

**UNIVERSIDADE SANTA CECILIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINA SOARES MARTINS
KARINA HERIKA MUTO**

**PAVIMENTAÇÃO COM ASFALTO BORRACHA:
METODO LIQUIDO**

**SANTOS-SP
JUNHO/2019**

**UNIVERSIDADE SANTA CECILIA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**CAROLINA SOARES MARTINS
KARINA HERIKA MUTO**

**PAVIMENTAÇÃO COM ASFALTO BORRACHA:
METODO LIQUIDO**

**Trabalho de conclusão de curso apresentado
como exigência para obtenção do título de
Engenheiro (a) civil à Faculdade de
Engenharia da Universidade Santa Cecilia,
sob orientação do Professor Atila Csobi e
Coorientação do Engenheiro André Paes.**

**SANTOS-SP
JUNHO/2019**

CAROLINA SOARES MARTINS
KARINA HERIKA MUTO

**PAVIMENTAÇÃO COM ASFALTO BORRACHA:
METODO LIQUIDO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do título de Engenheiro Civil à Faculdade de Engenharia da Universidade Santa Cecília.

Data da aprovação: ___/___/___

Nota: _____

Banca Examinadora:

Professor/ Mestre: Atila Csobi.

Prof. (a) Ms./ Dr. (a)

Prof. (a) Ms./ Dr. (a)

AGRADECIMENTOS

Prof. Ms. Atila Csobi, pela orientação e atenção nos momentos que precisamos.

Aos Co-orientadores André Paes por nos ajudar em todos os momentos da criação deste trabalho, Prof. Orlando Damin por fornecer todas as informações necessárias para a elaboração do trabalho.

Ao Engenheiro Mauro Sergio, por disponibilizar o uso do laboratório, e ceder os materiais necessários para os ensaios.

Ao Laboratorista Januário pelos ensinamentos, experiência, e todo auxílio durante os processos realizados.

A Empresa TERRACOM Cubatão-SP, pela autorização dos ensaios e disposição dos funcionários.

E aos familiares por nos dar apoio para a realização deste.

RESUMO

O Asfalto borracha é estudado e aplicado desde 1960 nos Estados Unidos, porém no Brasil seu uso só iniciou em 2000, e até hoje sua aplicação não é muito divulgada. Além de ser ecologicamente correto, pois a utilização dos pneus que não são mais utilizados na pavimentação reduz o risco de serem jogados em rios, aterros ou queimados, poluindo o meio ambiente, estudos anteriores comprovaram algumas vantagens do asfalto borracha em relação ao convencional. Com o intuito de aprofundar o conhecimento do uso da borracha de pneus inservíveis em asfalto, mostrando sua viabilidade e resistência, analisaremos a aplicação do asfalto convencional e do asfalto borracha na pavimentação através de ensaios em laboratórios. O trabalho de conclusão de curso consiste na apresentação e análise dos materiais, equipamentos e ensaios do concreto asfáltico e do asfalto modificado com borracha via úmida, especificados pelo Ministério dos Transportes, fornecendo base para uma comparação técnica entre esses dois tipos de asfaltos.

Palavras-chave: Asfalto; Asfalto Borracha; Pavimentação; Pneus inservíveis

ABSTRACT

Asphalt rubber is studied and applied since 1960 in the United States, but in Brazil its use only started in 2000, and to date its application is not widely publicized. In addition to being ecologically correct, since the use of tires that are no longer used in paving reduces the risk of being thrown into rivers, landfills or burned, polluting the environment, previous studies have shown some advantages of rubber asphalt over conventional. With the aim of deepening the knowledge of the use of the rubber of non - asphalt tire, showing its viability and resistance, we will analyze the application of conventional asphalt and rubber asphalt in the pavement through laboratory tests. The course completion work consists of the presentation and analysis of materials, equipment and tests of asphalt concrete and wet modified rubber asphalt, specified by the ministry of transport, providing a basis for a technical comparison between these two types of asphalts.

KEYWORDS: ASPHALT; ASPHALT RUBBER; PAVING; INSOLUBLE TIRES

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CP – Corpo de Prova
EAP – Emulsão Asfáltica para Pavimentação
DER – Departamento de Estradas de Rodagem
DER-SP – Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
RBV – Relação Betume/Vazios
VAM – Vazios Agregado Mineral
VCB – Vazios Cheios de Betume
Vv – Volume de Vazios

LISTA DE QUADROS.

Quadro 1 Classificação por penetração	22
Quadro 2 Granulometria do filler.....	24
Quadro 3 Composição das misturas	25
Quadro 4 Porcentagem de ligantes.	26
Quadro 5 Índice de vazios	26
Quadro 6 Propriedades do ligante asfáltico.	35
Quadro 7 Penetração do CAP modificado com borracha.....	36
Quadro 8 Granulometria de material de enchimento	38
Quadro 9 Composição das Misturas	39
Quadro 10 Porcentagem de Ligantes.	39
Quadro 11 Índice de vazios	40
Quadro 12 Graduação para ensaio.....	47
Quadro 13 Massa mínima por amostra de ensaio	48
Quadro 14 Composição granulométrica.....	50
Quadro 15 Distribuição granulométrica.....	52
Quadro 16 Definição dos corpos de Provas.....	64
Quadro 17 Definição dos Corpos de Provas Borracha.....	65
Quadro 18 Teor ótimo do CP convencional.	71
Quadro 19 Definição do Corpo de Prova.....	72
Quadro 20 Teor ótimo-Borracha.	72
Quadro 21 Definição do Corpo de Prova -Borracha.....	72
Quadro 22 Massa específica.	74
Quadro 23 Densidade dos Materiais.....	75
Quadro 24 Parâmetros Marshall.....	77
Quadro 25 Parâmetros Marshall.....	80
Quadro 26 Fórmula para cálculo em Mpa.....	84

LISTA DE FIGURAS.

Figura 1 - Aposta nas concessões	16
Figura 2 Pavimentação Flexível.....	19
Figura 3 Asfalto Bruto	20
Figura 4 Produção e Equipamentos.....	27
Figura 5 Espargidora para imprimação e pintura	30
Figura 6 Bico Espargidora para imprimação e pintura	31
Figura 7 Asfalto Borracha	34
Figura 8 Produção do asfalto borracha	40
Figura 9 Processo para ser quarteado.....	49
Figura 10 Modelos de peneiras utilizadas.....	50
Figura 11 Separação dos agregados por granulometria	51
Figura 12 Frasco de Chapman	53
Figura 13 Massa específica	54
Figura 14 Lavagem e secagem dos agregados	56
Figura 15 Amostra emergida e seca	57
Figura 16 Mistura para o Corpo de Provas.	62
Figura 17 Material para moldagem do corpo de prova.....	62
Figura 18 Moldagem do corpo de prova	63
Figura 19 Retirada do corpo de prova do molde	63
Figura 20 Corpos de prova de CAP convencional	65
Figura 21 Corpos de prova de CAP Borracha.....	66
Figura 22 Corpos de prova imerso.....	67
Figura 23 Leitura da estabilidade Marshall	67
Figura 24 Ensaio de compressão diametral de corpo cilíndrico	69
Figura 25 Gráfico para determinação do teor ótimo asfalto convencional	70
Figura 26. Gráfico para determinação do teor ótimo asfalto borracha.....	71
Figura 27 Ensaio de resistência a tração por compressão diametral	73
Figura 28 Gráfico dos vazios	78
Figura 29 Gráfico do RBV.....	78
Figura 30 Gráfico do VCB.....	78
Figura 31 Gráfico Estabilidade.....	79
Figura 32 Gráfico Densidade teórica -Borracha.	81
Figura 33 Gráfico Vazios-Borracha.....	81

Figura 34 Gráfico RBV-Borracha.....	81
Figura 35 Gráfico VCB-Borracha.....	82
Figura 36 Gráfico VAM-Borracha.....	82
Figura 37 Gráfico Fluência- Borracha.....	82
Figura 38 gráfico Estabilidade-Borracha.....	83

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	18
1.2	HIPÓTESES	18
2.	PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL	19
3.	CONCRETO ASFÁLTICO.	21
3.1	MATERIAIS	21
3.1.1	<i>Cimento Asfáltico de Petróleo.</i>	21
3.1.2	Classificação do CAP	22
3.1.3	Propriedades físicas do CAP.	23
3.1.4	Agregados	23
3.1.5	Agregados graúdos.	23
3.1.6	Agregados Miúdos.	24
3.1.7	Material de Enchimento.	24
3.1.8	Melhorador de Adesividade.	24
3.1.9	Composição da Mistura.	25
3.2	PRODUÇÃO.....	27
3.3	EQUIPAMENTOS.....	27
3.3.1	Deposito para Cimento Asfáltico.	27
3.3.2	Deposito de agregados.	28
3.3.3	Silos para Agregados.	28
3.3.4	Usina para Mistura Asfálticas.	28

3.3.5	Caminhão para Transporte.....	28
3.3.6	Equipamento para espalhamento e acabamento.	29
3.3.7	Equipamentos para compactação.	29
3.3.8	Ferramentas e equipamentos acessórios	29
3.4	EXECUÇÃO.....	29
3.4.1	Preparo da superfície.	30
3.4.2	Imprimação asfáltica	30
3.4.3	Pintura Asfáltica.....	30
3.4.4	Temperatura do Ligante	31
3.4.5	Aquecimento dos agregados.....	31
3.4.6	Produção do concreto asfáltico.....	31
3.4.7	Transporte do concreto asfáltico.....	32
3.4.8	Distribuição da mistura.	32
3.4.9	Compactação da mistura.	32
3.4.10	Objetivos da correta compactação.....	32
3.4.11	O que deve evitar.	33
3.4.12	Fatores que determinam qualidade da compactação da mistura.....	33
3.4.13	Acabamento.	33
3.4.14	Abertura ao tráfego.....	33
4.	ASFALTO BORRACHA	34
4.1	MATERIAIS	35
4.1.1	Cimento asfáltico modificado com borracha	35

4.1.2	Borracha	36
4.1.3	Tipos de borrachas	37
4.1.4	Tamanho das partículas	37
4.1.5	Teor da borracha	37
4.1.6	Agregados	37
4.1.7	Agregado Graúdo	37
4.1.8	Agregado Miúdo	38
4.1.9	Material de Enchimento – Filler	38
4.1.10	Melhorador de Adesividade	38
4.1.11	Diluyente	38
4.1.12	Composição da mistura	39
4.2	PRODUÇÃO	40
4.3	EQUIPAMENTOS	41
4.3.1	Caminhões para transporte do ligante	41
4.3.2	Depósitos para ligantes asfalto borracha	41
4.3.3	Deposito para agregados	41
4.3.4	Silos para agregados	41
4.3.5	Usina para mistura asfáltica	42
4.3.6	Caminhão para transporte da mistura	42
4.3.7	Equipamento para distribuição e acabamento	42
4.3.8	Equipamentos para compactação	42

4.3.9	Ferramentas e equipamentos acessórios	43
4.4	EXECUÇÃO.....	43
4.4.1	Preparo da superfície.	43
4.4.2	Imprimação asfáltica.	43
4.4.3	Pintura asfáltica.	43
4.4.4	Produção do concreto asfalto borracha.	44
4.4.5	Transporte do concreto asfáltico- borracha.	44
4.4.6	Distribuição da mistura.	44
4.4.7	Compactação da mistura.	45
4.4.8	Juntas	45
4.4.9	Abertura ao trafego.	45
5.	MATERIAL E MÉTODO.	46
5.1	ENSAIO DE AGREGADOS.	46
5.1.1	Granulometria.	46
5.1.1.1	<i>Realização do Ensaio</i>	49
5.1.2	Massa especifica agregado miúdo.	52
5.1.2.1	<i>Realização do Ensaio de Massa especifica agregado miúdos</i>	54
5.1.3	Absorção	54
5.1.3.1	<i>Realização do Ensaio de Absorção</i>	56
5.2	ENSAIO MISTURAS BETUMINOSAS.	57
5.2.1	Ensaio Marshall e Fluência	57
5.2.1.1	<i>Realização do Ensaio Marshall e Fluência</i>	61

5.2.2	Resistência à tração por compressão diametral	68
5.2.2.1	<i>Realização do Ensaio de Resistencia à tração por compressão</i>	70
6.	RESULTADOS	74
6.1	RESULTADOS DO ENSAIO DE MASSA ESPECIFICA AGREGADOS MIÚDOS	74
6.2	RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO	74
6.3	RESULTADOS DO ENSAIO MARSHAL E FLUÊNCIA	76
6.4	RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL	83
7.	ANALISES	85
7.1	A REDUÇÃO AO ENVELHECIMENTO POR OXIDAÇÃO –	85
7.2	AUMENTO DA FLEXIBILIDADE	85
7.3	AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO	85
7.4	MAIS RESISTENTES A VARIAÇÕES TÉRMICAS	85
8.	CONCLUSÃO	86
8.1	SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	87
	REFERENCIAS	93
	APENDICE A. RESUMO DAS CARACTERISTICAS MARSHALL CAP CONVENCIONAL	95
	APENDICE B. RESUMO DAS CARACTERISTICAS MARSHALL CAP BORRACHA	96

1. INTRODUÇÃO

O revestimento asfáltico é a primeira camada, destinada a resistir diretamente às ações do tráfego, e transmiti-las de forma mais suave as demais, impermeabilizar o pavimento, e melhorar as condições de rolamento, trazendo conforto e segurança.

O sistema de pavimentação é formado por: revestimento de base, base, sub-base e reforço do subleito. O uso do asfalto age como ligante permitindo flexibilidade, impermeabilidade, durabilidade e resistência a ações de ácidos, sais. Pode ser empregado como revestimento, camada de ligação (blinder), base, regularização ou reforço do pavimento (DNIT 31/2006).

A pavimentação, segundo A NBR 7207/ (ABNT,1982) “É uma estrutura construída após a terraplenagem, destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a: Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos; melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança; e Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornado mais durável a superfície de rolamento”

Cerca de 95 % das estradas pavimentadas são de revestimento asfáltico, além de ser também utilizado em grande parte das ruas. (BARIANI BERNUCCI, GORETTI DA MOTTA, PEREIRA CERATTI, & BARBOSA SOARES, 2006). As ferrovias e rodovias ainda são os meios mais utilizados para locomoção pessoal e transporte de produtos, conforme Figura 1.

Figura 1 - Aposta nas concessões



(Ministério do Planejamento)

Os custos desse setor são os mais altos, conforme mencionado no Ministério do Planejamento: estão previstos R\$ 198,4 bilhões em investimentos, sendo R\$ 69,2

bilhões entre 2015-2018 e R\$ 129,2 bilhões a partir de 2019. Os investimentos estão divididos da seguinte forma:

- a) Rodovias: R\$ 66,1 bilhões;
- b) Ferrovias: R\$ 86,4 bilhões;
- c) Portos: R\$ 37,4 bilhões;
- d) Aeroportos: R\$ 8,5 bilhões.

A qualidade dos pavimentos impacta diretamente nos custos financeiros, devendo ser garantido uma qualidade por longos períodos sem que o custo seja acrescido absurdamente. De forma geral, muitos pavimentos após um período curto de tempo, começam a aparecer na superfície defeitos que causam desconforto e diminuem a segurança, e gera custos maiores para os usuários devido as manutenções necessárias.

Em 1960, no Arizona, Charles McDonald, na busca de melhorar os revestimentos asfáltico, percebeu que os pneus poderiam trazer maior flexibilidade no asfalto, após inúmeros estudos e testes, obteve o asfalto borracha. A borracha torna a mistura mais resistente ao envelhecimento e ao aparecimento de deformações, apresentando uma maior durabilidade. (MAZZONETTO, 2018).

Nos Estados Unidos, o asfalto borracha já era usado há muitos anos, porem no Brasil só foi visto por volta do ano de 2000, quando a patente que protegia essa tecnologia venceu. Foi então que a adição do pó dos pneus usados ao ligante asfáltico se tornou praticável. (MAZZONETTO, 2018).

Para colaborar com o destino ecológico para os pneus inservíveis, O CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) em 1999, criou a Resolução N°258 que entrou em vigor em 2002, obrigando aos importadores e fabricantes de pneus a reciclarem os pneus usados. Segundo a Resolução, para cada quatro pneus novos fabricados no país ou importados, as empresas deverão dar destinação final a cinco pneus inservíveis. Evitando assim o descarte indevido de pneus através de descarte em rios, terrenos, e a queima de pneus que prejudicam o meio ambiente e a população.

1.1 OBJETIVOS

O reaproveitamento dos pneus inservíveis, além de contribuir com a questão ambiental, traz mais segurança para os usuários, aumentando a vida útil do pavimento asfáltico.

O trabalho, justifica-se por propagar essa técnica, que embora seja conhecida por alguns anos no Brasil, ainda é pouco difundida.

O objetivo é trazer ao conhecimento o asfalto borracha, como ele é utilizado, os materiais necessários, os ensaios realizados para sua utilização segundo Normas e sua viabilidade.

1.2 HIPÓTESES

Através de estudos comparativos entre o asfalto borracha e o concreto asfáltico mostrar as vantagens, características, materiais utilizados e técnicas de execução aplicadas em cada método. Realizados por meio de levantamentos bibliográficos em revistas técnicas, normas e livros,

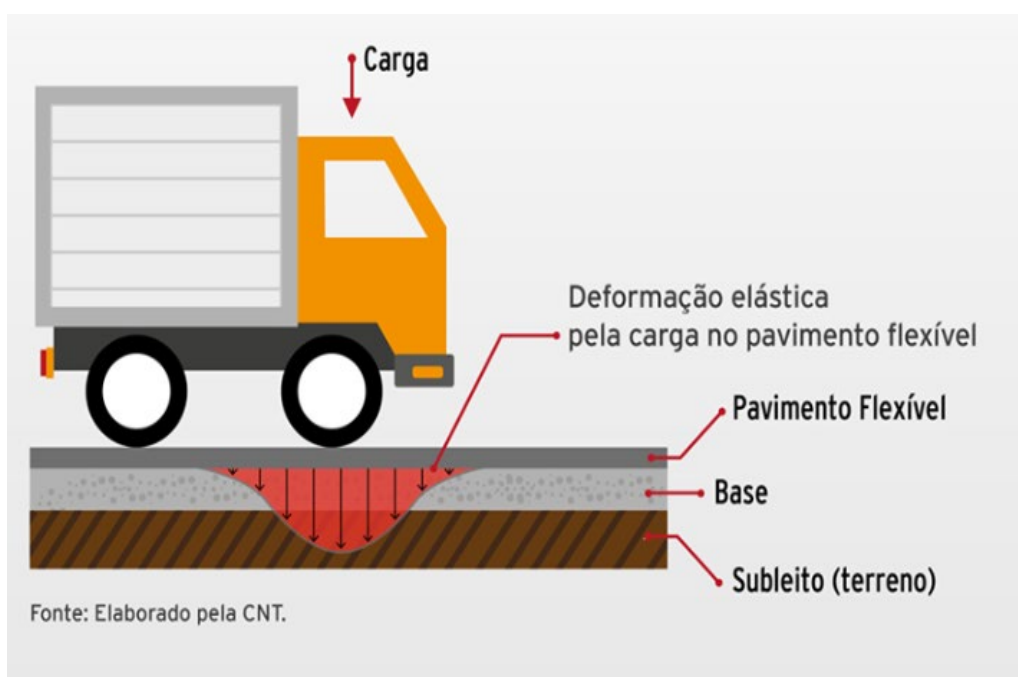
A realização de Ensaio em laboratório, seguindo as normas do DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, que mostrará a viabilidade de implantação, a resistência de ambos pavimentos, fornecendo base para uma conclusão técnica.

2. PAVIMENTAÇÃO FLEXÍVEL

É a pavimentação que é revestida com material betuminoso ou asfáltico e recebe as cargas em parcelas, sendo que a camada sofre deformação elástica, como é explicada na Figura 2.

O asfalto ,figura 3 é um produto natural, derivado do petróleo constituído essencialmente de Betumes. Possui substâncias compostas de hidrocarboneto pesados com propriedades ligantes. Inflamáveis e viscoso, para a finalidade de asfalto para a pavimentação, o petróleo é destilado a uma temperatura de 480°C para se obter 100% da destilação. Para pavimentações é utilizado o Cimento Asfáltico de Petróleo. (CAP). (BALBO, 2007 p. 109)

Figura 2 Pavimentação Flexível



(cnt.,2018)

Figura 3 Asfalto Bruto



(ecivilnet.,2018)

3. CONCRETO ASFÁLTICO.

O Concreto Asfáltico Usinado a Quente, (CAUQ) será nossa referência para comparação deste estudo. Sua composição granulométrica, sua mistura, e sua compactação, devem ser adequadas para suportar cargas. Para isso é necessário o estudo das características do asfalto, tipo de pavimentos, tipos de cargas e compactação.

Para isso a dosagem adequada para cada tipo deve obter uma mistura adequada para lançamento e compactação, ser resistentes a cargas estipuladas, teor de asfalto adequado para ser mais durável, ter pouca deformação, fissuração, oxidação e possuir vazios necessários.

Conforme a Especificação Técnica do DER (Departamento de Estradas e Rodagens), as Condições específicas são:

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Cimento Asfáltico de Petróleo.

O cimento asfáltico de petróleo é obtido através do processo de refinamento do petróleo cru, composto por hidrocarbonetos asfálticos e hidrocarboneto aromáticos, enxofre, nitrogênio e oxigênio e moléculas de alfatenos e malfatenos. Deve apresentar as qualidades e consistências próprias para Pavimentação, por isso é necessário ter boa aderência aos agregados, ter bom índice de impermeabilização. Flexibilidade, durabilidade, boa resistência a ácidos e insolúvel a água. Para atender esses quesitos, pode ser modificado por Polímeros.

3.1.2 Classificação do CAP

O CAP pode ser classificado por suas diversas propriedades, para a engenharia civil, ela é classificada conforme sua consistência.

O CAP para pavimentação é classificado por penetração conforme NORMA DNIT 095/2006 EM. Quadro 1

Quadro 1 Classificação por penetração

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

(DNIT 095/2006-EM)

3.1.3 Propriedades físicas do CAP.

Durabilidade: Por possuir boa resistências a condições climáticas, e processos de envelhecimento, preservando suas características.

Adesividade: Capacidade da boa adesividade nos agregados, caso necessário, é modificado por polímeros para aumentar essa característica.

Variações térmica: Suscetível térmico, onde é capaz de se transformar em propriedades físicas como liquido em altas temperaturas e viscoso em baixas temperaturas, não perdendo suas características e adesividade nos agregados.

Endurecimentos: Ocorre devido a oxidação, por motivos variados, como por exemplo alterações de temperaturas, exposição à radiação solar, águas acidas, e óleos derramados sobre a pavimentação, tornando o asfalto quebradiço.

3.1.4 Agregados

A definição para os agregados na mistura é calculada conforme seu diâmetro e passagem pelo peneiramento. Sendo a peneira n°4 o limite para separação do agregado graúdo e miúdo, e a escolha dos agregados de boa forma melhoram a trabalhabilidade.

3.1.5 Agregados graúdos.

Os agregados graúdos devem ser pedra britada, ou seixo rolado britado, as partículas devem ser limpas, o desgaste Los Angeles inferior a 50%, os graúdos obtidos em britagem de pedregulhos, 90% das matérias retidas na peneira n° 4 de 4,8 mm deve apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem. O índice de forma deve ser superior a 0,5 e porcentagem de lamelares inferior a 120% e devem apresentar perda inferiores de 12 % quando submetidos a avaliações de durabilidade com sulfato de sódio e atender todos os requisitos estipulados pela DER.

A angularidade do agregado Graúdo que garante a resistência a deformação do asfalto.

3.1.6 Agregados Miúdos

Os agregados miúdos devem ser areia, pó de pedra, ou a mistura dos dois, que passem pela peneira de 4,8 mm, esse material deve ser obtido igual ou superior a 55%. As partículas devem ser resistentes e livres de outras substâncias. É definido em função do nível do tráfego e local para resistência no pavimento, também ajuda a resistência a deformação permanente.

3.1.7 Material de Enchimento.

O material de Enchimento deve ser de natureza mineral como cimento Portland, cal extinta, cinzas volantes, deve estar seco e limpo. O papel do filler é de preencher os vazios, aumenta a viscosidade, incrementa o ponto de amolecimento, na estabilidade, no módulo de resiliência, na resistência da mistura, para isso a granulometria deve atender a Quadro 2

Quadro 2 Granulometria do filler

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
n° 40	0,42	100
n° 80	0,18	95 – 100
n° 200	0,075	65 – 100

(DER 07/2005)

3.1.8 Melhorador de Adesividade.

Sempre que o ligante asfáltico e os agregados não tiverem boa adesividade, é necessário o aditivo, conforme a AASHTO T 283.

A NBR 12583 e NBR 12584 Determina a adesividade dos agregados a ligante betuminoso.

3.1.9 Composição da Mistura

A composição do concreto asfáltico, deve ser em função da sua utilização. E deve seguir as recomendações da Norma DNIT 031/2006- ES conforme o Quadro 3, 4 e 5.

Quadro 3 Composição das misturas

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

(DNIT 031/2006-ES)

Quadro 4 Porcentagem de ligantes.

Características	Método de Ensaio	Camadas de Rolamento e Reperfilagem	Camada de Ligação (Binder)
Estabilidade mínima, kN (75 golpes no ensaio Marshall)	NBR 12891 ⁽⁹⁾	8	8
Fluência (mm) Fluência (0,01")	NBR 12891 ⁽⁹⁾	2,0 a 4,0 8 a 16	2,0 a 4,0 8 a 16
% de Vazios Totais		4	4 a 6
Relação Betume Vazios – RBV (%)		65 a 80	65 a 75
Vazios do agregado mineral – VAM (%)		Ver Tabela 4	-
Concentração crítica de filler *	ES P00/26 ⁽¹⁰⁾	< 90% Cs	< 90% Cs
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 25°C, mínima, MPa	NBR 15087 ⁽¹¹⁾	0,80	0,65
Resistência a danos por umidade induzida, mínimo, %	AASHTO T 283 ⁽¹²⁾	70	

* a concentração crítica de filler: valor da concentração máxima em volume de filler admitida no sistema filler-asfalto.

(DER-ET-DE-P00-027)

Quadro 5 Índice de vazios

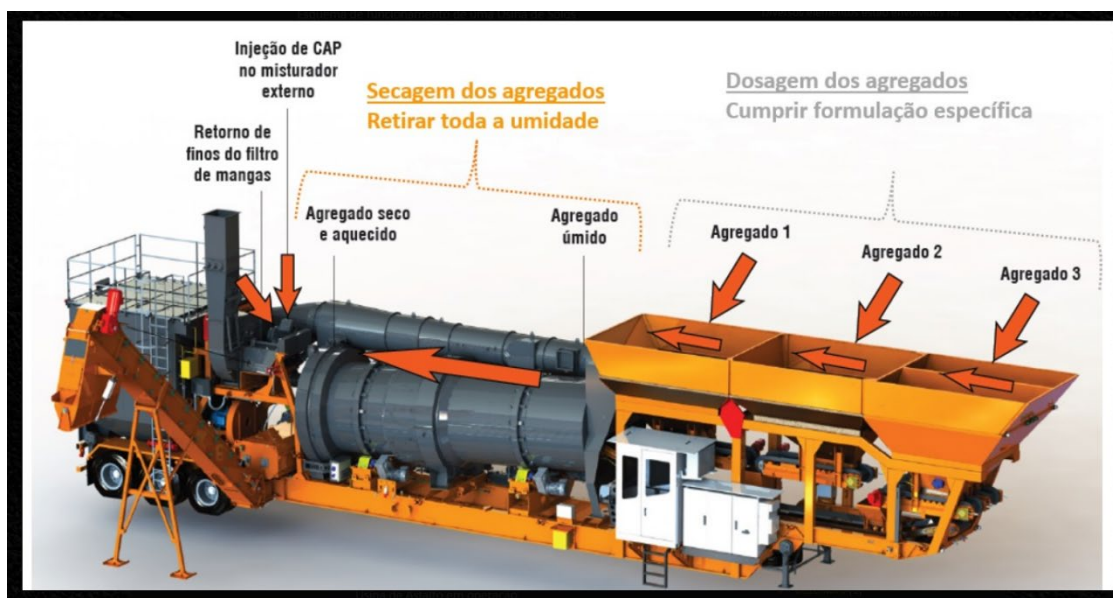
VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	m m	
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

(DNIT 031/2006-ES)

3.2 PRODUÇÃO.

As utilizações de materiais em dosagens adequadas evitam determinadas patologias, como exsudação, deformação plástica, fissuração por fadiga, reflexão de fissuras. Para isso a produção e equipamentos conforme DNIT 031/2006-ES e DER ET-DE-P00/027 é importante para um bom desempenho.

Figura 4 Produção e Equipamentos



(blogspot,2018)

3.3 EQUIPAMENTOS.

Todo equipamento para a execução deve ser examinado e aprovado pelo DER/SP e ser adequados para o local de serviço.

3.3.1 Depósito para Cimento Asfáltico.

Deve ser capaz de dispositivos capazes de aquecer o material conforme DNIT 031/2006-ES.

Sem o contato direto a chamas, sendo aquecido de forma induzida através de serpentinas a vapor, elétricas a óleo. Evitar superaquecimento localizado, Ser capaz do aquecimento a temperaturas limitadas, Deve garantir a circulação contínua e

evitar a perda de calor no trajeto do depósito ao misturador. Sua capacidade ser suficiente a 3 dias de serviço.

3.3.2 Depósito de agregados.

Cada agregado deve ser estocado separadamente onde não há mistura de granulometria. Em local coberto, drenado, e sem contaminações de agentes externos. Sua estocagem deve ser breve, sendo necessário a transferência para a área de preparo o mais breve possível.

3.3.3 Silos para Agregados.

Os silos terão que possuir capacidade de no mínimo 3 vezes a capacidade total do misturador, ser dividido por compartimentos para cada agregado, com dispositivos para descarga. Separar um local adequado para o filler conjugado com dispositivo para sua dosagem.

3.3.4 Usina para Mistura Asfálticas.

A usina é um conjunto de acessórios mecânicos e eletrônicos que compõe um equipamento para produção de misturas asfálticas. Deve ser capaz de possuir unidades classificadoras de agregados após a secagem, possuir controle de temperatura através de termômetros com precisão de 1°C, possuir uma cabine de comando e quadros de força, e sistemas semiautomáticos para pesagens e alimentadores. (Balbo, 2007)

3.3.5 Caminhão para Transporte.

O caminhão tem que ser do tipo basculante, com caçambas metálicas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas, para evitar a aderência desde que não sejam susceptíveis a dissolução do ligante asfáltico, e deve possuir lona para proteger a mistura.

3.3.6 Equipamento para espalhamento e acabamento.

O equipamento para pavimentados, terá que ser constituído de vibro-acabadoras, capaz de conformar e espalhar a mistura. Devem ser equipadas com alisadoras, e aquecedores, deve ser executada com a temperatura definida específica para a descarga da mistura.

3.3.7 Equipamentos para compactação.

Os equipamentos para compactação são constituídos por rolo pneumático, rolo metálico tipo liso, tipo tandem, ou rolos vibratórios. Para todos os tipos de rolos, devem ser possibilitadas de ser ajustada para cada caso. Os Rolos metálicos lisos, são para a compactação inicial, em seguida os pneumáticos permitem ajuste de pressão, geralmente usado para obter de 95% a 98% de compactação do asfalto, os Rolos lisos são utilizados para acabamento da superfície. (Balbo, 2007)

3.3.8 Ferramentas e equipamentos acessórios

Como complemento para a produção, dever ser utilizados os seguintes equipamentos e ferramentas:

Para compactação em áreas inacessíveis: Soquetes mecânicos, ou placas vibratórias

Para operações eventuais: Pás garfos e rodos

Limpeza da pista: vassouras rotativas e compressoras de ar e caminhão tanque irrigador.

3.4 EXECUÇÃO

Conforme a DER ET-DE-P00/027 não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. O concreto asfáltico deve ser fabricado transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

3.4.1 Preparo da superfície.

Antes da aplicação da mistura, a superfície deve estar isenta de qualquer substância prejudicial ao processo e qualquer defeito, deve ser reparado antes da sua aplicação.

3.4.2 Imprimação asfáltica

A imprimação asfáltica é a aplicação de um ligante asfáltico sobre uma camada da pavimentação. Além de diminuir a possibilidade de infiltração de águas pela superfície da camada, sua película deve ser homogênea para garantir sua aderência das camadas do pavimento deve ser executada obrigatoriamente com a barra espargidora. Após sua execução, é necessário esperar mais de sete dias para a aplicação da pintura.

3.4.3 Pintura Asfáltica.

Deve ser feita para aderência asfáltica entre camadas, serve também como selante em trincas inibindo a infiltração.

A aplicação das imprimações e pinturas deve ser executada com barras espargidoras fixadas em caminhões (Figura 4), ou bicos espargidores (Figura 5), que aplicam conforme as taxas devidas para cada material e finalidade.

Figura 5 Espargidora para imprimação e pintura



(Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR, 2009)

Figura 6 Bico Espargidora para imprimação e pintura



(Instituto de Pesquisas Rodovias - IPR, 2009)

3.4.4 Temperatura do Ligante

A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade definida pelo DENER-ME 004 indicando preferencialmente a viscosidade de 75 a 95 SSF “Saybolt-Furol”. A temperatura não deve ser inferior a 107°C e não exercer a 177°C.

3.4.5 Aquecimento dos agregados.

Deve ser aquecido a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante, não deve ultrapassar 177°C.

3.4.6 Produção do concreto asfáltico.

Conforme já especificado anteriormente em “Produção”. A usina deve ser calibrada para as características desejadas da mistura. O agregado deve ser homogeneizado com a pá carregadeiras antes de serem colocados nos silos frios, que devem ser ajustados conforme a granulometria e dosagem dos agregados para evitar desperdícios,

A produção na usina só deve iniciar quando todos os equipamentos estiverem em condições de uso para evitar a diminuição da temperatura da mistura.

3.4.7 Transporte do concreto asfáltico.

O concreto asfáltico transportado por veículos especificados anteriormente, da usina até o local de aplicação sem que a temperatura especificada se altere. Cada caçamba deve ser coberta com lonas impermeáveis para proteger a massa específica de chuvas, contaminações por partículas e perdas de temperaturas por permanência da mistura no caminhão.

3.4.8 Distribuição da mistura.

A distribuição deve ser feita por equipamentos específicos, dependendo do emprego do asfalto, deve ser usada numa ou mais acabadoras, esta previamente aquecida a temperaturas necessárias para o acabamento, em caso de camada acabada irregular, deve ser feita o reparo manualmente por rodos metálicos, sendo evitado esse reparo no máximo já que essa ação prejudica a qualidade do serviço. O tipo de acabadora deve ser definido conforme sua função e capacidade de produção da usina sua velocidade é de 2,5 e 10,0 m/min.

3.4.9 Compactação da mistura.

A compactação deve ter início logo após a distribuição do concreto, a temperatura da rolagem deve ser mais elevada que a mistura pode suportar, deve ser utilizado os rolos respectivos para sua finalidade, e aplicação, não deve mudar de direção bruscamente, o equipamento não deve ser estacionado sobre o revestimento. (Balbo, 2007 p. 184)

3.4.10 Objetivos da correta compactação.

Prevenir as compactações futuras de pneus de veículos pesados;
Garantir a adequada resistência ao cisalhamento do revestimento;
Garantir os vazios necessários para permeabilidade da superfície;
Garantir a permeabilidade necessária para evitar oxidação.

3.4.11 O que deve evitar.

A mistura não deve segregar; afundar e exsudar; temperatura inferior a especificada, pois ela resulta em perda da estabilidade da mistura, diminui a resistência a tração, perda de peso específico, aumento dos vazios, maior deformação plástica, menor resistência a fadiga, baixo desempenho do revestimento, maior chance de fissura no topo das camadas.

3.4.12 Fatores que determinam qualidade da compactação da mistura.

Materiais: como teor de ligantes, propriedades físicas e químicas, composição granulométrica dos agregados, forma e diâmetros dos grãos, volume e faces fraturadas.

Produção: Tipo de usina, tempo de transporte até a obra, caçambas térmicas, emprego de rolos adequados, números de passadas velocidades de rolagem, deformidades das camadas inferiores.

Ambiente: Temperatura ambiente, do ar, da camada de apoio, chuva, umidade do ar, radiação solar e velocidade do vento.

3.4.13 Acabamento.

Para garantir um acabamento adequado, é executado juntas transversais e longitudinais sem irregularidades nas juntas, uso de vibro- acabadoras, e deve ser compactado as emendas em todo o reinício de trabalho.

3.4.14 Abertura ao tráfego.

O tráfego só será liberado quando o concreto asfáltico atingir o total resfriamento atingindo a temperatura ambiente.

4. ASFALTO BORRACHA

O Asfalto Borracha é a mistura da borracha do pneu moído ao ligante asfáltico, sendo possível o processo de 2 maneiras, a forma seca onde os grãos são misturados aos agregados, e a úmida, onde a mistura é incorporada ao CAP. (Cimento Asfáltico de Petróleo).

A partir deste estudo que se baseia na via úmida, a borracha moída, em partículas que passam a partir da peneira n° 40, e que corresponde de 15 a 20 % da massa do ligante. Não pode conter água, nem espumar quando aquecido a 175°C, deve-se realizar ensaios, satisfazer e respeitar todos os limites.

É indicado para rodovias, vias locais de volume de trânsito moderado, alto e muito pesado. Ver aplicações.

A pavimentação contendo mistura de concreto asfáltico e de asfalto borracha, são parecidas. Como temperatura do ligante, temperatura do lançamento e materiais.

O principal objetivo da mistura é melhorar os ligantes. Em pesquisas realizadas desde as décadas de 70, engenheiros e químicos, vem tentando melhorias nos ligantes asfálticos com o uso da borracha (ODA, 2000).

Figura 7 Asfalto Borracha



(2017))

4.1 MATERIAIS

Conforme a especificação técnica do DER (Departamento de Estradas e Rodagens) o Asfalto Borracha de constituir os seguintes materiais:

4.1.1 Cimento asfáltico modificado com borracha

No CAP modificado com asfalto borracha, sua mistura e composição devem ser estudados em laboratório com equipamentos e condições térmicas adequadas. Deve conter teor mínimo de borracha de 15% em massa, o fabricante deve definir a estocagem máxima, garantir a mistura através de atestados e ensaios. Deve atender exigências do DER/SP Quadro 6. A mistura deve conter borracha de pneu reciclado moído.

De todo cimento asfáltico modificado com borracha, deve ser retirado uma amostra para análises posteriores. Sua classificação é por sua penetração (Quadro 7).

Quadro 6 Propriedades do ligante asfáltico.

Características	Exigência		Método ABNT
	Mínima	Máxima	
Viscosidade Brookfield a 175 °C, cP	800	2000	ASTM D 2196 ⁽¹⁾
Penetração, 100 g, 5 s, 25 °C, 0,1 mm	25	75	NBR 6576 ⁽²⁾
Ponto de amolecimento, °C	55	-	NBR 6560 ⁽³⁾
Recuperação elástica por torção, %	50	-	NLT 329 ⁽⁴⁾
Ponto de fulgor, °C	235	-	NBR 11341 ⁽⁵⁾
Densidade relativa, 25 °C	1,00	1,05	NBR 6296 ⁽⁶⁾
Ensaio no resíduo do RTFOT			
- variação em massa, %	-	1,0	NBR 15235 ⁽⁷⁾
- percentagem de penetração original	50	-	

(DER/SP)

Quadro 7 Penetração do CAP modificado com borracha

Características	Unid.	Asfalto Borracha		Métodos de ensaio
		Tipo AB 8	Tipo AB 22	
Penetração, 100g, 5s, 25°C	0,1mm	30-70	30-70	DNER ME 003/99
Ponto de Amolecimento, min, °C	°C	55	57	DNER ME-247/94
Viscosidade Brookfield, 175°C, 20rpm, Spindle 3	cP	800-2000	2200-4000	NBR 15529
Ponto de Fulgor, min	°C	235	235	DNER ME 148/94
Recuperação Elástica Ductilômetro, 25°C, 10 cm, min	%	50	55	NBR 15086:2006
Estabilidade à estocagem, máx	°C	9	9	DNER ME-384/99
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C:				
– Variação em massa, máx.	%	1	1	NBR 15235:2006
– Variação do Ponto de Amolecimento, máx	°C	10	10	DNER ME-247/94
– Porcentagem de Penetração Original, mín.	%	55	55	DNER ME 003/99
– Porcentagem da Recuperação Elástica Original, 25°C 10cm, mín.	%	100	100	NBR 15086:2006

* Ensaio no resíduo do material resultante do ensaio NBR 15235:2006

(DER/SP)

4.1.2 Borracha

A borracha utilizada pode ser proveniente de automóveis ou caminhões, ou a mistura dos dois. A composição química da borracha depende do processo de fabricação, elasticidade, e estabilidade do produto e a porcentagem influenciam na viscosidade e ductilidade.

4.1.3 Tipos de borrachas

De automóveis, são feitas de borrachas sintéticas que fornece estabilidade térmica. De Caminhões, são feitas de borrachas natural, que fornece propriedades elásticas.

4.1.4 Tamanho das partículas.

Os tamanhos das partículas variam conforme seu processo, tipo de equipamento, temperatura etc. Existe dois processos para tal função.

Trituração, pelo processo mecânico em temperatura ambiente.

Criogênico, que consiste em submersão da borracha no nitrogênio em uma temperatura de -90°C a -200°C

4.1.5 Teor da borracha

O teor depende do tipo de aplicação, e do tamanho das partículas.

4.1.6 Agregados

A definição para os agregados na mistura é calculada conforme seu diâmetro e passagem pelo peneiramento. Sendo a peneira n°4 o limite para separação do agregado graúdo e miúdo, e a escolha dos agregados de boa forma melhoram a trabalhabilidade.

Deve ser inspecionado a britagem e os depósitos para garantir que não irá ter contaminações e mistura de agregados.

4.1.7 Agregado Graúdo

Pedra Britada, ou seixo rolado britado, as partículas devem ser limpas, o desgaste Los Angeles inferior a 50%, os graúdos obtidos em britagem de pedregulhos, 90% das matérias retidas na peneira n° 4 de 4,8 mm deve apresentar no mínimo uma face fragmentada pela britagem. O índice de forma deve ser superior a 0,5 e porcentagem de lamelares inferior a 120% e devem apresentar perda inferiores de 12 % quando submetidos a avaliações de durabilidade com sulfato de sódio e atender todos os requisitos estipulados pela DER.

4.1.8 Agregado Miúdo

Areia, pó de pedra, ou a mistura dos dois, que passem pela peneira de 4,8 mm. Esse material deve ser obtido igual ou superior a 55%. As partículas devem ser resistentes e livres de outras substâncias.

4.1.9 Material de Enchimento – Filler

A mistura de CAP com filler resulta em aumento da viscosidade, modificando o ponto de amolecimento, estabilidade e resistência da mistura. Por isso deve ser de natureza mineral, classificada conforme sua granulometria, obedecendo limites estabelecidos na Quadro 8.

Quadro 8 Granulometria de material de enchimento

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando
ASTM	mm	
n° 40	0,42	100
n° 80	0,18	95 – 100
n° 200	0,075	65 – 100

(DER, 02/2007)

4.1.10 Melhorador de Adesividade.

Sempre que o ligante asfáltico e os agregados não tiverem boa adesividade, é necessário o aditivo, conforme a AASHTO T 283.

A NBR 12583 e NBR 12584 Determina a adesividade dos agregados a ligante betuminoso.

4.1.11 Diluente.

Dependendo do teor do ligante e tipo, deve ser adicionado um diluente para facilitar a mistura dos componentes. Reduz a viscosidade do ligante para facilitar sua aplicação.

4.1.12 Composição da mistura.

A composição do concreto asfáltico, deve ser em função da sua utilização. E deve seguir as recomendações do DER/SP conforme as Quadros 9,10 e 11:

Quadro 9 Composição das Misturas

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

(DNIT 031/2006-ES)

Quadro 10 Porcentagem de Ligantes.

Características	Método de Ensaio	Camadas de Rolamento e Reperfilagem	Camada de Ligação (Binder)
Estabilidade mínima, kN (75 golpes no ensaio Marshall)	NBR 12891 ⁽⁹⁾	8	8
Fluência (mm) Fluência (0,01")	NBR 12891 ⁽⁹⁾	2,0 a 4,0 8 a 16	2,0 a 4,0 8 a 16
% de Vazios Totais		4	4 a 6
Relação Betume Vazios – RBV (%)		65 a 80	65 a 75
Vazios do agregado mineral – VAM (%)		Ver Tabela 4	-
Concentração crítica de filer *	ES P00/26 ⁽¹⁰⁾	< 90% Cs	< 90% Cs
Resistência à Tração por Compressão Diametral Estática a 25°C, mínima, MPa	NBR 15087 ⁽¹¹⁾	0,80	0,65
Resistência a danos por umidade induzida, mínimo, %	AASHTO T 283 ⁽¹²⁾	70	

* a concentração crítica de filer: valor da concentração máxima em volume de filer admitida no sistema filer-asfalto.

(DER-ET-DE-P00-027)

Quadro 11 Índice de vazios

VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	m m	
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

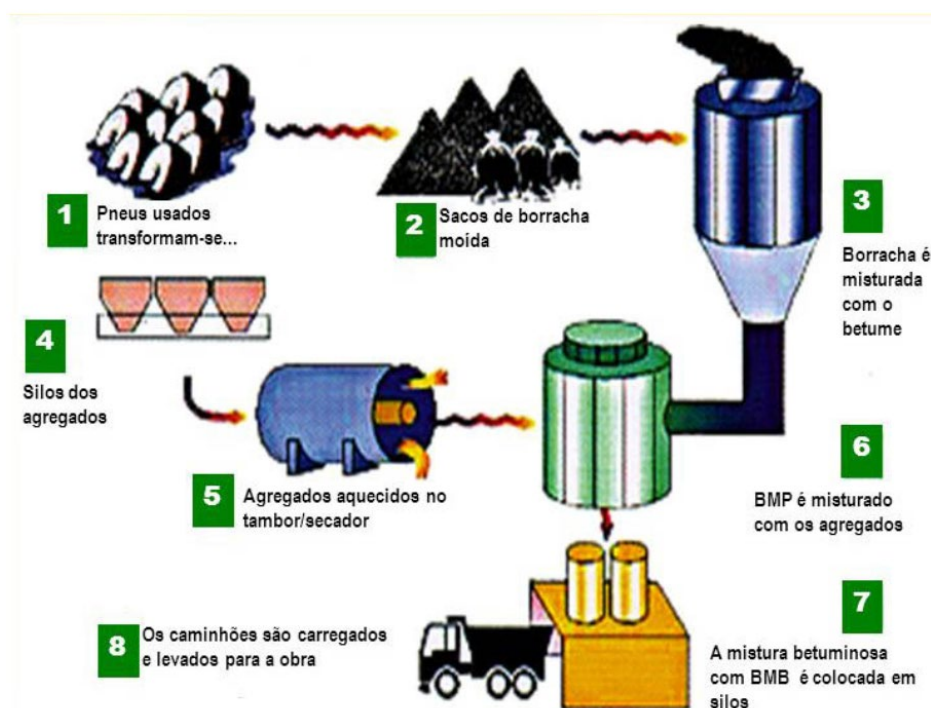
(DNIT 031/2006-ES)

4.2 PRODUÇÃO.

Deve ser em usina adequada e capacitada para a utilização do concreto asfalto misturado com borracha.

A produção do concreto asfalto borracha, deve ter acompanhamento laboratorial e ensaios necessários, deve obedecer a metodologia do DER/SP.

Figura 8 Produção do asfalto borracha



(ODA,2000)

4.3 EQUIPAMENTOS.

Todo equipamento deve ser aprovado pelo DER/SP.

4.3.1 Caminhões para transporte do ligante.

A caçamba deve possuir bomba de circulação e serpentinas com isolamento térmico para ser capaz de manter a temperatura do ligante.

4.3.2 Depósitos para ligantes asfalto borracha.

Deve possuir capacidade adequada

Capaz de aquecer o ligante na temperatura especificada.

Devem ser capazes de evitar superaquecimento.

Deve ser instalado agitadores mecânicos para circulação contínua

Durante todo o processo de operação.

4.3.3 Deposito para agregados.

Deve ser estocado em:

Locais drenados;

Locais cobertos;

Sem mistura de agregados;

Por homogeneidade

Por granulometria.

4.3.4 Silos para agregados.

Os silos devem ter capacidade de no mínimo 3 vezes a capacidade total do misturador, ser dividido por compartimentos para cada agregado, com dispositivos para descarga, deve haver um adequado para o filler conjugado com dispositivo para sua dosagem.

4.3.5 Usina para mistura asfáltica.

A usina é um conjunto de acessórios mecânicos e eletrônicos que compõe um equipamento para produção de misturas asfálticas. Deve ser capaz de possuir unidades classificadoras de agregados após a secagem, possuir controle de temperatura através de termômetros com precisão de 1°C, possuir uma cabine de comando e quadros de força, e sistemas semiautomáticos para pesagens e alimentadores.

Deve possuir capacidade para misturas de até 180°C e possuir misturador externo ao tambor secador tipo *pug-mill*.

4.3.6 Caminhão para transporte da mistura.

O caminhão deve ser do tipo basculante, com caçambas metálicas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas, para evitar a aderência desde que não sejam susceptíveis a dissolução do ligante asfáltico, e deve possuir lona para proteger a mistura.

4.3.7 Equipamento para distribuição e acabamento.

Os caminhões possuem vibro-acabadoras equipadas com esteiras metálicas, equipadas com parafusos sem fim, e esqui eletrônico, deve estar equipada com alisadoras, aquecedores da mistura, para a correta temperatura, e sistemas de vibração para um pré compactação e devem capazes de conformar, a mistura no alinhamento cotas e abaulamentos definidos pelo projeto.

4.3.8 Equipamentos para compactação.

Os equipamentos devem ser constituídos por rolo pneumático, rolo metálico tipo liso, tipo tandem, ou rolos vibratórios. Para todos os tipos de rolos, devem ser possibilitadas de ser ajustada para cada caso. Os Rolos metálicos lisos, são para a compactação inicial, em seguida os pneumáticos permitem ajuste de pressão, geralmente usado para obter de 95% a 98% de compactação do asfalto, os Rolos lisos são utilizados para acabamento da superfície.

4.3.9 Ferramentas e equipamentos acessórios

Como complemento para a produção, dever ser utilizados os seguintes equipamentos e ferramentas:

- a) Para compactação em áreas inacessíveis: Soquetes mecânicos, ou placas vibratórias
- b) Para operações eventuais: Pás garfos e rodos
- c) Limpeza da pista: vassouras rotativas e compressoras de ar e caminhão tanque irrigador.

4.4 EXECUÇÃO.

Conforme a DER ET-DE-P00/030 não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva. O concreto asfáltico deve ser fabricado transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

4.4.1 Preparo da superfície.

A superfície deve estar limpa e isenta de qualquer pó ou partículas contaminantes, e reparos feitos previamente a aplicação.

4.4.2 Imprimação asfáltica.

A imprimação é aplicada obrigatoriamente com a barra espargida a, somente utilizar canetas ou regador em locais de difícil acesso, deve apresentar película homogênea e adequadas condições de aderência, dever ser feita uma nova imprimação quando não obtiver uma boa aderência.

4.4.3 Pintura asfáltica.

A pintura asfáltica é aplicada conforme o item.3.4.3.

O tráfego de caminhões para lançamento do asfalto borracha sobre a pintura só é permitido após o rompimento e cura do ligante.

4.4.4 Produção do concreto asfalto borracha.

A usina que produzir o concreto asfáltico, deve ser calibrada conforme as características desejadas da mistura.

O agregado deve ser homogeneizado com pá carregadeira antes de ser colocados nos filos

Os silos devem ser ajustados de acordo com o agregado, evitando sobras.

A temperatura deve ser empregue conforme a imposta pelo fabricante, nos limites de 165°C a 175°C

Fazer ajustes necessários quando houver variações de temperatura constantes.

Aquecer os agregados a 10°C acima da temperatura definida do ligante, desde que não ultrapasse 180°C.

A carga dos caminhões deve evitar segregação. Da mistura.

Iniciar quando todos os equipamentos estiverem em condições de uso para evitar a diminuição de temperaturas.

4.4.5 Transporte do concreto asfáltico- borracha.

Transportado em caminhões basculantes atendendo o item 3.4.7 para que a aplicação ocorra na temperatura correta devem ser cobertas por lonas para evitar chuvas, contaminação por poeiras, partículas e queda de temperaturas. O tempo máximo no caminhão depende dos limites de temperaturas.

4.4.6 Distribuição da mistura.

A distribuição é feita por equipamentos específicos, previamente aquecidos a temperatura compatível a mistura a ser distribuída, a mistura deve apresentar textura uniforme a irregularidade deve ser corrigida manualmente através de rodos metálicos. Na descarga o caminhão é empurrado pela acabadora, que é definida em função da capacidade da usina.

4.4.7 Compactação da mistura.

A compactação tem início logo após a distribuição do asfalto borracha, deve iniciar com a maior temperatura permitida na mistura, e sua limitar até 150°C sua aplicação, conforme DER/SP.

4.4.8 Juntas

Para as juntas transversais e longitudinais sem irregularidades o uso de vibro-acabadoras é necessário e deve ser compactado as emendas em todo o reinício de trabalho. Garantir um acabamento adequado.

4.4.9 Abertura ao trafego.

O trafego só será liberado quando o asfalto atingir total resfriamento, atingindo a temperatura ambiente.

5. MATERIAL E MÉTODO.

O ensaio é extremamente importante para a Engenharia Civil, principalmente na área de transporte e projeto de vias. Eles agregam segurança para a execução de todas as etapas da pavimentação, visto que os materiais foram submetidos a testes de qualidade e verificados se realmente podem ser utilizados ou não para tal finalidade.

Os ensaios que mencionados são retirados das normas. Com os materiais necessários e equipamentos aprovados, foram executados para comparação do concreto asfáltico e asfalto modificado com borracha. Realizando os ensaios estipulados em laboratório equipado e aprovado pela norma, com a supervisão de um engenheiro responsável e laboratorista autorizado.

5.1 ENSAIO DE AGREGADOS.

5.1.1 Granulometria.

Utilizando a norma do DNER-ME 83/98 para a realização do ensaio de granulometria.

O objetivo desse ensaio é fixar o procedimento para análise granulométrica de agregados miúdos e graúdos, por peneiramento.

São necessários para execução do ensaio os seguintes aparelhos:

Agitador mecânico de peneiras, com dispositivo para fixação de até seis, tampa e fundo.

Peneiras de malhas quadradas conforme a DNER-ME 35/98, Quadro 12.

Quadro 12 Graduação para ensaio

Peneiras Abertura em mm		Amostra - massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
63	50	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
50	38	—	—	—	—	5000 ± 50	5000 ± 50	—
38	25	1250 ± 25	—	—	—	—	5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25	—	—	—	—	—	5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
9,5	6,3	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
6,3	4,8	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
4,8	2,4	—	—	—	5000 ± 10	—	—	—
Massas totais em gramas		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Nº de rotações do tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

(DNER ME- 35/98)

Balança com capacidade de 20 kg, sensível a 1 g.

Estufa com dimensão apropriada, capaz de manter temperatura entre 105 e 115°C.

Escovas apropriadas para limpeza de peneiras

Repartidores de amostra

Tabuleiros metálicos de 50cm x30cm x6cm.

A Amostra de campo é coletada atendendo a todas as normas e misturada para remessa ao laboratório após sua redução. No laboratório ela é reduzida por quarteamento ou uso de repartidores de amostra, nas quantidades conforme a Quadro 13.

Quadro 13 Massa mínima por amostra de ensaio

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
agregados miúdos: 4,8	1
agregados graúdos: 9,5	5
19,0	7
25,0	10
38,00	15
50,00	20

(DNER 83/98)

O ensaio é realizado pelo peneiramento mecânico, após colhida as amostras e repartidas, deve-se secar em estufa entre 105°C a 115°C, e esfriada a temperatura ambiente e determinada a massa total.

As peneiras são previamente limpas e encaixadas no agitador de peneiras, de modo a formar um conjunto de peneiras, com abertura de malha em ordem crescente da base para o topo, com um fundo adequado ao conjunto.

Colocada a quantidade da amostra sobre a peneira superior do conjunto, de modo a evitar formação de camada espessa de material sobre qualquer uma das peneiras. Se o material apresentar quantidade significativa de materiais pulverulentos, ensaiar as amostras conforme a DNER-ME. É realizado o peneiramento na série de peneiras especificada ao caso pertinente, pela agitação mecânica do conjunto. Ele deve ser continuado até que não mais que 1% da massa total da amostra passe em qualquer peneira, durante 1 minuto. Em seguida, é pesado com aproximação de 0,1% sobre a massa da amostra total, o material retido em cada peneira, com a porção que tenha ficado presa nas malhas, que é retirada com uma escova apropriada. O somatório de todas as massas retidas não deve diferir de mais de 0,3% da massa seca inicialmente colocada no conjunto de peneiras.

Caso não haja possibilidade de ser feito o peneiramento mecânico, realiza-se o manual, aplicado inicialmente na peneira de maior abertura e subsequentemente

nas demais da série. As massas retidas em cada peneira, nas tolerâncias permitidas, são aplicadas nos cálculos para obtenção dos resultados. A agitação é feita em movimentos laterais e circulares alternados, tanto horizontal, quanto vertical e inclinado.

Após realizado o ensaio, somam-se as massas retidas e compara este total com a massa inicial, havendo diferença de 0,5% deve repetir o processo.

Para saber a porcentagem da amostra total seca retida, pega a massa retida em cada peneira, e calcula em relação a massa da amostra total seca.

Soma-se a porcentagem retida na peneira com as porcentagens retidas nas peneiras de aberturas maiores, para descobrir a porcentagem acumulada de material seco em cada peneira.

A porcentagem de material seco passando em cada peneira é obtida subtraindo de 100% a porcentagem acumulada

5.1.1.1 Realização do Ensaio

Conforme a Norma orienta, separamos os agregados através quarteamento, onde a quantidade total do material foi dividida em 4 partes pelo processo da figura 9.

Figura 9 Processo para ser quarteado



(Autoria Própria ,2018

Separamos uma parte, que foi secada em estufa e iniciamos o processo de peneiramento manual, onde foram passados pelas peneiras especificadas pela norma, na figura 10.

Figura 10 Modelos de peneiras utilizadas



(Autoria Própria, 2018)

Cada amostra retida nas peneiras é pesada, dividida pela massa inicial, e multiplicada por 100.

Os valores obtidos foram inseridos na planilha (Quadro 14), a fim de obtermos a quantidade de cada material por peneira.

Quadro 14 Composição granulométrica

COMPOSIÇÃO GRANULOMÉTRICA DA MISTURA DE AGREGADOS									
PENEIRA	BRITA 1 (7/8" pol) 10,5 %		PEDRISCO (7/16" Pol) 36,0 %		PÓ DE PEDRA SECO 52,0 %	Cal Hidratado tipo CH-1 1,5 %	TOTAL 100		
1 1/2	100,0	x 0,11 = 10,5	100,0	x 0,36 = 36,0	100,0	x 0,52 = 52,0	100,0	x 0,02 = 1,5	100,0
1"	100,0	x 0,11 = 10,5	100,0	x 0,36 = 36,0	100,0	x 0,52 = 52,0	100,0	x 0,02 = 1,5	100,0
3/4	91,8	x 0,11 = 9,6	100,0	x 0,36 = 36,0	100,0	x 0,52 = 52,0	100,0	x 0,02 = 1,5	99,1
1/2	28,5	x 0,11 = 3,0	100,0	x 0,36 = 36,0	100,0	x 0,52 = 52,0	100,0	x 0,02 = 1,5	92,5
3/8	10,3	x 0,11 = 1,1	93,7	x 0,36 = 33,7	100,0	x 0,52 = 52,0	100,0	x 0,02 = 1,5	88,3
4	2,9	x 0,11 = 0,3	20,8	x 0,36 = 7,5	98,9	x 0,52 = 51,4	100,0	x 0,02 = 1,5	60,7
10	2,3	x 0,11 = 0,2	4,4	x 0,36 = 1,6	73,0	x 0,52 = 38,0	99,3	x 0,02 = 1,5	41,3
40	1,9	x 0,11 = 0,2	3,0	x 0,36 = 1,1	33,7	x 0,52 = 17,5	97,2	x 0,02 = 1,5	20,3
80	1,4	x 0,11 = 0,1	2,3	x 0,36 = 0,8	18,9	x 0,52 = 9,8	94,8	x 0,02 = 1,4	12,2
200	0,7	x 0,11 = 0,1	1,5	x 0,36 = 0,5	10,8	x 0,52 = 5,6	88,0	x 0,02 = 1,3	7,5

↓
valores inseridos

(Autoria própria, 2018)

Seguindo o item para a definição do agregado, para a Brita 1 foi definido a composição percentual de 10.5%, Pedrisco 36%, Pó de pedra 52% e Cal 1,5%. Figura 11.

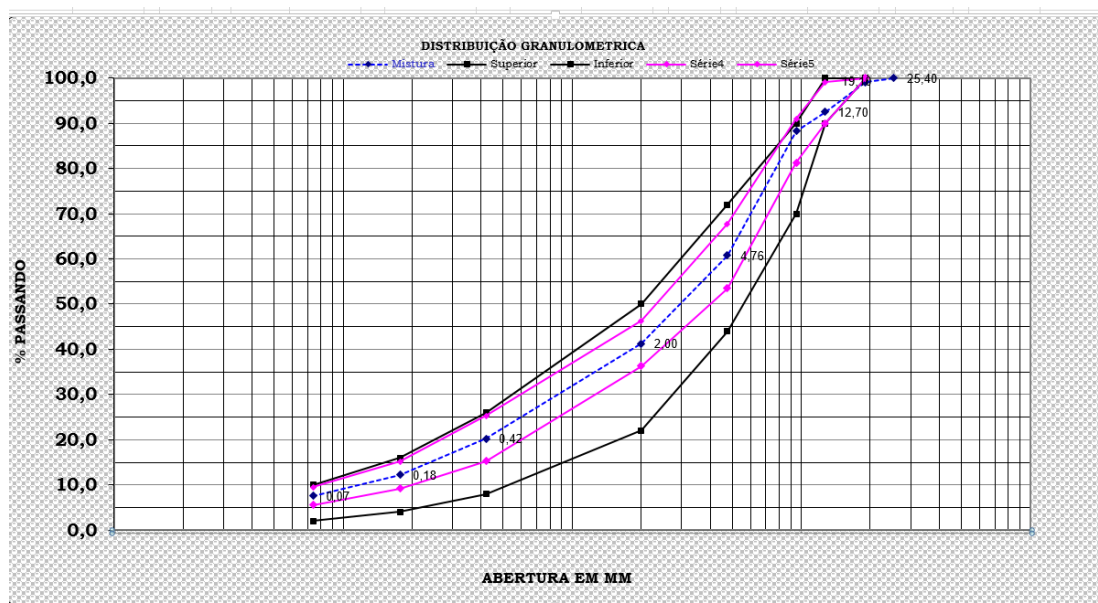
Sendo possível a definição pelo gráfico de distribuição granulométrica como no Quadro 15.

Figura 11 Separação dos agregados por granulometria



(Autoria Própria, 2018)

Quadro 15 Distribuição granulométrica



(Autoria Própria,2018)

5.1.2 Massa específica agregado miúdo.

Seguindo a norma do DNER-ME 194/98. O objetivo desse ensaio é prescrever o processo para determinar a massa específica de agregados para concreto pelo frasco de Chapman.

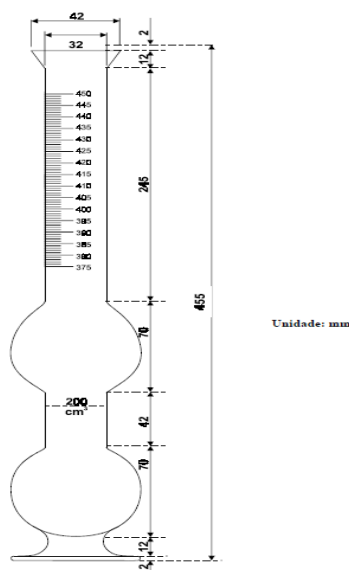
A norma define massa específica como relação entre massa do agregado seco em estufa até a constância de massa e o volume igual do sólido, incluindo os poros impermeáveis.

Os agregados miúdos utilizados nesse ensaio são cujos grãos passam pela peneira ABNT 4,8mm e ficam retidos na peneira ABNT 0,075mm.

Os aparelhos utilizados são:

- Balança, que tenha capacidade mínima de 1 kg e sensibilidade de 1g ou menos.
- Frasco, de vidro composto de dois bulbos e um gargalo graduado (Figura 12). O frasco deve ser inicialmente aferido, verificando-se os devidos volumes correspondentes às graduações.

Figura 12 Frasco de Chapman



(DNER-ME 194/98)

A amostra do agregado deve ser colhida de acordo com o estabelecido pelo DNER-PRO 120/97, e seca em estufa (105°C a 110°C), até constância de massa.

Para a execução deve-se iniciar colocando água no frasco até 200 cm³, deixando em repouso para que a água aderida as faces internas do frasco ocorram totalmente; introduz, cuidadosamente, 500g de agregado miúdo seco no frasco, e imediatamente agita para eliminação de bolhas de ar. A leitura do nível atingido pela água do gargalo indica o volume, em cm³, ocupado pelo conjunto água- agregado miúdo.

O cálculo para definir a massa específica é feito pela Equação 1.

$$\gamma = \frac{500}{L-200} \quad (1)$$

Sendo :

γ a massa específica do agregado miúdo, expressa em g/cm³.

L a leitura no frasco (volume ocupado pelo conjunto água-agregado miúdo)

Duas determinações, feitas com as amostras do mesmo agregado não devem diferenciar 0,05 g/cm³ entre si. E o resultado é dado com três algarismos significativos.

5.1.2.1 Realização do Ensaio de Massa específica agregado miúdos

Para especificar a massa dos agregados miúdos, realizamos todos os procedimentos necessários, separando o material que ficou retido na peneira 2,5 mm, anotado o valor do material pesado seco, e depois colocando no frasco especificado pela norma, com água conforme a Figura 13.

Figura 13 Massa específica



(Autoria Própria,2018)

5.1.3 Absorção

Utilizando a norma do DNER-ME 81/98 que estabelece o método para determinar a absorção de água dos agregados.

É definido como absorção o aumento da massa de agregado, devido ao preenchimento por água de seus vazios permeáveis, expresso como porcentagem de sua massa seca.

Os aparelhos necessários para execução do ensaio são:

Balança que possua resolução mínima de 1g até 20 kg.

Recipiente para amostra que não permita perda de material e a retenção de ar quando submerso, capacidade de 4000 cm³ a 7000 cm³. Recomenda-se que o fio de suspensão do cesto ou balde tenha o menor diâmetro possível.

Tanque d'água impermeável apresentando volume suficiente para manter totalmente submerso o recipiente para amostra do agregado.

Estufa capaz de manter a temperatura entre 105°C e 110°C

Repartidor de amostras de 3 cm de abertura

Peneiras de 2 mm e 4,75 mm de abertura

Tabuleiro de 45x25x5 cm

Baqueta metálica de 30 cm de comprimento e 6 mm de diâmetro.

É coletada a amostra, e desprezado todo material que passa na peneira 4,8mm, caso a maior parte do material passe nessa peneira, deve ser ensaiado segundo a DNER-ME 194/98

Para a realização do ensaio, deve lavar a amostra sobre a peneira 4,8 mm e secar até constância de massa, à temperatura entre 105°C e 110°C. Resfriar a temperatura ambiente entre 1h a 3h para amostra de dimensão máxima característica até 38 mm ou períodos maiores para dimensão maior, de modo que o agregado possua uma temperatura que permita o manuseio. Sequentemente emergir o agregado em água, a temperatura ambiente anotada em um período de 24+-4 horas, tendo cuidado de agitar para expulsar as bolhas de ar.

Remover a amostra da água e espalha-la sobre um pano absorvente no tamanho adequado até que as películas visíveis de água sejam eliminadas. Tomar os cuidados para evitar a evaporação de água dos poros durante a secagem. Após determinar a massa da amostra na condição saturada superfície seca e registrar o valor obtido, com aproximação de 0,5g.

Colocar, logo em seguida, o material no recipiente para amostra e imergi-lo completamente na água potável, a temperatura de 24°C. Fazer a leitura acoplando a haste do recipiente no prato da balança, colocada em nível acima do tanque.

Secar a amostra em estufa até a constância de massa, a temperatura de 105°C e 110°C e resfria-la ao ar, a temperatura ambiente, entre 1 hora e 3 horas, ou até o agregado atingir temperatura que seja suficiente para ser manipulado. Determinar a massa do agregado seco.

Realizar o cálculo abaixo para determinação de absorção. Equação 2

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

Sendo:

a a absorção do agregado, em porcentagem.

Ms a massa, ao ar, do agregado seco em estufa, em g;

Mh a massa, ao ar, do agregado na condição saturada superfície seca, em g.

O resultado da absorção deve ser expresso com o número de algarismos significativos suficientes, com aproximação de 0,1%. Não deve diferir em mais de 0,25% os resultados de duas determinações consecutivas, quando possuir absorção menor que 2%.

5.1.3.1 Realização do Ensaio de Absorção

O ensaio de absorção foi realizado conforme a especificação contida na norma, fizemos todo os procedimentos com a Brita 1 e Pedrisco (71/6"). Foi realizada a lavagem e depois secado em fogo os agregados (conforme a figura 14).

Figura 14 Lavagem e secagem dos agregados



(Autoria Própria, 2018)

A medição dos pesos saturado em superfície seca, peso saturado imerso em água e peso seco foi efetuada (Figura 15).

Figura 15 Amostra emergida e seca



(Autoria Própria, 2108)

5.2 ENSAIO MISTURAS BETUMINOSAS.

5.2.1 Ensaio Marshall e Fluência

Conforme menciona a norma do DNER-ME 43/95, esse ensaio, apresenta os procedimentos para determinar a estabilidade e a fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico ou alcatrão, a quente, para uso em pavimentação, por meio da aparelhagem Marshall.

É definido como estabilidade Marshall a resistência máxima a compressão radial, apresentada pelo corpo de prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf).

A fluência marshall é a deformação total apresentada pelo corpo de prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetro.

Os equipamentos necessários são:

Prensa capaz de aplicar cargas até 39,2 kN com erro inferior de 24,5kN mecânica ou manual, com embolo movimentando a uma velocidade de 5 cm por minuto, equipada com um anel dinamômetro com capacidade de 22,2 kN, com as sensibilidades de 44,5kN até 4,45kN e de 111,2kN entre 4,45 kN e 22,2 kN, equipado com um defletômetro, com graduação de 0,0025mm para medir encurtamentos e avaliação de carga.

Molde de compactação de aço, consistindo de anéis superior e inferior e de uma placa base. A placa base e o anel superior devem encaixar-se perfeitamente nas extremidades do anel inferior.

Repartidores de amostra de 1,3 cm e de 2,5 cm de abertura.

Estufa ou placa elétrica capaz de manter temperaturas de até 200°C, com variação de mais ou menos 2°C.

Balança com capacidade e 5kg, com resolução de 1g.

Bandeja metálica de 50cmx30cmx5cm.

Extrator de corpo de prova, de aço em forma de disco.

Peneiras 25, 19, 9.5, 4.8 e de 2 mm de abertura, com tampa e fundo.

Colher de metal, capacidade de 30-50ml, possuindo cabo com cerca de 25 cm.

Aparelhagem para mistura, preferencialmente mecânica, que produza uma ação homogênea na temperatura e tempo requeridos, e que a retirada seja simples, sem perda do material. Em caso de mistura manual, devem ser utilizados recipientes em aço estampado, fundo chato e munido de duas alças laterais, capacidade de 5 litros.

Recipiente de aço estampado, cilíndrico, munido de asa lateral de material isolante térmico e bico vertedor, capacidade de meio litro.

Termômetro de vidro, ou termômetro ode haste metálica com mostrador circular graduado de 2°C, para medir as temperaturas do agregado, betume e mistura betuminosa.

Termômetro graduado em 0,5°C para medição em banho d'água ou ao ar.

Espátula de aço com ponta arredondada, lâmina de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura.

Base de compactação, que deve ser instalada em nível, perfeitamente estável, livre de vibração ou trepidação.

Soquete de compactação de aço, com 4540 g de massa e altura de queda livre de 45,72 cm. A face de compactação do soquete é plana e circular. Recomendados dois soquetes.

Medidor de fluência, com graduações de 0,25mm.

Paquímetro com exatidão de 0,1mm.

Banho d'água com capacidade para 9 corpos de prova, provido de uma prateleira plana e perfurada, 50mm acima do fundo, para permitir a circulação de água por baixo dos corpos de prova. Nível d'água deve ficar, no mínimo, 3 cm acima dos corpos de prova, o aquecimento deve ser elétrico, com controle automático de temperatura para 60°C e 38°C.

Molde de compressão de aço

Luva de amianto, mão esquerda, com proteção de couro na face externa da palma e dedos.

Relógio de alarme para intervalos de tempo até 60 minutos.

Parafina, pincel e papel filtro de 101,6mm de diâmetro

Pinça de aço inoxidável ou alumínio, para colocar e retirar os corpos de prova do banho d'água.

Na preparação de corpos de prova, temperatura que o ligante deve ser aquecido, para ser misturado aos agregados, é a que apresenta uma viscosidade de 170 (mais ou menos 20) cSt ou 85 (mais ou menos 10) sSF para o cimento asfáltico ou a viscosidade específica Engler de 25 (mais ou menos 3) para alcatrão.

A temperatura de compactação da mistura é a que o ligante apresenta uma viscosidade de 280 (mais ou menos 30) para cimento asfáltico, ou viscosidade específica Engler de 40 (mais ou menos 5) para o alcatrão.

Na preparação das misturas deve-se preparar no mínimo três corpos de prova para cada dosagem da mistura betuminosa. Conhecidas as porcentagens, em massa, em que os agregados e ligante betuminoso serão misturados, calcula-se a quantidade de cada um deles de produzir um corpo de prova.

Os agregados deverão ser secos até massa constante em estufa e separá-los nas seguintes frações.

I – 25 a 19 mm

II – 19 a 9,5 mm

III – 9,5 a 4,8 mm

IV – 4,8 a 2,0 mm

V – Passando na peneira de 2,0 mm

Os agregados são pesados para um corpo de prova de cada vez, em recipientes separados, nas quantidades de cada fração mencionada anteriormente, que após a mistura com o ligante produza corpo de prova com cerca de 1200 g e aproximadamente 64 mm de altura.

A seguir, coloca-se os recipientes em placa quente ou estufa, e aquece a temperatura de aproximadamente 10°C a 15°C acima da temperatura de aquecimento do ligante estabelecida, não podendo ultrapassar 177°C.

Misturar os agregados de cada recipiente, e abrir uma cratera para receber o ligante que deve ser pesado. Efetuar a mistura rapidamente de 2 a 3 minutos, até completa cobertura, para ser colocada no molde de compactação.

O molde e a base do soquete devem estar limpos. Colocar o molde em posição no suporte de compactação e introduzir uma folha de papel filtro. Colocar a mistura de uma só vez. Acomodar a mistura quente com 15 golpes vigorosos no interior e ao redor do molde, e 10 no centro da massa, remover o anel superior e alisar a mistura com uma colher ligeiramente aquecida. Recolocar o anel e aplicar com o soquete o número determinado de golpes sobre a mistura, com altura de queda livre de 45,72 cm. Remover o anel superior e inverter o anel inferior e forçar com o soquete a mistura até atingir a placa base, e aplicar o mesmo número de golpes no corpo de prova invertido. Deve ser feito 75 golpes de cada lado, e deve constar no relatório.

Após a compactação, o corpo de prova é retirado e colocado numa superfície lisa e plana, deixado em repouso por 12 horas à temperatura ambiente. Devem ser tomados cuidados no manuseio para evitar fratura ou deformação.

Para determinar a estabilidade e a fluência, os corpos de prova serão imersos em banho maria a 60°C, para cimento asfáltico ou a 38°C para misturas com alcatrão, por 30 a 40 minutos. Ou colocados em estufas pelo período de 2 horas. Em seguida, cada corpo de prova é colocado no molde de compressão, conveniente limpo e com pinos guias lubrificadas, é posicionado na prensa segundo a geratriz e o medidor de fluência é colocado e ajustado na posição de ensaio. A prensa é operada de modo que o embolo se eleve a uma velocidade de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo de prova, observado no defletômetro pela indicação de um máximo. A leitura deste máximo será anotada e convertida em N.

A carga necessária para produzir o rompimento do corpo de prova, é anotada como estabilidade lida. Valor que deverá ser corrigido para espessura do corpo de prova ensaiado, através da Equação 3:

$$f = 927,23 * h^{(-1,64)} \quad (3)$$

Onde: f é fator

h é espessura do corpo de prova

Esse resultado é o valor da estabilidade Marshall.

O valor da fluência é obtido simultaneamente ao da estabilidade. Durante a aplicação da carga, a luva guia do medidor será firmada, com a mão, contra o topo do segmento superior do molde de compressão, diretamente sobre um dos pinos guias. A pressão sobre a luva do medidor de fluência deve ser relaxada no momento que houver o rompimento do corpo de prova, ocasião em que será lido e anotado o valor da fluência. Ela é a média dos valores obtidos em pelo menos três corpos de prova, expressa em 0,25 mm.

5.2.1.1 *Realização do Ensaio Marshall e Fluência*

O ensaio foi realizado seguindo a norma com 12 corpos de prova com CAP Convencional e 12 corpos de prova com CAP Borracha.

O procedimento para a realização do corpo de prova consta nesta norma. As imagens 16, 17, 18 e 19 mostram a realização desses processos.

Figura 16 Mistura para o Corpo de Provas.



(Autoria própria,2018)

Figura 17 Material para moldagem do corpo de prova



(Autoria própria, 2018)

Figura 18 Moldagem do corpo de prova



(Autoria Própria, 2018)

Figura 19 Retirada do corpo de prova do molde



(Autoria própria, 2018)

A moldagem dos corpos de prova do CAP Convencional foi definida através do quadro 18 para o Ensaio Marshall e Fluência.

Quadro 16 Definição dos corpos de Provas.

ASFALTO CONVENCIONAL

Teor	Massa	total	Teor	%Agre	P. Cap1	P.Cap 2	Agregado
4,00%	1.200,0	100,0%		96,0%	48,00		1.152,00
5,0%	1.200,0	100,0%		95,0%	60,00		1.140,00
5,5%	1.200,0	100,0%		94,5%	66,00		1.134,00
6,0%	1.200,0	100,0%		94,0%	72,00		1.128,00

#	Pass	% Ret	P. Ret	P.Acul		P. Ret	P.Acul
1'	0,0%						
3/4"	99,1%			4,00%			5,0%
1/2"	92,5%						
3/8"	88,3%	11,7%	134,78	134,78		133,38	133,38
4	60,7%	27,60%	317,95	452,74		314,64	448,02
10	41,3%	19,4%	223,49	676,22		221,16	669,18
40	0,0%						
80	0,0%			1152,00			1140,00
200	0,0%	41,3%	475,78	1.200,00		470,82	1.200,00

#	Pass	Ret	P. Ret	P.Acul		P. Ret	P.Acul
1'	0,0%						
3/4"	99,1%			5,5%			6,0%
1/2"	92,5%						
3/8"	88,3%	11,7%	132,68	132,68		131,98	131,98
4	60,7%	27,60%	312,98	445,66		311,33	443,30
10	41,3%	19,4%	220,00	665,66		218,83	662,14
40	0,0%						
80	0,0%			1134,00			1128,00
200	0,0%	41,3%	468,34	1.200,00		465,86	1200,00

(Autoria Própria,2018)

Onde foi moldado 3 Corpos de provas de teor 4,5; 3 Cp's de teor 5,0; 3 Cp's de teor 5,5 e 3 Cp's de teor de 6,0, totalizando 12 Cp's do CAP convencional (figura 20).

Figura 20 Corpos de prova de CAP convencional



(Autoria Própria, 2018)

E para o CAP Borracha seguimos o quadro 17.

Quadro 17 Definição dos Corpos de Provas Borracha

ASFALTO BORRACHA

Teor	Massa	total	Teor	%Agre	P. Cap1	P.Cap 2	Agregado
5,00%	1.200,0	100,0%		95,0%	60,00		1.140,00
5,5%	1.200,0	100,0%		94,5%	66,00		1.134,00
6,0%	1.200,0	100,0%		94,0%	72,00		1.128,00
6,5%	1.200,0	100,0%		93,5%	78,00		1.122,00

#	Pass	% Ret	P. Ret	P.Acul		P. Ret	P.Acul
1'	0,0%						
3/4"	99,1%			5,00%			5,5%
1/2"	92,5%						
3/8"	88,3%	11,7%	133,38	133,38		132,68	132,68
4	60,7%	27,60%	314,64	448,02		312,98	445,66
10	41,3%	19,4%	221,16	669,18		220,00	665,66
40	0,0%						
80	0,0%			1140,00			1134,00
200	0,0%	41,3%	470,82	1.200,00		468,34	1.200,00

#	Pass	Ret	P. Ret	P.Acul		P. Ret	P.Acul
1'	0,0%						
3/4"	99,1%			6,0%			6,5%
1/2"	92,5%						
3/8"	88,3%	11,7%	131,98	131,98		131,27	131,27
4	60,7%	27,60%	311,33	443,30		309,67	440,95
10	41,3%	19,4%	218,83	662,14		217,67	658,61
40	0,0%						
80	0,0%			1128,00			1122,00
200	0,0%	41,3%	465,86	1.200,00		463,39	1200,00

(Autoria Própria, 2018)

Onde foi moldado 3 Cp's de teor 5,0; 3 Cp's de teor 5,5; 3 Cp's de teor 6,0 e 3 Cp's de teor de 6,5, totalizando 12 Cp's do CAP Borracha (figura 21)

Figura 21 Corpos de prova de CAP Borracha



(Autoria Própria, 2018)

O asfalto borracha inicia com teor de 5% por já possuir um teor alto por conta da borracha.

O ensaio iniciou com os corpos de prova imersos em banho maria por 2 horas (figura 22) Em seguida, rapidamente, foi colocado e ajustado na prensa segundo a geratriz juntamente com o medidor de fluência, sendo feita as leituras da fluência e da estabilidade (figura 23).

Figura 22 Corpos de prova imerso



(Autoria própria,2018)

Figura 23 Leitura da estabilidade Marshall



(Autoria Própria, 2018)

5.2.2 Resistência à tração por compressão diametral

Conforme prescreve a Norma DNIT 136/2010, que prescreve o modo pelo qual se determina a resistência a tração de corpos de prova cilíndricos de misturas asfálticas, através do ensaio de compressão diametral.

A aparelhagem necessária é a seguinte:

Prensa mecânica, com sensibilidade inferior a 19,60 N, com embolo movimentando-se a velocidade de 0,7 a 0,9 mm/s

Estufa capaz de manter a temperatura entre 25°C e 60°C.

Sistema de refrigeração capaz de manter a temperatura em torno de 25°C.

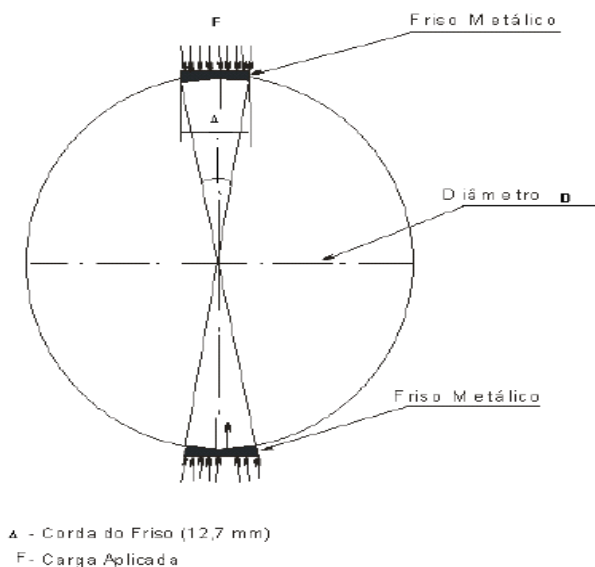
Paquímetro.

O corpo de prova destinado ao ensaio pode ser obtido diretamente na pista por extração, por meio de sonda rotativa ou moldado em laboratório, de forma cilíndrica, com altura entre 3,5 cm e 6,5 cm e diâmetro de aproximadamente 10 cm.

Para a realização do ensaio, mede-se a altura do corpo de prova com o paquímetro, em quatro posições equidistantes, adotar como altura o valor da média aritmética das leituras. Medir da mesma forma o diâmetro, em três posições paralelas e adotar o valor da média.

O corpo de prova será colocado em estufa ou sistema de refrigeração, por duas horas. Após esse período o corpo de prova é colocado com a superfície cilíndrica entre dois frisos metálicos, curvos em uma das faces com comprimento igual ao do corpo de prova, conforme a Figura 24.

Figura 24 Ensaio de compressão diametral de corpo cilíndrico



(DNIT 136/2010)

Ajustar os pratos da prensa até que seja obtida uma leve compressão, capaz de manter a posição do corpo de prova. Em seguida é aplicada uma carga progressivamente, com uma velocidade de deformação de 0,8 mm/s até que se dá a ruptura por separação das duas metades do corpo de prova, segundo o plano diametral vertical. Anota-se o valor da carga de ruptura.

Após realizado o ensaio, com o valor obtido é realizado um cálculo através da Equação 4, que representa a resistência a tração do corpo de prova rompido por compressão diametral.

$$6R = \frac{2F}{\pi DH} \quad (4)$$

onde:

$\bar{\sigma}_R$ é a resistência à tração, em kgf/ cm²;

F é a carga de ruptura, em kgf;

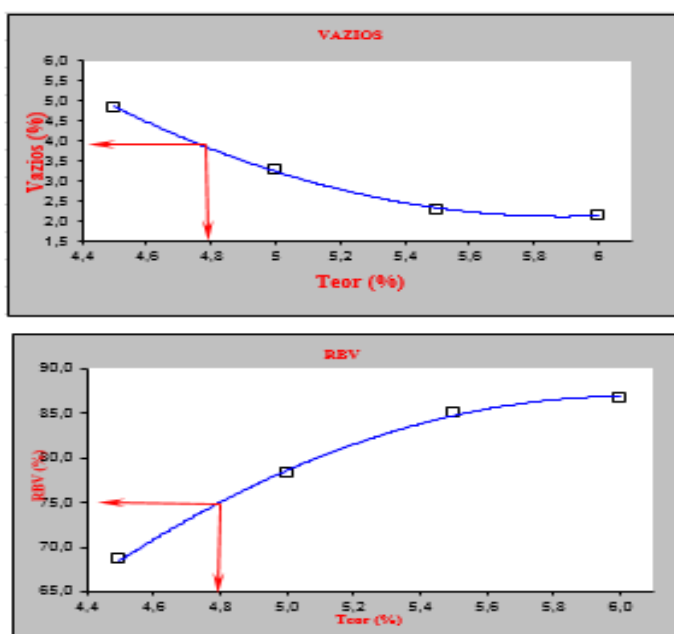
D é o diâmetro de corpo de prova, em cm;

H é a altura do corpo de prova, em cm.

5.2.2.1 Realização do Ensaio de Resistência à tração por compressão

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, consiste na realização de 3 corpos de prova com o teor ótimo obtido no Ensaio Marshall e Fluência. Com os gráficos do Ensaio anterior, conseguimos descobrir o teor ótimo dos corpos de prova do asfalto convencional e asfalto borracha, conforme consta na figura 25.

Figura 25 Gráfico para determinação do teor ótimo asfalto convencional

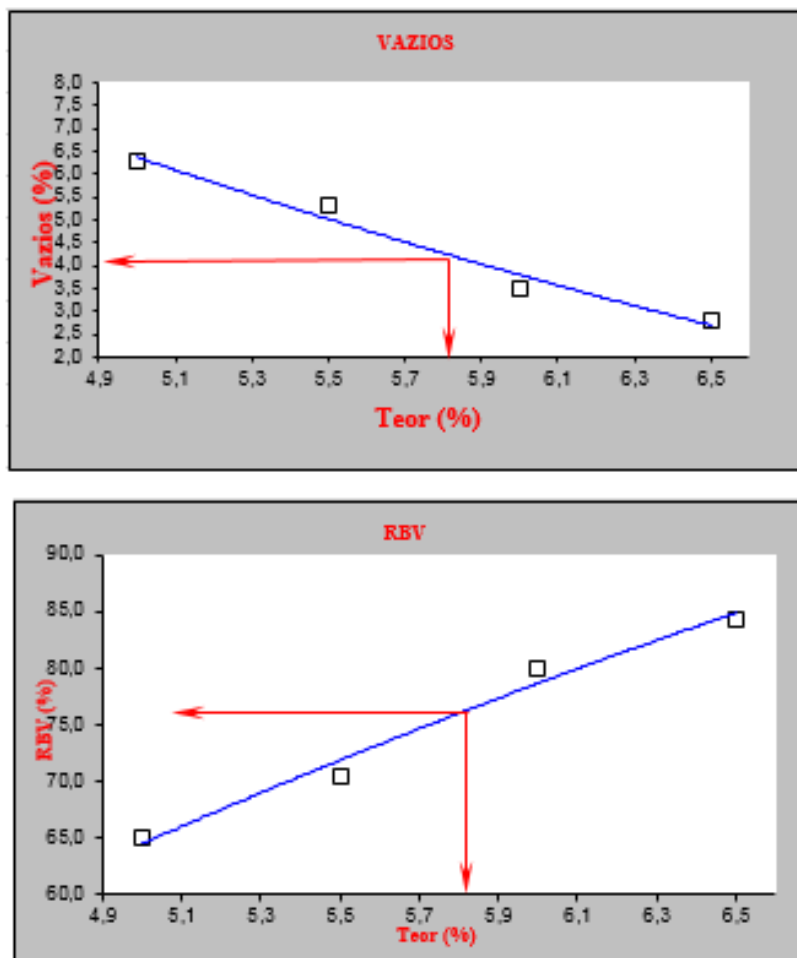


. (Autoria própria,2018)

A porcentagem de vazios deve ser 4% (media entre 2 e 6%), assim obtemos o valor de aproximadamente 4,8 de teor ótimo.

Esse valor deve ser representado nos demais gráficos, e no gráfico de RBV deve estar entre 65 a 85 como mostra a figura 26.

Figura 26. Gráfico para determinação do teor ótimo asfalto borracha



(Autoria própria,2018)

Da mesma forma, a porcentagem de vazios deve ser 4%, assim obtemos o valor de aproximadamente 5,83 de teor ótimo.

Consta no quadro 22 a quantidade do corpo de prova necessária para a realização desse ensaio, utilizando 3 corpos de prova com teor ótimo de asfalto convencional.

Quadro 18 teor otimo.do CP convencional.

CP CONVENCIONAL							
Teor	Massa	total	Teor	%Agre	P. Cap1	P.Cap 2	Agregado
4.80%	1,200.0	100.0%		95.2%	57.60		1,142.40

(Autoria própria,2018)

Quadro 19 Definição do Corpo de Prova.

#	Pass	% Ret	P. Ret	P.Acul
1'	0.0%			
3/4"	99.1%			4.80%
1/2"	92.5%			
3/8"	88.3%	11.7%	133.66	133.66
4	60.7%	27.60%	315.30	448.96
10	41.3%	19.4%	221.63	670.59
40	0.0%			
80	0.0%			1142.40
200	0.0%	41.3%	471.81	1,200.00

(Autoria própria,2018)

O processo de montagem do corpo de prova está descrito na norma do DNER 43/95.

Consta no quadro 24 a quantidade do corpo de prova necessária para a realização desse ensaio, e no quadro 25 toda quantidade de materiais utilizados. Foram realizados 3 corpos de prova com teor ótimo de asfalto borracha.

Quadro 20 Teor ótimo-Borracha.

CP BORRACHA							
Teor	Massa	total	Teor	%Agre	P. Cap1	P.Cap 2	Agregado
5.83%	1,200.0	100.0%		94.2%	69.96		1,130.04

(Autoria própria,2018)

Quadro 21 Definição do Corpo de Prova -Borracha.

#	Pass	% Ret	P. Ret	P.Acul
1'	0.0%			
3/4"	99.1%			5.83%
1/2"	92.5%			
3/8"	88.3%	11.7%	132.21	132.21
4	60.7%	27.60%	311.89	444.11
10	41.3%	19.4%	219.23	663.33
40	0.0%			
80	0.0%			1130.04
200	0.0%	41.3%	466.71	1,200.00

(Autoria própria,2018)

O processo de montagem do corpo de prova consta na norma do DNER 43/95.

Os equipamentos utilizados estão descritos na norma do DNIT 136/2010.

Foi medido a altura dos corpos de prova e colocados em banho maria por 2 horas. Após isso foi colocado entre dois frisos metálicos e submetido a uma carga até que se dê a ruptura (figura 27). Anotando esse valor, repete o procedimento para os outros corpos de prova.

Figura 27 Ensaio de resistência a tração por compressão diametral



(Autoria própria,2018)

6. RESULTADOS

6.1 RESULTADOS DO ENSAIO DE MASSA ESPECIFICA AGREGADOS MIÚDOS

Através da pesagem de 3 amostras, foi obtido a densidade real do pó de pedra (Quadro 22).

Quadro 22 Massa específica.

PÓ DE PEDRA (2,5 mm)					
Determinações de ensaios		1	2	3	
Nº do recipiente		1	2	3	
Peso do picnometro	A	g	524,10	260,60	258,00
Peso do picnometro + amostra	B	g	1420,80	899,50	832,10
Peso do picnometro + água + amostra	C	g	3285,80	1659,00	1615,70
Peso do picnometro + água	D	g	2720,30	1255,10	1253,60
Densidade encontrada a 19° C	$D=B-A/(D-A)-(C-B)$	g/cm ³	2,707	2,719	2,708
Fator de correção			1,00	1,00	1,00
Densidade real da amostra		g/cm ³	2,707	2,719	2,708
Nº de ensaios			3		
Densidade real do pó			2,711 g/cm ³		

(Autoria Própria,2018)

A massa específica do agregado corresponde a aproximadamente 80% do peso. Além disso, a massa específica aparente é um indicador do índice de vazios (quanto maior, maior o índice de vazios). Sendo importante a escolha de um agregado.

6.2 RESULTADOS DO ENSAIO DE ABSORÇÃO

Obtendo os pesos saturado em superfície seca, saturado imerso em água e seco das 3 amostras de pedra e 2 amostras de pedrisco, jogamos na fórmula e tiramos a média conforme o Quadro 23

Quadro 23 Densidade dos Materiais

DENSIDADES REAIS DOS MATERIAIS						
a) BRITA 1						
Determinações de ensaios			1	2	3	
Peso sat. superfície seca	A	g	627,40	756,20	674,30	
peso sat. imerso	B	g	393,30	474,20	423,70	
Peso seco	C	g	622,70	751,70	669,90	
Densidade real	$D=C/C-B$	g/cm^3	2,714	2,709	2,721	
Densidade aparente	$D=C/A-B$	g/cm^3	2,660	2,666	2,673	
Absorção	$S=Ph-Ps/Ps$	%	0,75%	0,60%	0,66%	
Nº de ensaios			3			
Densidade real da brita nº 1			2,715 g/cm³			
Densidade aparente da brita nº 1			2,666 g/cm³			
BULK SPECIFIC GRAVITY :			2,691 g/cm³			
Absorção :			0,67%			
Obs: brital Engebrita						
b) PEDRISCO 71/6"Pol						
Determinações de ensaios			1	2	3	
Peso sat. superfície seca	A	g		857,00	756,70	
peso sat. imerso	B	g		537,00	474,40	
Peso seco	C	g		844,70	745,70	
Densidade real	$D=C/C-B$	g/cm^3		2,745	2,749	
Densidade aparente	$D=C/A-B$	g/cm^3		2,640	2,642	
Absorção	$S=Ph-Ps/Ps$	%		1,46%	1,48%	
Nº de ensaios			2			
Densidade real do pedrisco			2,747 g/cm³			
Densidade aparente do pedrisco			2,641 g/cm³			
BULK SPECIFIC GRAVITY :			2,694 g/cm³			
Absorção :			1,47%			
Obs: Pedrisco Polimix						
c) PÓ DE PEDRA (2,5 mm)						
Determinações de ensaios				1	2	3
Nº do recipiente				1	2	3
Peso do picnometro	A	g		524,10	260,60	258,00
Peso do picnometro + amostra	B	g		1420,80	899,50	832,10
Peso do picnometro + água + amostra	C	g		3285,80	1659,00	1615,70
Peso do picnometro + água	D	g		2720,30	1255,10	1253,60
Densidade encontrada a 19º C	$D=B-A/(D-A)-(C-B)$	g/cm^3		2,707	2,719	2,708
Fator de correção				1,00	1,00	1,00
Densidade real da amostra		g/cm^3		2,707	2,719	2,708
Nº de ensaios			3			
Densidade real do pó			2,711 g/cm³			
obs; Polimix						
d) AREIA FINA DE RIO (SR. VICENTE)						
Determinações de ensaios				2	2	1
Nº do recipiente				2	2	Leitura Inicial
Peso do picnometro	A	g				0,5
Peso do picnometro + amostra	B	g				Leitura Final
Peso do picnometro + água + amostra	C	g				24,00
Peso do picnometro + água	D	g				Peso = 57g
Densidade encontrada a 19º C	$D=B-A/(D-A)-(C-B)$	g/cm^3				
Fator de correção						
Densidade real da amostra		g/cm^3				2,553
Nº de ensaios			1			
Densidade real da areia						

(Autoria Própria,2018)

Sendo expresso o valor de absorção, que é o aumento da massa do agregado, devido o preenchimento de seus vazios com água.

6.3 RESULTADOS DO ENSAIO MARSHAL E FLUÊNCIA

Após a leitura da fluência e da estabilidade, os valores foram lançados em uma planilha que nos retorna os resultados corrigidos.

O resultado do ensaio de Marshall e Fluência nos Corpos de prova de Asfalto convencional estão contidos na planilha do quadro 24 .

Quadro 24 Parâmetros Marshall

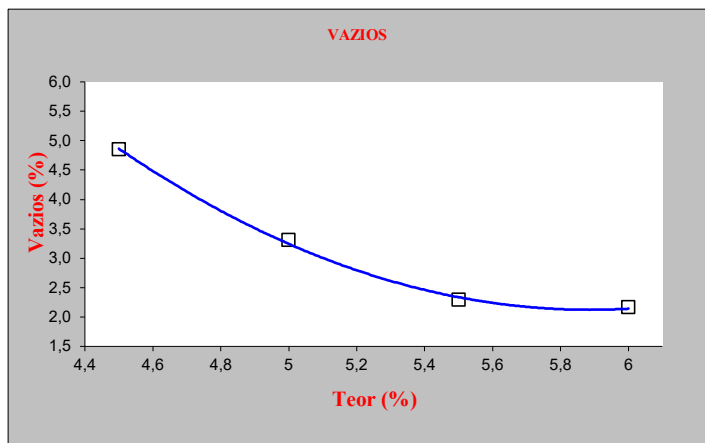
PARÂMETROS MARSHALL

ENERGIA DE COMPACTAÇÃO		75 golpes por face	CONSTANTE DA PREENSA:		2038,00 Kg/mm	Nº DE CP		3									
DENSIDADE REAL DA MISTURA		2.700 g/cm ³	DENSIDADE REAL DO CA CAP Convencional		1,025 g/cm ³												
CARACTERÍSTICAS MARSHALL																	
CP Nº	% betume	Peso ao ar	Peso imerso	Volume do c.p. (cm ³)	Densidade aparente (Kg/dm ³)	Densidade teórica (Kg/dm ³)	% de vazios	% V. C. B.	% V. A. M.	% R. V. B.	Letura	Fator de correção	Corrigida	Letura Inicial	Letura final	FLUÊNCIA= (1°32)	Resultado
1	4,5	1.194,9	696,8	499,1	2,399	2,515	4,6	10,6	15,2	69,6	530	1,04	1.123	6,3	9,2		2,9
2		1.199,0	694,6	504,4	2,377	2,515	5,5	10,5	16,0	65,6	565	1,04	1.198	6,3	9,8		3,6
3		1.196,1	698,5	497,6	2,404	2,515	4,4	10,6	15,0	70,5	550	1,04	1.166	6,5	9,2		2,7
		média:			2,393	2,515	4,8	10,6	15,4	68,6	548		1,162				3,1
4	5,0	1.198,7	701,2	497,5	2,409	2,496	3,5	11,8	15,3	77,3	600	1,04	1.272	6,6	9,8		3,2
5		1.193,2	700,4	492,8	2,421	2,496	3,0	11,9	14,9	79,8	620	1,04	1.314	6,4	9,6		3,2
6		1.198,3	701,2	497,1	2,411	2,496	3,4	11,8	15,2	77,5	635	1,04	1.346	5,6	8,8		3,2
		média:			2,414	2,496	3,3	11,8	15,1	78,2	618		1,311				3,2
7	5,5	1.194,0	701,5	492,5	2,424	2,477	2,1	13,1	15,2	85,9	580	1,09	1.288	5,5	9,9		4,4
8		1.188,7	696,9	491,8	2,417	2,477	2,4	13,0	15,5	84,2	600	1,09	1.333	6,1	9,4		3,1
9		1.200,0	704,4	495,6	2,421	2,477	2,3	13,1	15,3	85,2	560	1,09	1.244	6,6	9,5		2,7
		média:			2,421	2,477	2,3	13,1	15,3	85,1	580		1,288				3,4
10	6,0	1.198,8	698,2	500,6	2,395	2,459	2,6	14,1	16,7	84,4	500	1,04	1.060	5,3	8,5		3,2
11		1.191,8	697,2	494,6	2,410	2,459	2,0	14,2	16,2	87,6	520	1,09	1.155	6,2	9,7		3,5
12		1.188,3	695,9	492,4	2,413	2,459	1,9	14,2	16,1	88,4	530	1,09	1.177	5,5	9,2		3,7
		média:			2,406	2,459	2,2	14,2	16,3	86,8	517		1,131				3,5

(Autoria própria)

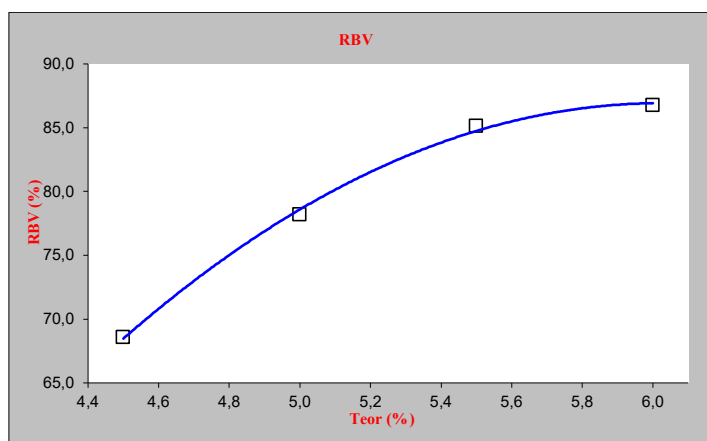
E os gráficos dos resultados estão contidos nas figuras 28,29,30 e 31.

Figura 28 Gráfico dos vazios



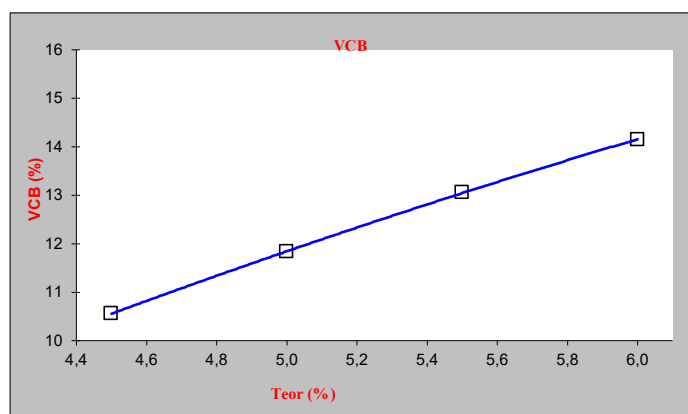
(Autoria própria,2018)

Figura 29 Gráfico do RBV



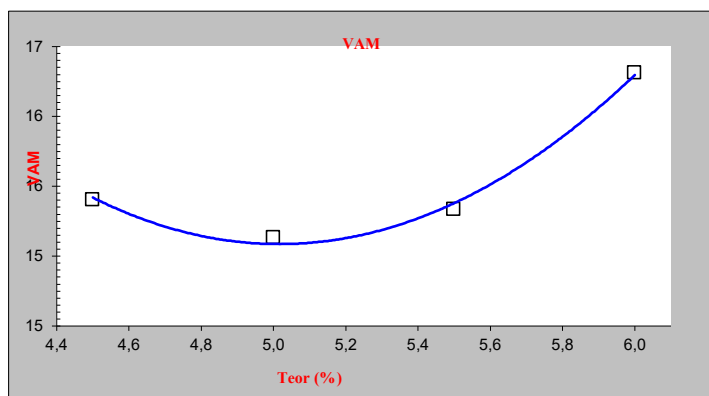
(Autoria própria,2018)

Figura 30 Gráfico do VCB



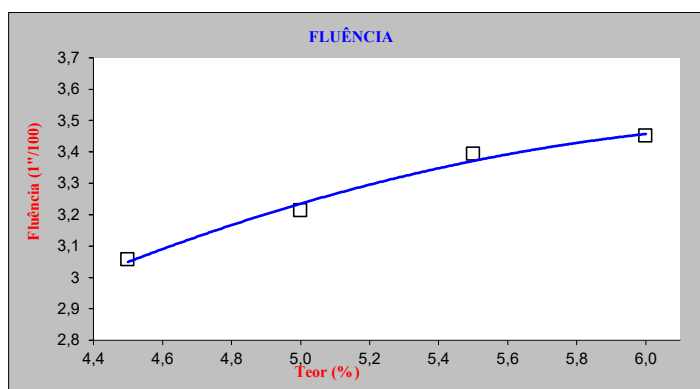
(Autoria própria,2018)

Figura 28. Gráfico VAM



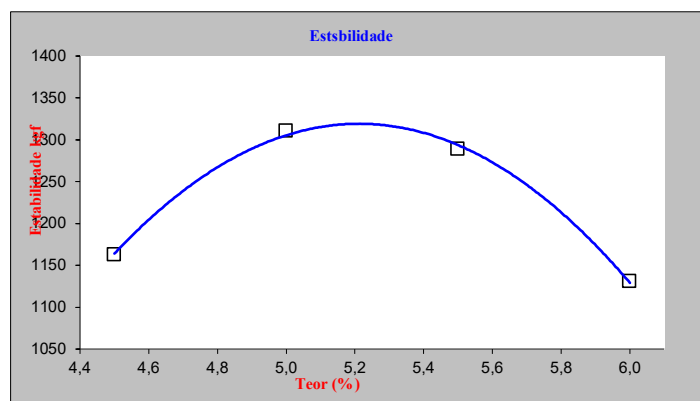
(Autoria própria, 2018)

Figura 29 Gráfico Fluência



(Autoria própria, 2108)

Figura 31 Gráfico Estabilidade.



(Autoria propria,2018)

O resultado do ensaio de Marshall e Fluência nos Corpos de prova de Asfalto Borracha estão contidos no quadro 25 .

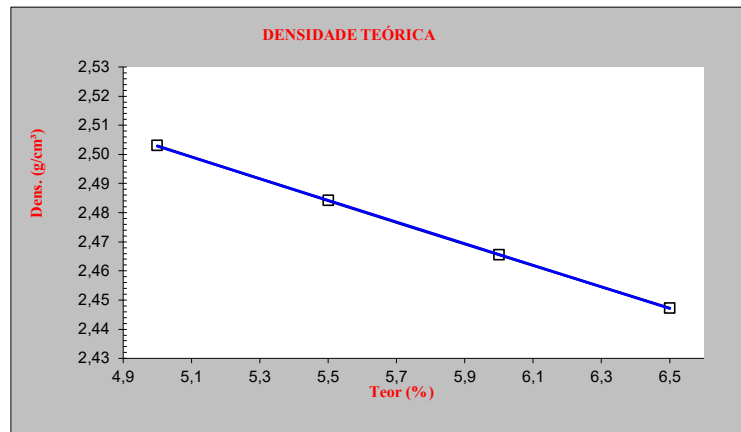
Quadro 25 Parâmetros Marshall

PARÂMETROS MARSHALL																
ENERGIA DE COMPACTAÇÃO		75 golpes por face		CONSTANTE DA PRENSA:		2038,00 Kg/mm		Nº DE CP		3						
DENSIDADE REAL DA MISTURA		2,709 g/cm ³		DENSIDADE REAL DO CAP - Borracha AB - 8		1,025 g/cm ³										
Q N	% betume	Peso ao ar	Peso inerso	Volume do c. p. (cm ³)	Densidade aparente (Kg/dm ³)	Densidade teórica (Kg/dm ³)	% de vazios	% V. C. B.	% V. A. M.	% R. V. B.	ESTABILIDADE			FLUÊNCIA= (1"/32)		
											Letura	Fator de correção	Corrigida	Letura inicial	Letura final	Resultado
1	5,0	1.192,5	690,0	502,5	2,373	2,503	5,2	11,6	16,8	69,2	640	1,04	1.356	6,0	9,5	3,5
2		1.185,7	682,0	503,7	2,354	2,503	6,0	11,5	17,5	66,0	615	1,04	1.304	6,2	9,6	3,4
3		1.193,6	677,2	516,4	2,311	2,503	7,7	11,3	15,0	59,7	630	1,00	1.284	6,4	9,5	3,1
		média:			2,346	2,503	6,3	11,5	17,8	64,9	628		1.315			3,4
5	5,5	1.196,1	685,4	510,7	2,342	2,484	5,7	12,6	15,3	68,8	705	1,04	1.494	5,9	9,5	3,6
6		1.198,2	689,4	508,8	2,355	2,484	5,2	12,7	17,9	71,0	730	1,04	1.547	6,0	9,4	3,4
7		1.200,0	691,1	508,9	2,358	2,484	5,1	12,7	17,8	71,5	710	1,04	1.505	5,9	9,3	3,4
		média:			2,352	2,484	5,3	12,7	18,0	70,4	715		1.515			3,5
8	6,0	1.193,3	682,7	500,6	2,384	2,466	3,3	14,0	17,3	80,9	700	1,04	1.484	6,6	10,0	3,4
9		1.196,1	683,0	503,1	2,377	2,466	3,6	14,0	17,6	79,7	645	1,09	1.433	6,5	10,9	4,4
10		1.199,5	685,0	504,5	2,378	2,466	3,6	14,0	17,6	79,7	560	1,09	1.244	7,1	10,7	3,5
		média:			2,380	2,466	3,5	14,0	17,5	80,1	635		1.387			3,8
11	6,5	1.196,1	682,5	503,6	2,375	2,447	2,9	15,1	18,1	83,7	525	1,04	1.113	6,8	10,6	3,8
12		1.198,8	685,2	503,6	2,380	2,447	2,7	15,2	17,9	84,8	470	1,04	986	6,0	11,0	5,0
13		1.195,7	683,4	502,3	2,380	2,447	2,7	15,2	17,9	84,8	610	1,04	1.293	6,9	10,9	4,0
		média:			2,379	2,447	2,8	15,2	18,0	84,4	535		1.134			4,2

(Autoria própria,2018)

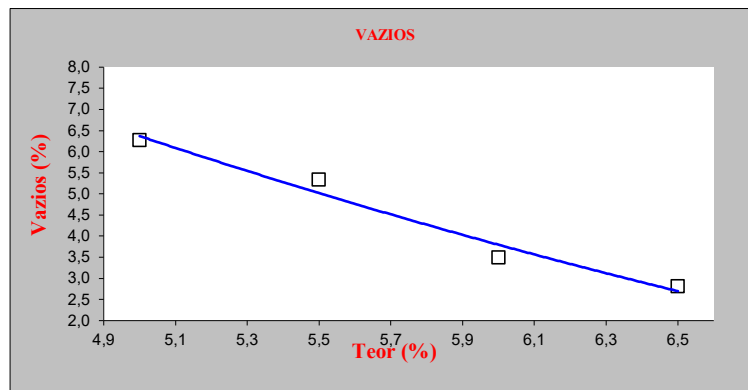
E os gráficos referentes aos valores corrigidos, nas figuras 32,33,34,35,36, 37e38.

Figura 32 Gráfico Densidade teórica -Borracha.



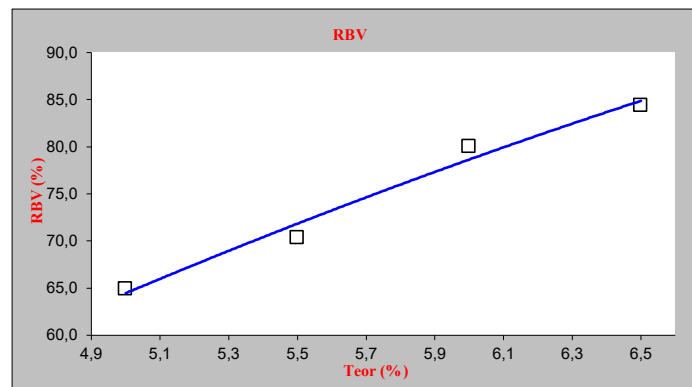
(Autoria própria,2018)

Figura 33 Gráfico Vazios-Borracha



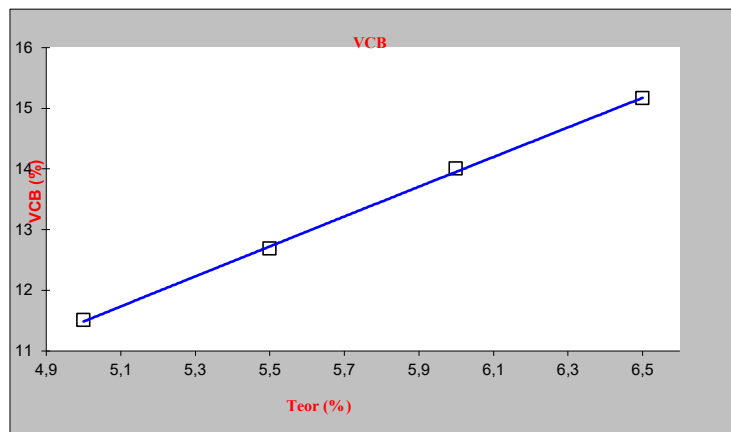
(Autoria própria,2018)

Figura 34 Gráfico RBV-Borracha.



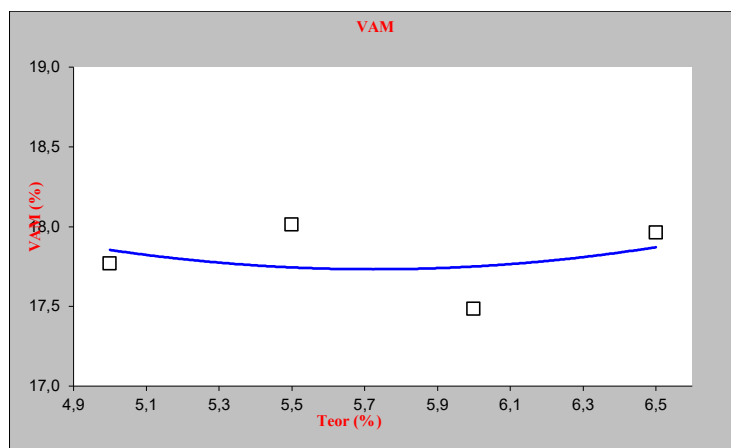
(Autoria própria,2018)

Figura 35 Gráfico VCB-Borracha



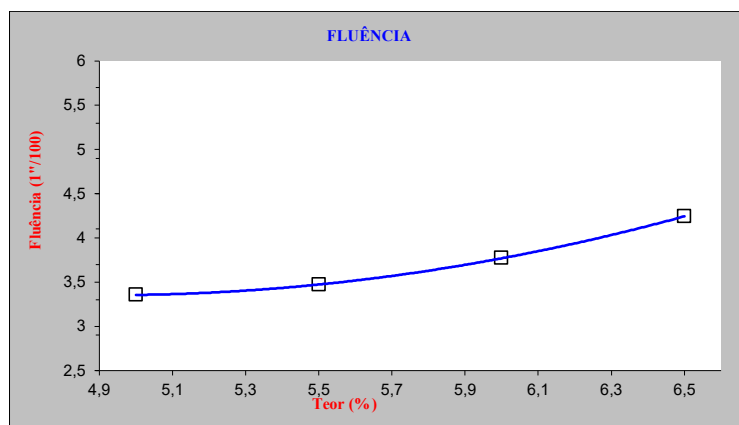
(Autoria própria,2018)

Figura 36 Gráfico VAM-Borracha



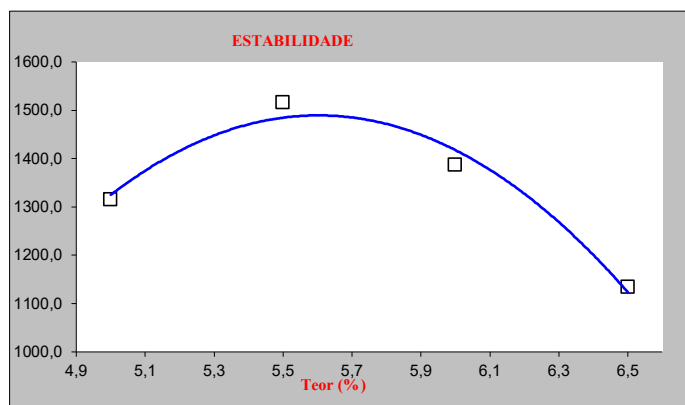
. (Autoria própria,2018)

Figura 37 Gráfico Fluência- Borracha



(Autoria própria,2018)

Figura 38 gráfico Estabilidade-Borracha.



(Autoria própria,2018)

Com esses resultados, conseguimos verificar um desempenho maior nos ensaios com relação a estabilidade e fluência do corpo de Prova com CAP Borracha em comparação com o corpo de prova com CAP Convencional. O ensaio Marshall e Fluência é definido como a deformação total do corpo de prova, determina a carga máxima que ele pode receber, sofrer deformações até o seu rompimento.

6.4 RESULTADOS DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

O resultado do ensaio de resistência a tração por compressão diametral é expresso no quadro 26.

Quadro 26 formula para cálculo em Mpa

	Borracha			Convencional		
(F) Leitura da prensa	1020	770	1020	800	760	860
Cortante do anel	2038	2038	2038	2038	2038	2038
KN	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
π	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416	3,1416
ϕ	10	10	10	10	10	10
Altura	6,37	6,27	6,20	6,18	6,36	6,37
Fator	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Fator	100	100	100	100	100	100
Valor	2.036	1.561	2.092	1.646	1.519	1.717
MEDIA em Mpa	1,90			1,63		

(Autoria própria,2018)

Os valores representam a quantidade de carga necessária até a ruptura total do corpo de prova. Sendo avaliado que o asfalto borracha é mais resistente a tração do que o convencional.

7. ANALISES

Com os estudos, foram previstas algumas vantagens em relação ao convencional. Como por exemplo:

7.1A REDUÇÃO AO ENVELHECIMENTO POR OXIDAÇÃO –

Devido aos materiais químicos existentes no asfalto convencional, o contato com o oxigênio, as alterações da temperatura e raios ultravioletas, o processo de oxidação se torna mais rápido do que o de Asfalto Borracha, pois a mistura de antioxidantes e carbono existente na borracha dos pneus e misturada ao cimento asfáltico, seu processo é mais lento.

7.2 AUMENTO DA FLEXIBILIDADE.

Por conter maior concentração de elastômeros na borracha de pneus, eles se tornam mais flexíveis que os convencionais.

7.3 AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO

O ponto de amolecimento em comparação ao convencional aumenta em até 17%

7.4 MAIS RESISTENTES A VARIAÇÕES TÉRMICAS

A mistura com asfalto borracha torna mais resistente a variações térmicas, tendo um bom desempenho em baixas e altas temperaturas.

8. CONCLUSÃO

Nos resultados obtidos através dos ensaios realizados, foi comprovado algumas vantagens do asfalto borracha com relação ao asfalto convencional.

No ensaio de Marshall e Fluência, podemos conferir que na estabilidade, que corresponde a resistência máxima de compressão radial, o corpo de prova com cap. borracha necessita de um esforço maior para o seu rompimento, em relação ao convencional. Verificamos que na fluência, que corresponde a deformação total, o asfalto borracha apresentou números maiores, ou seja, o asfalto borracha é capaz de sofrer mais deformações antes de romper.

O ensaio de Resistência a tração demonstrou resultados positivos para o asfalto borracha, observando uma resistência maior até a ruptura total, o que contribui para a sua utilização em vias que recebem muitos esforços.

Podemos avaliar que a mistura com borracha acaba sendo mais eficiente nos aspectos de resistência, permitindo uma maior deformabilidade, aumentando a durabilidade do asfalto e aumentando o tempo para o aparecimento de trincas.

A aplicação e a produção de ambos CAP'S na execução do asfalto não diferem, sendo que a porcentagem necessária de CAP borracha é menor.

8.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.

Comparações com Asfalto modificado com outros materiais.

Verificação e Comparação com asfalto modificado com borracha via seca, onde a borracha é adicionada em forma de agregado.

Determinar o Teor Ótimo para cada material.

Vantagens e viabilidade para cada tipo de asfalto conforme suas utilizações.

Comparação financeira entre o CAP convencional e CAP Borracha.

REFERÊNCIAS

Asfalto de qualidade, **Usinas de asfalto**, disponível em: <<http://asfaltodequalidade.blogspot.com/>> Acesso em 07/11/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 7202/82**: Terminologia e classificação de pavimentação, Rio de Janeiro – RJ, 1982.

BERNUCCI Ariani, L., Goretti da Motta, L. M., Pereira Ceratti, J. A., & Barbosa Soares, J. **Pavimentação asfáltica - formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro-RJ, Petrobras-Abeda. (2006).

BALBO, Jose T. **Pavimentação Asfáltica, materiais, projetos e restauração**. 3 ed. São Paulo - Oficina de Texto, 2016.

Confederação nacional do Transporte. **Pavimentação Flexível** Disponível em: <http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Estudos%20CNT/estudo_pavimentos_nao_duram.pdf> Acesso em Nov de 2018

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **Manual de Pavimentação**, Rio de Janeiro – RJ, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, **DNER-ME 43: Misturas betuminosas a quente- ensaio Marshall**. Rio de Janeiro – RJ, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM, **DNER-ME 194: Agregados- determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman**, Rio de Janeiro – RJ, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 81: Agregados- determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo**. Rio de Janeiro – RJ, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 83: Agregados- análise granulométrica.** Rio de Janeiro – RJ, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTES. **DNIT 136: Pavimentação asfáltica-misturas asfálticas- Determinação da resistência à tração por compressão diametral- Método de ensaio.** Instituto de Pesquisas Rodoviárias, Rio de Janeiro – RJ, 2010.

Ecivil **Significado de asfalto.** Disponível em: <<https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-asfalto.html>> Acesso em 07/11/2018

KAWA, Luciane, **Autossustentável:** Disponível em: <<http://professoralucianekawa.blogspot.com>. > Acesso em Nov de 2017.

MAZZONETTO, Caroline. **Infraestrutura Urbana.** Disponível em: <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/11/asfalto-borracha-adicao-de-po-de-borracha-extraido-de-245173-1.aspx>. Acesso Nov de 2018.

Ministerio do Planejamento **Rodovias e logisticas**,Disponivel em: <http://www.planejamento.gov.br/assuntos/programa-de-investimento-em-logistica-pil/rodovias/rodovias>> Acesso Nov de /2018.

APÊNDICE A

RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS MARSHALL.CAP CONVENCIONAL

OBTIDOS		ESPECIFICAÇÕES
1 - Teor Ótimo :	4,8%	
2 - Vazios Totais:	3,8%	(3,5 A 5)
3 - Relação Betume Vazios :	75,0%	(65-80)
4 - Densidade Aparente:	2408	
5 - Estabilidade:	12,8	(> 8kN)
6 - Fluência:	3,2 mm	(2 - 4)
7 - Vazios do Agregado Mineral:	15,3%	(> 15,0)
8- Vazios Cheios de Betume:	11,3%	
9 - Densidade teórica da mistura:	2.510 g/cm ³	
10 - Densidade real da mistura:	2,700 g/cm ³	
11 - Densidade aparente do CAP	1025	
12- Resistência atração por compressão Diametral Estática à 25°C Mínima, Mpa	1,63	(>0,80) (mínima)
13 - Bulk Specific Gravity :	2,691 g/cm ³	
Relação finos/Betume	0,98	0,8 -1,2
14 - Absorção :	1,07%	

APÊNDICE B**RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS MARSHALL. CAP BORRACHA.**

OBTIDOS	ESPECIFICAÇÕES	
1 - Teor Ótimo :	5,8%	
2 - Vazios Totais:	4,0%	4,0
3 - Relação Betume Vazios :	77,5%	(65 - 80)
4 - Densidade Aparente:	2370	
5 - Estabilidade:	15 kgf/cm²	(> 800)
6 - Fluência:	3,5 mm	(2 - 4)
7 - Vazios do Agregado Mineral:	17,5%	(> 15,0)
8- Vazios Cheios de Betume:	13,5%	
9 - Densidade teórica da mistura:	2.470 g/cm³	
10 - Densidade real da mistura:	2,709 g/cm³	
11 - Densidade aparente do CAP	1025	
12- Resistência atração por compressão Diametral Estática à 25°C Mínima. Mpa	1,90	(>0,80) (mínima)
13 - Bulk Specific Gravety :	2,704 g/cm³	0.8 -1.2
14 - Absorção :	0,93%	