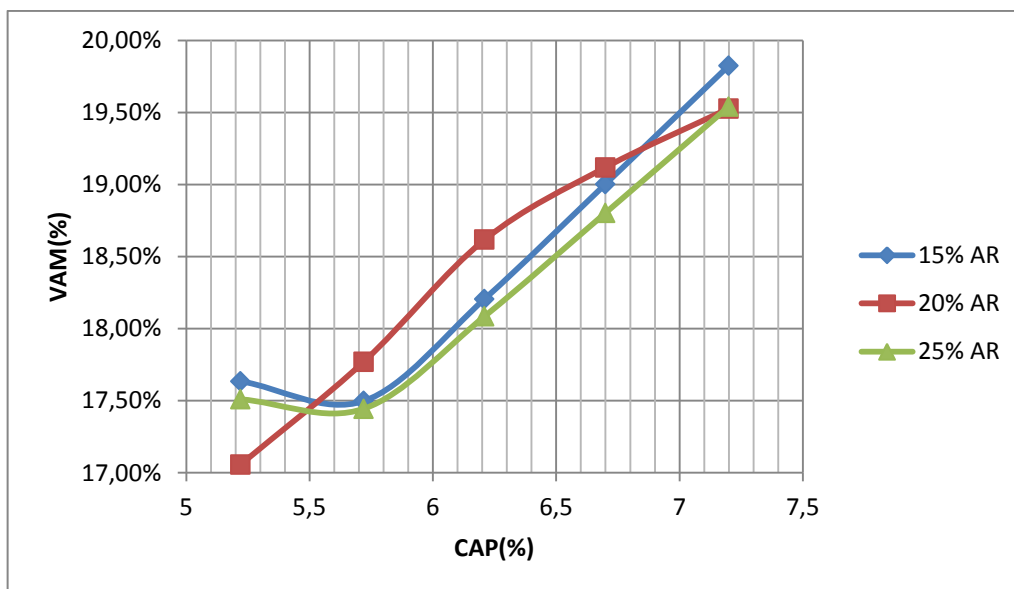
Para cada teor de Agente Rejuvenecedor adicionado à mistura asfáltica foram calculados a Densidade Aparente (G_{md}) (gráfico 11) Volume de Agregado Mineral (VAM) (gráfico 12), Relação Volume Vazios (RBV) (gráfico 13), Estabilidade Marshall (gráfico 14). Todos estes resultados estão apresentados no quadro 14.

Gráfico 11- Densidade Aparente x CAP



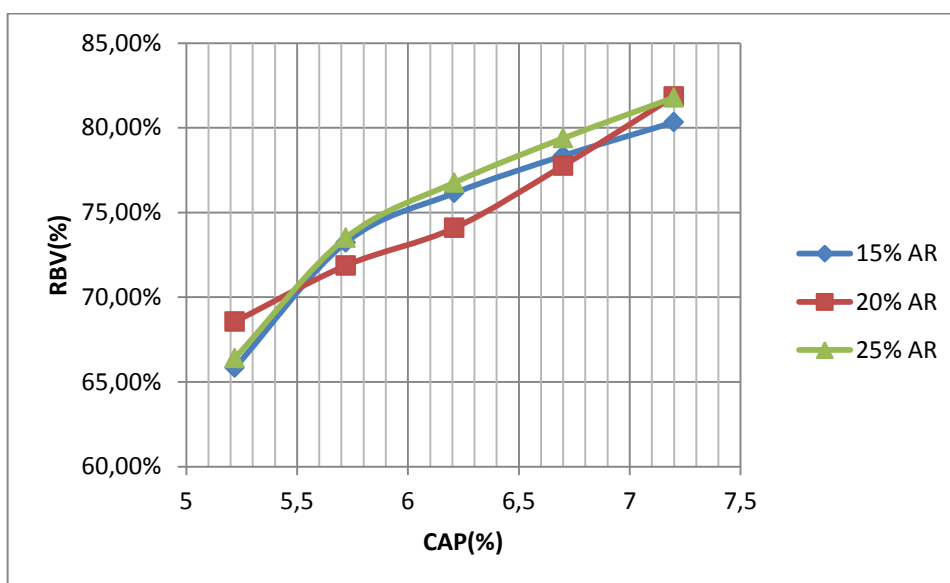
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 12- Volume de Agregado Mineral x CAP



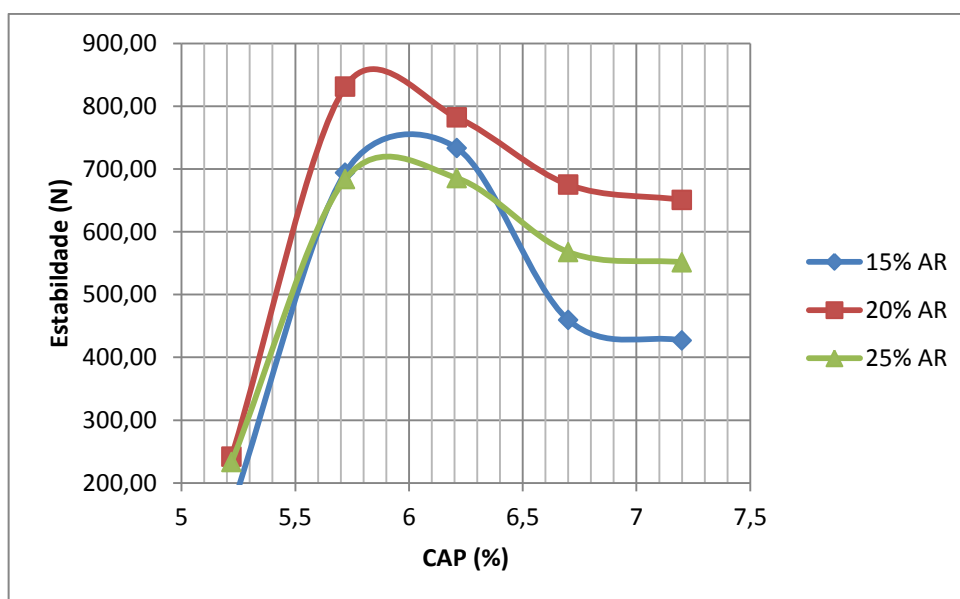
Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 13- Relação Betume Vazios x CAP



Fonte: Autor, 2019.

Gráfico 14- Estabilidade Marshall x CAP



Fonte: Autor, 2019.

Quadro 14- Parâmetros para cada teor de CAP e AR

CAP(%)	AR(%)	Vv(%)	Gmd(g/cm ³)	DMT(g/cm ³)	VAM(%)	RBV(%)	ESTABILIDADE (kgf)
4	15	6,02%	228,42%	243,06%	17,63%	65,85%	159,38
	20	5,36%	230,02%	243,06%	17,06%	68,56%	242,07
	25	5,88%	228,77%	243,06%	17,51%	66,42%	233,19
4,5	15	4,68%	230,04%	241,34%	17,50%	73,23%	694,32
	20	5,00%	229,28%	241,34%	17,77%	71,87%	831,14
	25	4,62%	230,19%	241,34%	17,44%	73,51%	683,98
5	15	4,34%	229,24%	239,65%	18,21%	76,15%	733,22
	20	4,82%	228,09%	239,65%	18,62%	74,09%	782,01
	25	4,20%	229,58%	239,65%	18,09%	76,77%	685,51
5,5	15	4,11%	228,18%	237,97%	19,00%	78,35%	431,29
	20	4,25%	227,86%	237,97%	19,12%	77,77%	675,04
	25	3,88%	228,75%	237,97%	18,80%	79,38%	567,74
6	15	3,90%	227,11%	236,33%	19,83%	80,33%	294,56
	20	3,54%	227,95%	236,33%	19,53%	81,85%	407,94
	25	3,56%	227,92%	236,33%	19,54%	81,79%	229,3

Fonte: Autor, 2019.

O quadro 15 mostra os valores de Resistência à Tração obtidos para cada teor de AR adicionado à mistura.

Quadro 15- Resultados de RT para cada teor de CAP e AR

CAP(%)	AR(%)	F(N)	D(cm)	h (cm)	δ (Mpa)
4	15	8551,704	10,16	6,41	0,84
	20	7178,724	10,16	6,13	0,73
	25	6541,269	10,16	6,14	0,67
4,5	15	7669,074	10,16	5,93	0,81
	20	9522,597	10,16	6,05	0,99
	25	9581,439	10,16	6,24	0,96
5	15	6521,655	10,16	6,20	0,66
	20	8620,353	10,16	5,97	0,91
	25	6198,024	10,16	6,08	0,64
5,5	15	6217,638	10,12	6,31	0,62
	20	8002,512	10,16	6,03	0,83
	25	4991,763	10,16	6,35	0,49
6	15	10836,74	10,16	6,14	1,11
	20	6301,978	10,20	6,01	0,65
	25	6090,147	10,16	6,11	0,63

Fonte: Autor, 2019.

Após serem calculados todos os teores ótimos foram moldados mais corpos de prova para calcular os parâmetros volumétricos (quadro 16), em seguida avaliar sua estabilidade (quadro 17), resistência à compressão diametral (quadro18), e desgaste cântabro (quadro19).

Quadro 16- Resultados dos parâmetros volumétricos para os teores ótimos

CAP(%)	AR(%)	Vv(%)	VAM(%)	RBV(%)
7,10%	15	3,67%	19,42%	81,07%
6,90%	20	3,69%	18,98%	80,58%
6,50%	25	3,20%	17,68%	81,92%
LIMITES	Binder(%)	4 a 6	> 14	65 a 72
DNIT	Rolamento(%)	3 a5	>14	75 a 82

Fonte: Autor, 2019.

As misturas com todos os teores de AR apresentaram resultados para volumetria, satisfatórios para camada de rolamento, para camada de ligação o único parâmetro que não enquadrou-se foi o volume de vazios, segundo as normas DNIT 033/2006 e DNIT 034/2006.

5.4.3. Estabilidade Marshall

Quanto à estabilidade foram obtidos os seguintes resultados

Quadro 17- Resultados da estabilidade para teores ótimos

Teor de CAP	Teor de AR	h (mm)	h Médio (mm)	Leitura Estabilidade (kgf)	Estabilidade Corrigida (kgf)	Estabilidade permitida (kgf)
7,10%	15%	63,25	63,15	378	381,27	> 500
		62,79				
		63,42				
6,90%	20%	60,57	61,22	479	508,51	
		61,00				
		62,09				
6,50%	25%	58,03	59,84	427	470,64	
		60,64				
		60,85				

Fonte: Autor, 2019.

O valor mínimo estabelecido por norma para estabilidade é de 500 kgf, a única mistura que atendeu esse quesito foi a que possui 20% de AR, adicionado à sua composição.

5.4.4. Resistência à tração por compressão diametral

Para determinação da resistência à tração, os corpos de prova com os teores ótimos foram submetidos ao ensaio de resistência a tração por compressão diametral. Após ensaio foram obtidos os resultados constantes no quadro 18.

Quadro 18- Resultados de RT para teores ótimos

CAP(%)	AR(%)	F(N)	D(cm)	h (cm)	δ (Mpa)	$\delta_{\text{mín}}$ (Mpa)
7,10%	15	7202,261	10,16	6,30	0,72	0,65
6,90%	20	6301,978	10,12	6,01	0,66	
6,50%	25	6290,147	10,15	6,11	0,65	

Fonte: Autor, 2019.

O valor mínimo para Resistência à Tração estabelecido pelas normas do DNIT 033/2006 E 034/2006 é 0,65 MPa, todas as misturas atenderam à esse quesito.

5.4.5. Desgaste Cântabro

Em relação ao Desgaste Cântabro promovido nas misturas asfálticas obteve-se os seguintes valores apresentados no quadro 19:

Quadro 19- Resultado do desgaste cântabro

CAP(%)	AR(%)	Peso Inicial (g)	Peso Final(g)	Desgaste Cântabro (A%)
7,10%	15	1175,4	1171,69	0,32
6,90%	20	1156	1154,92	0,09
6,50%	25	1181,27	1177,63	0,31

Fonte: Autor, 2019.

De acordo com a norma o desgaste máximo aceito é de 25%, portanto todas as misturas estão aptas para uso no quesito desgaste. A figura 38 mostra como um dos corpos de prova com 20 % de AR, se comportou após o ensaio.

Figura 37- Corpo de prova pós ensaio cântabro



Fonte: Autor, 2019.

5.4.6. Análises e comparações dos resultados obtidos

Como foi mencionado no início deste trabalho, o estudo foi realizado com 25% de RAP nas misturas e a variação de teores de AR, e modo a possibilitar a comparação com o trabalho de Heluy (2018) com o mesmo material, no entanto sem a adição do agente rejuvenescedor. Nas tabelas 13 a 16 serão apresentados os resultados de volumetria, RT, estabilidade, e desgaste cântabro comparados à pesquisa anterior.

Nos parâmetros de volumetrias, as duas misturas com e sem AR servem apenas para camadas de rolamento. As misturas que ficam mais próxima de 4% de Volume de vazios, são as que possuem em sua composição 20% do Agente Rejuvenescedor.

Tabela 13- Parâmetros Volumétricos com e sem AR para 25% de RAP

CAP(%)	AR(%)	Vv(%)	VAM(%)	RBV(%)
7,10%	15	3,67%	19,42%	81,07%
6,90%	20	3,69%	18,98%	80,58%
6,50%	25	3,20%	17,68%	81,92%
Resultados sem adição de AR (Heluy, 2018)				
7,10%	0	4,90%	20,47%	76,11%
LIMITES DNIT	Binder(%)	4 a 6	> 14	65 a 72
	Rolamento(%)	3 a 5	>14	75 a 82

Fonte: Autor, 2019

Na tabela 14 observa-se que, em média ambas misturas (com e sem AR) atendem ao requisito mínimo de Estabilidade Marshall.

Tabela 14- Estabilidade Marshall com e sem adição de AR para 25%de RAP

Teor de CAP	Teor de AR	h (mm)	h Médio (mm)	Leitura Estabilidade (kgf)	Estabilidade Corrigida (kgf)	Estabilidade permitida (kgf)
7,10%	15%	63,25	63,15	378	381,27	> 500
		62,79				
		63,42				
6,90%	20%	60,57	61,22	479	508,51	
		61				
		62,09				
6,50%	25%	58,03	59,84	427	470,64	
		60,64				
		60,85				
Resultados sem Adição de AR (Heluy, 2018)						Estabilidade média
7,10%	0%	61,12	61,28	472	500,27	504,19
		61,18				
		61,54				
		61,61	60,8633	586	628,11	
		60,27				
		60,71	61,64	366	384,20	
		61,69				
		61,77				
61,46						

Fonte: Autor, 2019.

A partir dos resultados da tabela 15, observou-se a queda da Resistência à Tração quando o AR é incorporado às misturas, mas atendendo ao requisito mínimo de norma.

Tabela 15- Resistência à Tração com e sem AR para 25% de RAP

CAP(%)	AR(%)	F(N)	D(cm)	h (cm)	δ (Mpa)	$\delta_{\text{mín}}$ (Mpa)
7,10%	15	7202,26	10,16	6,3	0,72	0,65
6,90%	20	6301,98	10,12	6,01	0,66	
6,50%	25	6290,15	10,15	6,11	0,65	
Resultados sem adição de AR (Heluy, 2018)						
7,10%	0%	8103,85	10,13	6,16	0,826	

Fonte: Autor,2019.

A partir dos resultados encontrados na tabela 16, tem-se que com a adição do AR, o desgaste foi reduzido para todos os teores, mostrando que a maior interação de asfalto residual promove maior adesão entre os agregados .

De acordo com os resultados analisados, vê-se que para Estabilidade Marshall e Resistência à Tração, as misturas com AR tem menor teor ótimo de CAP, produzindo bons resultados. Assim, apesar das misturas com e sem adição de AR se equivalerem para Estabilidade e RT, a introdução de AR permite que seja colocado menos CAP novo , usando mais do antigo que está no RAP.

Tabela 16- Desgaste cântabro com e sem AR para 25% de RAP

CAP(%)	AR(%)	Peso Inicial (g)	Peso Final(g)	Desgaste Cântabro (A%)
7,10%	15	1175,4	1171,69	0,32
6,90%	20	1156	1154,92	0,09
6,50%	25	1181,27	1177,63	0,31
Resultado Sem adição de AR (Heluy,2018)				
7,10%		1175,23	1137,73	3,19

Fonte: Autor, 2019.

6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa buscou analisar a influência da adição de agente rejuvenescedor em misturas asfálticas com 25% de material fresado. Essa porcentagem indica uma redução de 25% de agregados novos, que deixam de ser extraídos da natureza e uma consequente redução de custo. O estudo foi realizado com base na preparação de duas misturas asfálticas para análise de acordo com os parâmetros mínimos exigidos pelas normas DNIT 033/2006 – ES e DNIT 034/2006 – ES.

Quando realiza-se uma pesquisa sobre a utilização de AR's o ideal é que sejam estudadas as propriedades físicas e químicas desse aditivo afim de observar como ele se comporta com o ligante já existente no material fresado. Para isso, o RAP passa por um processo de separação agregado-ligante através do rotarex, e depois a separação ligante-solvente. No entanto o LSP não possui os equipamentos necessários para realização de tal separação.

Foi observado que o acréscimo de Agente Rejuvenescedor nas misturas fez com que os valores de Estabilidade e Resistência à tração fossem reduzidos em função da maior flexibilidade das misturas, o que de acordo com Silva (2011) é favorável para projetos de pavimentação.

No quesito Desgaste Cântabro, observa-se que a redução observada nos resultados dos ensaios não ficou abaixo dos limites das normas. As misturas com AR apresentaram melhores resultados, principalmente aquelas com o teor de 20%. A Estabilidade Marshall também apresentou melhor resultado com esse teor e ainda o percentual do volume de vazios ficou mais próximo de 4%.

Outro ponto analisado foi a qualidade do material fresado estudado, considerado de baixa qualidade, pois segundo Heluy (2018), o pavimento possuía trincas, fissuras e início de panelas, e muitos materiais adversos como pedaços de vidro, material cerâmico, dentre outros. Vale ressaltar que o aquecimento deste material fresado alterou a sua granulometria, influenciando assim nos resultados de alguns parâmetros analisados.

Recomenda-se para trabalhos futuros, estudos mais acurados a cerca de misturas rejuvenescidas, com a utilização de material fresado de outra localidade, recomenda-se também um novo estudo com esse mesmo AR, utilizando outras metodologias, como a do *Asphalt Institute* que utiliza tanto o método Marshall, como

o método Hveem de dosagem de misturas asfálticas convencionais, acrescentando alguns procedimentos para a análise dos agregados e material fresado visando o enquadramento da granulometria da mistura em uma das faixas requeridas nas especificações de projeto, e a avaliação do ligante envelhecido para a determinação da demanda de ligante novo e/ou agente rejuvenescedor, se necessário a fim de que se obtenha uma dosagem mais adequada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

_____. **NBR 7809**: Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro - Método de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

_____. **NBR 14950**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

AZEVEDO, Maria. **Construção e Reabilitação de Pavimentos**: Reciclagem de Pavimentos. Documento Base, INIR, Lisboa, 2010.

BAPTISTA, António Miguel Costa. **Misturas Betuminosas Recicladas a Quente em Central**: Contribuição para o seu estudo e aplicação. 2004. 382 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologias, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2006.

BERNUCCI, Liedi Bariani; MOTTA Laura Maria Goretti da; CERATTI, Jorge Augusto Pereira; SOARES, Jorge Barbosa. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 3ª reimpressão. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.

BETUNEL – Tecnologia em Asfalto. **Emulsões Convencionais**, 2016a. Disponível em: <http://www.betunel.com.br/emulsoes_convencionais.html>. Acesso em: 15 de Maio de 2016.

BONFIM, Valmir, **Fresagem de Pavimentos Asfálticos**, 3ªed., São Paulo, Exceção Editorial, 2010.

CASTRO, Luciana Nogueira de. **Reciclagem a Frio “In Situ” com Espuma de Asfalto**. Dissertação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 183p. 2003.

CONCEPA/ANTT (Rio Grande do Sul). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Org.). **Instrumentação In Situ de um Segmento Da Br-116 - Estudo Comparativo do Efeito Laboratório-Campo Da Fadiga**. Porto Alegre: Lapav, 2017. 198 p.

CNT(Org.). **Transporte rodoviário: por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?** Brasília. 162 p. 2017.

DAVID, Daniela de. **Misturas Asfálticas Misturadas a Frio: Estudo em Laboratório Utilizando Emulsão e Agente de Reciclagem Emulsionado**. Dissertação em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul. 128p. 2006.

DEGRAUS. **Tipos de fresadoras: Entenda as diferenças e qual o equipamento ideal**. 2018. Disponível em: <<https://www.degraus.com.br/tipos-de-fresadoras-2/>>. Acesso em: 10 abr. 2019.

DNER – DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 035: Agregados – Determinação da abrasão “Los Angeles”**. Rio de Janeiro, DNER, 1998. 100

_____. **DNER-ME 043: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**. Rio de Janeiro, DNER, 1995.

_____. **DNER-ME 053: Misturas betuminosas – Percentagem de Betume**. Rio de Janeiro, DNER, 1994.

_____. **DNER-ME 054: Equivalente de areia**. Rio de Janeiro, DNER, 1997

_____. **DNER-ME 078: Agregados – Adesividade a ligante betuminoso**. Rio de Janeiro DNER, 1994.

_____. **DNER-ME 081: Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado**. Rio de Janeiro DNER, 1998.

_____. **DNER-ME 083:** Agregados – análise granulométrica. Rio de Janeiro DNER, 1998.

_____. **DNER-ME 085:** Material finamente pulverizado - determinação da massa específica real. Rio de Janeiro, DNER, 1994.

_____. **DNER-ME 193:** Produtos betuminosos líquidos e semi-sólidos - determinação da densidade e da massa específica. Rio de Janeiro, DNER, 1996.

_____. **DNER-ME 194:** Agregados - determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman. Rio de Janeiro, DNER, 1998.

_____. **DNER-ME 383:** Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cântabro. Rio de Janeiro, DNER, 1999.

DNIT-Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisa. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. **Manual de pavimentação**. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006a.

_____. **DNIT 033 – ES:** Pavimentação asfáltica – Concreto asfáltico reciclado a quente na usina – especificação de serviço Rio de Janeiro: DNIT, 2009.

_____. **DNIT 034 – ES:** Pavimentação asfáltica – Concreto asfáltico reciclado a quente no local – especificação de serviço Rio de Janeiro: DNIT, 2009.

_____. **DNIT-ME 131:** Ponto de amolecimento: método anel e bola – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

_____. **DNIT-ME 136:** Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência a tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2009.

_____. **DNIT-ME 155:** Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Ensaio de penetração – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

E-Civil. **Foto de um pavimento Semi-rígido**. 2019. Disponível em: <<http://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-pavimento-semi-rigido.html>>. Acesso em: 11 de Maio. de 2019.

HELUY, Davi Lacerda. **Utilização de revestimento asfáltico fresado em misturas asfálticas a quente para camadas de pavimento**.2018, tese de graduação, Universidade Estadual do Maranhão.

KRATON- **SYLVAROAD™ RP1000**, 2019. disponível em: <http://kraton.com/products/paving/sylvaroad.php>. Acesso em : 10 de Abril de 2019.

LIMA, A. T. (2003) **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas Recicladas a Quente**. Dissertação de Mestrado, Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 99 fls

MARQUES, Geraldo Luciano de Oliveira. **NOTAS DE AULA DA DISCIPLINA DE PAVIMENTAÇÃO**. Juíz de Fora: Hc, 2006. 210 p.

ODA, Sandra. **Apostila de Pavimentação: Notas de Aula**. Maringá: Uem, 2003. 142 f.

RIBEIRO, Thiago Pinheiro. **Estudo Descritivo das Principais Patologias em Pavimento Flexível**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Edição 04. Ano 02, Vol. 01. pp 733-754, Julho de 2017.

ROSSI, Anna Carolina. **Etapas de uma Obra de Pavimentação E Dimensionamento de Pavimento para uma Via na Ilha do Fundão**. 2017. 63 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SENÇO, Wlastermiler de. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. 2ª ed. Volume 1. São Paulo: Pini, 2007.

SILVA, J.P.S.; FARIAS, M.M. **Avaliação química e ambiental de misturas asfálticas rejuvenescidas**. revista Matéria, v.23, n.3, 2018.

SILVA, J.P.S. *Avaliação dos efeitos de produtos rejuvenescedores em misturas asfálticas*, Tese de D.Sc., Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de Brasília. 2011.

TAVARES, Ronaldo Rodrigues Starling *et al.* **Drenagem, Pavimentação e Urbanização de Vias**: Composições de Custos Unitários – Obras de Infraestrutura Urbana. Brasília: Abepv, 1 v. 2015.

VIANA, Dandara. **Entenda o que é um pavimento asfáltico**. 2019. Disponível em: <<https://www.guiadaengenharia.com/pavimento-asfaltico/>>. Acesso em: 05 abr. 2019.

APÊNDICES

APÊNDICE A – MEDIDAS DAS DIMENSÕES DA BRITA 1 PARA CLASSIFICAÇÃO
QUANTO A FORMA

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
1	8,51	9,67	16,78	41	14,36	20,16	31,49
2	13,59	14,76	21,53	42	13,68	14,58	22,49
3	7,8	9,15	23,11	43	20,29	22,25	22,97
4	3,96	15,82	21,19	44	10,2	17,8	31,09
5	4,87	15,75	29,12	45	16,4	20,56	23,31
6	10,98	13,12	18,28	46	12,17	20,7	20,84
7	8,42	24,4	31,18	47	10,04	23,8	28,75
8	11,01	25,82	33,92	48	17,53	18,11	27,97
9	8,41	20,88	23,43	49	11,38	20,31	25,83
10	8,62	11,78	15,54	50	13,17	19,4	21,59
11	6,92	14,03	22,73	51	10,66	20,8	30,93
12	4,24	15,17	21,51	52	15,4	17,18	24,17
13	8,92	12,3	21,19	53	13,32	20,88	28,64
14	13,83	19,63	26,75	54	12,22	17,65	20,65
15	9,83	13,33	28,31	55	7,77	17,03	27,12
16	8,65	14,3	17,6	56	12,96	15,79	21,07
17	15,79	17,04	29,28	57	9,18	11,56	19,74
18	12,1	21,08	24,82	58	11,79	18,27	26,58
19	3,63	14,45	22,57	59	12,02	15,02	19,31
20	13,84	19,69	29,86	60	9,67	16,38	28,92
21	9,18	16,94	26,24	61	14,4	17,72	22,42
22	12,5	14,07	24,94	62	14,27	20,8	26,4
23	10,13	12,32	18,74	63	10,53	11,94	18,44
24	8,73	10,69	16,58	64	14,07	21,52	26,26
25	11	15,03	15,99	65	12,22	21,62	21,9
26	15,84	21,45	23,51	66	11,69	18,04	28,44
27	14,24	15,22	19,57	67	7,08	18,32	21,26
28	8,34	15,76	23,58	68	7,92	16,04	26,67
29	10,29	16,19	19,45	69	14,78	15,03	30,93
30	18,46	21,33	22,65	70	9,16	10,81	19,14
31	9,77	23,31	26,79	71	11	19,22	22,71
32	16,37	18,96	24,02	72	13,68	16,69	20,65
33	9,89	18,41	25,45	73	8,59	20,07	30,48
34	14,16	18,43	30,24	74	9,12	18,77	20,79
35	14,45	21,72	39,18	75	7,53	15,93	23,44
36	16,3	16,98	20,44	76	6,42	15,96	26,54
37	14,38	20,13	25,87	77	11,06	14,55	15,21
38	10,53	21,58	33,97	78	13,01	13,53	15,76
39	16,97	20,85	29,58	79	6,41	16,96	26,23
40	16,69	19,02	22,76	80	8,44	22,83	26,82

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
81	11,14	15,13	16,2	121	12,28	16,63	17,52
82	7,89	18	21,53	122	13,22	15,12	25,79
83	10,14	13	27,7	123	8,16	16,63	27,09
84	12,56	16,72	18,06	124	12,23	14,58	18,18
85	8,9	17,7	23,13	125	13,05	13,7	20,64
86	10,1	19,82	27,87	126	13,86	17,75	22,17
87	10,64	17,72	18,28	127	11,25	14,95	17,52
88	11,76	12,17	19,96	128	11,27	12,96	16,14
89	10,01	22,64	26,67	129	17,55	19,32	24,99
90	9,05	16,84	30,84	130	10,13	14,45	19,33
91	7,47	21,12	24	131	5,93	19,67	29,92
92	13,34	15,48	22,32	132	11,6	12,73	15,05
93	10,53	23,2	34,84	133	12,69	22,65	26,98
94	14,88	22,14	24,63	134	13,34	17,77	18,83
95	15,4	22,12	24,65	135	13,46	16,4	21,75
96	8,35	22,08	27,76	136	11,24	24,68	28,84
97	8,89	17,46	20,1	137	9,32	17,73	22,66
98	7,97	22,64	39,2	138	9,8	16,03	17,51
99	13,74	23,71	23,94	139	11,28	14,79	23,04
100	18,15	19,43	23,33	140	12,51	17,23	21,12
101	9,94	18,65	33,19	141	20,88	21,37	23,31
102	13,99	24,54	29,7	142	18,45	21,33	25,49
103	15,52	19,08	29,93	143	10,69	14,06	17,12
104	11,8	19,94	23,26	144	12,77	13,1	21,45
105	14,95	21,53	22,56	145	9,87	16,12	35,45
106	14,47	16,84	25,95	146	15,21	16,02	22,63
107	10,05	14,41	18,68	147	6,32	12,27	19,11
108	10,84	19,81	20,13	148	11,55	13,48	16,8
109	11,86	14,92	17,63	149	6,95	19,87	20,27
110	11,2	15,81	22,61	150	12	13,49	16,87
111	6,23	12,8	23,56	151	12,08	18,82	23,52
112	15,52	21,28	24,69	152	9,47	14,83	18,91
113	9,26	16,86	23,06	153	9,73	15,43	16,39
114	16,38	17,58	18,44	154	17,23	18,64	18,75
115	10,44	17,9	19,44	155	10,71	11,23	12,23
116	10,18	18,23	20,99	156	16,95	23,27	24,05
117	12,15	13,36	28,08	157	7,33	20,59	23,93
118	14,24	18,99	22,43	158	9,85	15,57	20,33
119	9,66	15,01	22,97	159	6,73	22,31	24,81
120	6,34	15,44	21,49	160	11,11	12,25	13,28

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
161	16,04	18,83	21,78	181	6,19	15,9	28,73
162	6,81	17,32	18,78	182	9,5	16,85	17,91
163	9,94	11,3	15,73	183	8,27	11,43	16,38
164	13,52	16,56	21,27	184	8,64	13,14	16,77
165	9,87	16,25	26,7	185	5,22	19,25	19,81
166	10,07	16,19	18,38	186	10,9	16,12	23,15
167	10,23	17,8	26,87	187	5,71	13,32	17,82
168	9,92	21,99	26,17	188	11,66	13,92	18,45
169	10,03	17,53	17,61	189	7,46	11,96	17,55
170	12,73	20,05	20,76	190	8,64	14,59	15,17
171	13,79	20,2	22,93	191	8,73	12,38	23,1
172	13,56	14,09	18,37	192	12,19	12,65	18,84
173	6	17,05	24,85	193	6,65	18,08	26,1
174	9,47	16,59	23,14	194	11,65	17,68	21,68
175	9,56	18,72	19,1	195	13,22	15,03	23,58
176	13,73	19,57	20,28	196	11,25	16,3	20,92
177	6,73	12,75	19,67	197	12,9	13,95	20,16
178	13,01	17,07	17,76	198	16,39	16,55	27,87
179	8,67	16,94	19,25	199	10,67	16,18	17,06
180	11,35	12,3	18,44	200	9,22	17,56	18,55

APÊNDICE B – MEDIDAS DAS DIMENSÕES DO MATERIAL FRESADO PARA
CLASSIFICAÇÃO QUANTO A FORMA

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
1	25	31	14	41	29	18	9
2	26	35	19	42	40	18	12
3	19	32	19	43	29	14	6
4	26	32	22	44	29	17	12
5	24	32	18	45	35	16	15
6	29	36	9	46	33	19	13
7	32	30	18	47	36	17	11
8	28	33	20	48	27	16	17
9	27	33	22	49	24	15	8
10	38	32	17	50	28	19	10
11	40	31	7	51	28	32	16
12	25	32	13	52	33	35	19
13	22	22	12	53	25	31	15
14	33	25	14	54	29	33	23
15	25	25	11	55	35	31	28
16	25	25	13	56	27	30	16
17	36	23	13	57	27	36	17
18	29	23	11	58	22	18	12
19	28	24	10	59	33	13	9
20	30	34	17	60	27	16	10
21	27	37	22	61	25	17	12
22	34	37	17	62	28	15	10
23	25	34	13	63	26	17	7
24	25	33	14	64	31	23	10
25	28	32	12	65	23	22	11
26	33	26	14	66	31	24	9
27	27	26	10	67	30	24	10
28	25	26	14	68	32	25	7
29	24	33	20	69	28	23	12
30	26	33	22	70	29	23	19
31	28	32	17	71	27	25	13
32	25	28	17	72	24	23	12
33	24	30	10	73	28	22	11
34	24	30	13	74	24	23	7
35	28	31	7	75	21	25	17
36	25	18	15	76	25	25	8
37	27	16	9	77	28	23	10
38	34	19	9	78	21	25	9
39	29	14	8	79	23	23	9
40	28	15	11	80	22	23	11

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
81	25	22	13	121	22	17	6
82	32	22	11	122	30	15	11
83	28	25	12	123	31	18	7
84	25	24	10	124	24	17	10
85	25	24	15	125	35	15	12
86	25	21	11	126	22	16	7
87	26	25	12	127	31	17	11
88	28	25	18	128	27	16	8
89	23	23	17	129	27	13	11
90	21	21	18	130	28	16	13
91	38	19	9	131	28	17	9
92	23	21	18	132	21	19	9
93	29	24	16	133	31	19	10
94	22	19	11	134	34	15	13
95	23	24	15	135	37	18	10
96	34	25	11	136	32	15	12
97	32	11	18	137	30	17	14
98	29	12	13	138	27	19	13
99	27	10	10	139	26	19	16
100	24	10	10	140	28	14	9
101	32	13	13	141	27	19	13
102	28	17	7	142	34	16	13
103	24	18	7	143	20	14	12
104	20	16	12	144	27	19	8
105	27	16	13	145	30	19	16
106	33	17	7	146	22	16	10
107	34	17	8	147	27	16	11
108	35	25	18	148	25	15	15
109	25	23	17	149	27	15	9
110	26	24	16	150	29	16	8
111	22	24	15	151	21	11	9
112	28	25	11	152	29	13	9
113	23	25	14	153	30	10	14
114	21	17	9	154	20	12	10
115	29	17	8	155	30	12	11
116	21	19	6	156	22	20	12
117	23	17	17	157	20	21	7
118	25	16	12	158	28	21	12
119	31	17	11	159	25	10	7
120	23	13	16	160	29	10	6

Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)	Número	A(mm)	B(mm)	C(mm)
161	29	12	11	181	21	18	16
162	22	10	6	182	23	17	11
163	22	12	6	183	24	18	13
164	26	11	12	184	24	17	11
165	32	11	10	185	20	11	9
166	23	11	11	186	32	20	12
167	35	10	7	187	31	21	7
168	35	11	8	188	13	10	6
169	30	12	10	189	19	12	6
170	26	12	8	190	21	10	7
171	31	11	12	191	17	11	8
172	29	10	12	192	24	10	12
173	27	11	11	193	21	11	12
174	30	12	9	194	27	18	14
175	27	11	13	195	38	17	11
176	30	12	12	196	29	17	14
177	22	18	10	197	21	18	20
178	30	16	13	198	21	13	13
179	21	15	17	199	18	16	10
180	28	17	12	200	20	16	9