CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

MICHEL METZ

ANÁLISE TÉCNICA DA REDUÇÃO DAS ESPESSURAS DE CAMADAS DE ROLAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM CBUQ PELA SUBSTITUIÇÃO DO CAP 50/70 PELO CAP SBS 65/90

CASCAVEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FUNDAÇÃO ASSIS GURGACZ

MICHEL METZ

ANÁLISE TÉCNICA DA REDUÇÃO DAS ESPESSURAS DE CAMADAS DE ROLAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM CBUQ PELA SUBSTITUIÇÃO DO CAP 50/70 PELO CAP SBS 65/90

Trabalho apresentado na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Fundação Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Professor Orientador: Engenheiro Civil Esp. Lincoln Salgado.

CASCAVEL - PR
2016

CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

MICHEL METZ

ANÁLISE TÉCNICA DA REDUÇÃO DAS ESPESSURAS DE CAMADAS DE ROLAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS EM CBUQ PELA SUBSTITUIÇÃO DO CAP 50/70 PELO CAP SBS 65/90

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário FAG, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **ESPECIALISTA ENG. CIVIL LINCOLN SALGADO.**

BANCA EXAMINADORA

Orientador Profª. **Especialista Lincoln Salgado**
Centro Universitário FAG
Engenharia Civil

Professora **Especialista Andrea R. Souza**
Centro Universitário FAG
Engenharia Civil

Professor **Especialista Jeferson T. Homrich**
Centro Universitário FAG
Engenharia Civil

Cascavel, 29 de outubro de 2016.

AGRADECIMENTOS

É com satisfação que agradeço a todos aqueles que contribuíram para a realização deste trabalho. Em primeiro lugar a Deus por me dado a vida e saúde para ter condições de concluir esse projeto.

Aos meus pais, Wilson e Marilda e a minha irmã Darilia, expresso o meu reconhecimento pelos seus constantes encorajamentos e paciência.

Ao professor e orientador Eng. Lincoln Salgado pelas constantes orientações, correções e dedicação.

A todos os Engenheiros com que tive o prazer de trabalhar, os quais me incentivaram e me apoiaram até este momento, em especial ao Eng. Halberth Dultra de Oliveira e Eng. Julio Cesar Fontana.

Aos meus familiares, amigos, colegas e principalmente a todos os professores, que me acompanharam nesse processo e que compartilharam todos os momentos vividos nessa jornada.

RESUMO

No Brasil a malha rodoviária é a principal via de movimentação de bens e pessoas, essa malha é considerada pequena e não se encontra em boas condições de conservação. Com a finalidade de ampliá-la e melhorá-la, constantemente são lançadas obras de implantação e restauração. Nestas obras a camada da estrutura do pavimento que é considerada a mais importante é a camada de rolamento, pois tem contato direto com o tráfego e apresenta o maior custo de produção, com a intenção de aprimorar novas tecnologias são empregadas, entre essas a modificação do cimento asfáltico de petróleo (CAP). Este trabalho teve o intuito de analisar, se a substituição do cimento asfáltico convencional pelo cimento asfáltico modificado com polímero da composição do concreto betuminoso, usinado a quente (CBUQ), melhora as características mecânicas e se essa melhoria possibilitou a redução da espessura da camada de rolamento do pavimento flexível. A metodologia utilizada neste trabalho consistiu em dosar duas misturas de concreto asfáltico, usinado à quente, utilizando cimento asfáltico convencional e modificado com polímero, posteriormente, ensaiou-se corpos de prova dessas misturas em laboratório e com os resultados dimensionou-se a camada de rolamento do pavimento flexível utilizando *software* de dimensionamento. Os resultados obtidos na caracterização mecânica, mostra que CBUQ com CAP modificado apresenta uma resistência a tração superior ao CBUQ com CAP convencional, sendo está de 12,39%. No modulo de resiliência o CBUQ com CAP modificado apresenta um acréscimo de 32,60% em relação ao CBUQ com CAP convencional, já no dimensionamento, obteve-se uma redução de espessura de 12,22% de um para outro. Este estudo esclarece e contribui em relação à escolha do melhor material aglutinante do CBUQ, no momento da elaboração dos projetos de pavimentação de obras de restauração e implantação.

Palavras-chave: CBUQ, dimensionamento, espessura.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Segmento da rodovia BR-163 19
Figura 2 – Comportamento pavimento flexível 21
Figura 3 – Comportamento pavimento rígido 21
Figura 4 – Estrutura típica, pavimento flexível 23
Figura 5 – Características CAP convencional 36
Figura 6 – Características CAP modificado com polímero 37
Figura 7 – Coleta CAP 50/70 38
Figura 8 – Amostra CAP SBS 65/90 38
Figura 9 – Amostra brita ¾” 39
Figura 10 – Amostra pedrisco 40
Figura 11 – Amostra pó de pedra 40
Figura 12 – Amostra de cal 41
Figura 13 – Massa mínima, por amostra 43
Figura 14 – Composição corpos de provas CAP 50/70 47
Figura 15 – Composição corpos de prova CAP SBS 65/90 48
Figura 16 – Amostras na estufa 49
Figura 17 – CAP 50/70 49
Figura 18 – CAP SBS 65/90 50
Figura 19 – Adição CAP 50/70 na mistura 51
Figura 20 – Adição CAP SBS 65/90 à mistura 51
Figura 21 – Mistura agregado com o CAP 52
Figura 22 – Mistura homogênea de CAP 50/70 52
Figura 23 – Mistura homogênea de CAP SBS 65/90 53
Figura 24 – Amostra no molde 53
Figura 25 – Amostra nivelada no molde 54
Figura 26 – Compactação da amostra 54
Figura 27 – Corpos de provas após compactação, CAP 50/70 e CAP SBS 65/90 55
Figura 28 – Corpo de prova desformado 55
Figura 29 - Corpos de provas, CAP 50/70 e CAP SBS 65/90 56
Figura 30 – Ensaio resistência a tração 57
Figura 31 – Clima SisPavBR 59

Figura 32 – Carregamento SisPavBR-01 61
Figura 33 – Carregamento SisPavBR-02 61
Figura 34 – Estrutura tipo pavimento 62
Figura 35 – Estrutura pavimento tipo 62
Figura 36 – Dimensionamento CBUQ CAP 50//70 69
Figura 37 – Dimensionamento CBUQ CAP SBS 65/90 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Misturas propostas para estudo 33
Tabela 2 – Composição granulométrica faixa “C” DNIT ES-031/2006 35
Tabela 3 – Composição granulométrica faixa “C” DNER-ES 385/99 35
Tabela 4 – Peneiras 44
Tabela 5 – Composição corpo de prova CAP 50/70 46
Tabela 6 – Composição corpo de prova CAP SBS 65/90 47
Tabela 7 – Temperatura média mensal. 59
Tabela 8 – Contagem e projeção de tráfego 60
Tabela 9 – Caracterização veículos tipo e suas cargas 60
Tabela 10 – Características CAP 50/70 e CAP SBS 65/90 63
Tabela 11 – Características agregados 64
Tabela 12 – Características faixa “C” CAP 50/70 65
Tabela 13 – Características faixa “C” CAP SBS 65/90 66
Tabela 14 – Corpos de prova moldados 66
Tabela 15 – Tabela Resistência a tração. 67
Tabela 16 – Comparação das espessuras 70

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva granulométrica faixa “C” CAP 50/70. 64
Gráfico 2 – Curva granulométrica faixa “C” CAP SBS 65/90 65
Gráfico 3 – Resistência a tração 67
Gráfico 4 – Módulo de Resiliência 68

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Volume CAP. 50
Equação 2 – Resistência a tração. 57
Equação 3 – Modulo de resiliência 58

LISTA DE ABREVEATURAS

AASHTO	*American Association of State Highway and Transportation Officials*
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
ASTM	American Society for Testing and Materials
CNT	Confederação Nacional do Transporte
ºC	Celsius
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CAP	Cimento Asfáltico Natural
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CL	Cura Lenta
CM	Cura Media
CR	Cura Rapida
cm²	Centímetro Quadrado
cm	Centímetro
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
E	Estabilidade
EVA	Etileno-acetato de Vinila
ES	Especificação de Serviço
F	Fluência
IG	Índice de Grupo
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
Km	Quilometro
m	Metro
ME	Método de Ensaio
mm	Milímetros
MR	Modulo de Resiliência
MPa	Mega Pascal
N	Newton
PVC	Policloreto de Polivinila
RL	Ruptura Lenta
RM	Ruptura Media

RR	Ruptura Rápida
RT	Resistência a Tração
SBS	Estireno-butadieno-estireno
SBR	Butadieno-estireno
USACE	*US Army Corps of Engenieers*

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 17

1.1 INTRODUÇÃO 17

1.2 OBJETIVOS 18

1.2.1 Objetivo geral 18

1.2.2 Objetivos específicos 18

1.3 JUSTIFICATIVA 18

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA 19

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA 19

CAPÍTULO 2 20

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS 20

2.1.1 Pavimento flexível 20

2.1.2 Pavimento rígido 21

2.1.3 Pavimento semi-rígido 22

2.2 ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS 22

2.2.1 Estrutura de pavimentos flexíveis 22

2.2.1.1 Subleito 23

2.2.1.2 Regularização do subleito 23

2.2.1.3 Reforço do subleito 23

2.2.1.4 Sub-base 24

2.2.1.5 Base 24

2.2.1.6 Revestimento 24

2.3 MATERIAIS PARA PAVIMENTACÃO 25

2.3.1 Agregados 25

2.3.1.1 Classificação quanto a natureza 25

2.3.1.2 Classificação quanto ao tamanho 25

2.3.1.3 Classificação quanto a distribuição ou graduação 26

2.3.2 Materiais betuminosos 26

2.3.2.1 Cimento asfáltico 27

2.3.2.2 Asfalto diluído 27

2.3.2.3 Emulsão asfáltica 27

2.4 CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO 28

2.4.1 Polímeros para pavimentação 28

2.4.2 Melhorias que o polímero emprega 29

2.4.3 Asfalto modificado com polímero SBS 29

2.5 MISTURA ASFÁLTICA 29

2.5.1 Concreto asfáltico usinado a quente 29

2.5.2 Propriedades da mistura 30

2.6 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS 31

2.6.1 Métodos empírico 31

2.6.2 Método empírico-mecanístico 32

2.6.3 Método mecanístico 32

2.7 DIMENSIONAMENTO DE CAMADAS DE ROLAMENTO 32

2.7.1 Determinação da espessura da camada de rolamento 32

CAPÍTULO 3 33

3.1 METODOLOGIA 33

3.1.1 Local da pesquisa 33

3.1.2 Faixa granulométrica de trabalho 34

3.1.2.1 Faixa “C”, concreto asfáltico convencional 34

3.1.2.2 Faixa “C”, concreto asfáltico modificado com polímero 35

3.1.3 Materiais 36

3.1.3.1 CAP, cimento asfáltico de petróleo 36

3.1.3.2 Agregados 37

3.1.4 Amostras 38

3.1.4.1 CAP 50/70 38

3.1.4.2 CAP SBS 65/90 38

3.1.4.3 Brita ¾" 39

3.1.4.4 Pedrisco 39

3.1.4.5 Pó de Pedra 40

3.1.4.6 Fíler 41

3.1.5 Ensaios de caracterização das amostras 41

3.1.5.1 Caracterização dos CAP's 41

3.1.5.2 Caracterização dos agregados 42

3.1.6 Granulometria e composição granulométrica dos agregados 43

3.1.6.1 Granulometria 43

3.1.6.2 Composição granulométrica 44

3.1.7 Dosagem 44

3.1.8 Modelagem dos corpos de prova 46

3.1.8.1 Corpo de prova *Marshall* 46

3.1.9 Ensaio de caracterização das propriedades mecânicas do concreto asfáltico 56

3.1.9.1 Resistência a tração por compressão diametral 56

3.1.9.2 Modulo de resiliência 57

3.1.10 *Software* de dimensionamento, SisPavBR 58

3.1.10.1 Dados de entrada: temperatura média mensal 58

3.1.10.2 Dados de entrada: tráfego 59

3.1.10.3 Dados de entrada: estrutura do pavimento 62

CAPÍTULO 4 63

4.1 RESULTADOS E DISCUÇÕES 63

4.1.1 Caracterização mecânica dos cimentos asfálticos de petróleo 63

4.1.2 Caracterização mecânica dos agregados 63

4.1.3 Composição granulométrica das misturas 64

4.1.4 Corpos de Provas 66

4.1.5 Resistência a tração 67

4.1.6 Módulo de Resiliência 68

4.1.7 Dimensionamento 69

CAPÍTULO 5 71

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS 71

CAPÍTULO 6 73

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS 73

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 74

ANEXOS 77

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Acessar áreas e movimentar produtos sempre foi de suma importância para as civilizações, segundo Balbo (2007), pavimentar vias é a base para manter e adequar os caminhos de maior importância para um povo, podendo estas ter finalidades militares, religiosos e de cunho econômico.

As primeiras vias surgiram junto com os primeiros veículos de transportes, data cerca de 2.600 a.C., foram construídas pelas civilizações do Egito, China, Índia, Incas, Maias e Astecas, estas vias não apresentavam técnicas aprimoradas de execução, algumas civilizações apenas ampliavam o trilho já existente e outras utilizavam lajões justapostos em base e para reduzir o atrito umedeciam com água, azeite ou musgo molhado (BERNUCCI et al., 2007).

Ainda segundo o mesmo autor, por volta de 300 a.C. os veículos de transporte apresentaram evoluções e a ambição de ampliar seus territórios aumentou, com isso, a Grécia e o Império Romano aperfeiçoaram as técnicas de construção, surgindo ali as primeiras vias que mais se assemelham com as vias pavimentadas de hoje, onde se empregava matérias pétreos para suporte e asfalto como aglutinante, além de se destacar os cuidados com a geometria, com os aterros e a drenagem.

Segundo Balbo (2007), a partir do momento que começaram a se preocupar com as técnicas construtivas, também começaram a cuidar da qualidade e da durabilidade das vias que estavam sendo construídas.

A evolução dos veículos de transporte, fez com que a técnica de pavimentação fosse aprimorada, pois quanto mais velozes ficavam os veículos, melhores teriam que ser a vias por onde eles trafegam graças à necessidade de deslocamento em períodos menores chegamos aos pavimentos que conhecemos hoje (SENÇO, 1997).

Assim como nas primeiras vias pavimentadas, no período atual, utilizam-se na estrutura dos pavimentos as matériais pétreos para suportar as cargas que o tráfego aplica sobre o pavimento e os materiais betuminosos como o asfalto e alcatrão para realizar a junção das matérias.

Buscando o aperfeiçoamento das técnicas de pavimentação e a melhoria da qualidade dos pavimentos flexíveis, constantemente novas tecnologias são lançadas pelo setor da construção rodoviária, tanto na parte dos equipamentos, que visa aperfeiçoar as técnicas de

produção e execução, quanto na parte dos materiais, principalmente os betuminosos que estão sujeitos à ação do tempo.

Uma das tecnologias dos materiais que está sendo utilizada nos últimos anos é a modificação dos betumes, utilizando os polímeros, essa alteração tem como finalidade melhorar as propriedades físicas e mecânicas dos concretos betuminosos usinados à quente (CBUQ).

Esse estudo pretende analisar se a substituição do concreto asfáltico de petróleo (CAP), convencional, pelo CAP modificado com polímero da composição do CBUQ, melhora suas características mecânicas, e se essas proporcionam propriedades para reduzir a espessura da camada de rolamento do pavimento flexível, através de dimensionamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Verificar a possibilidade da redução da espessura da camada de rolamento de pavimentos flexíveis em face de melhoria das características mecânicas do CBUQ pela substituição do CAP 50/70 pelo CAP SBS 65/90, modificado com polímeros.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar as características mecânicas do CBUQ com CAP convencional e com CAP modificado;
- Dimensionar e comparar as espessuras das camadas de rolamento, através de dimensionamento, em função da melhoria das características mecânicas;

1.3 JUSTIFICATIVA

O modal rodoviário é a principal via de locomoção de pessoas e movimentação de mercadorias no Brasil, porém, considerando a extensão territorial do país a malha rodoviária pavimentada é considerada pequena e sua maioria não está em boas condições de conservação (CNT, 2015).

Com o intuito de melhorar e ampliar essa malha, frequentemente os órgãos governamentais, realizam obras de implantação e restauração dos pavimentos.

Os projetistas responsáveis pela elaboração dos projetos dessas obras, nem sempre possuem conhecimento, ou estão preparados para determinar qual é a melhor opção em concreto asfáltico de petróleo (CAP) a se empregar no CBUQ das camadas de rolamento dos pavimentos.

Conseguir determinar a redução da espessura e as melhorias mecânicas quando se aplicam ao CAP modificado com polímero no CBUQ das camadas de rolamento, justifica a redução de custos e possibilita a sustentabilidade.

1.4 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Utilizando CAP modificado com polímero é possível reduzir a espessura da camada de rolamento? É vantajoso alterar o tipo CAP?

1.5 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Limita-se a aplicação de dois tipos de CAP a uma faixa granulometricamente estabilizada de CBUQ, mais especificamente a faixa granulométrica C da norma DNIT 031/2006-ES.

O estudo será realizado através de resultados de ensaios obtidos em laboratório e utilizando dados de campo, da rodovia BR-163/PR (Figura 1), entre o Km 140+560, próximo ao município de Capitão Leônidas Marques/PR e o Km 150+960, próximo ao município de Santa Lucia/PR, apresentado uma extensão de 10,40 Km.

Figura 1 – Segmento da rodovia BR-163

Fonte: Google Earth (2016)

CAPÍTULO 2

2.1 DEFINIÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DOS PAVIMENTOS

O pavimento é a parte constituinte da estrada ou arruamento que apresenta como estrutura diversas camadas de espessuras finitas, é executado sobre a superfície final do terraplenagem (subleito), e tem como função receber, resistir e distribuir os esforços empregados pelo tráfego de veículos, as demais camadas do corpo estradal, além de resistir às ações climáticas e proporcionar aos usuários comodidade e segurança (BERNUCCI et al., 2007).

Os pavimentos são classificados de acordo com o comportamento dos materiais que são empregados na sua estrutura, podendo esses ter comportamentos que variam de flexível a rígido (DNIT, 2006).

2.1.1 Pavimento flexível

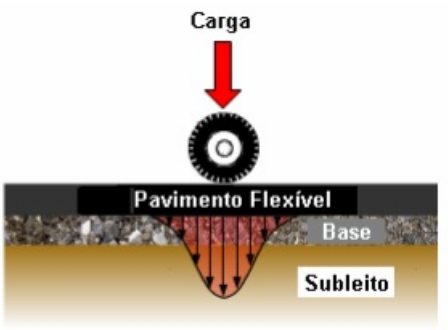
Segundo Senço (1997), pavimentos flexíveis são aqueles que se deformam até certo limite, sem se romper.

São constituídos geralmente por camadas de materiais asfálticos e granulares, no qual a camada superficial é composta por material asfáltico e as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são compostas por materiais granulares, solos ou misturas, sem adição de agentes cimentantes (BERNUCCI et al., 2007).

Segundo o mesmo autor, a estrutura do pavimento é submetida a esforços de compressão e tração devido à flexão, ficando as demais camadas para receberem apenas esforços de compressão, característica essa, mais predominante nos solos e materiais finos que geralmente constituem as demais camadas.

Segundo Balbo (2007), os pavimentos flexíveis apresentam a propriedade de absorver e distribuir entre as camadas subjacentes, os esforços aplicados pelo tráfego, essa distribuição se concentra na região próxima ao local de aplicação da carga, conforme mostra Figura 2.

Figura 2 – Comportamento pavimento flexível



Fonte - Google (2016)

2.1.2 Pavimento rígido

Pavimento pouco deformável, e quando sujeito a deformação excessiva, rompe por tração na flexão (SENÇO, 1997).

Estrutura composta por uma camada superficial de concreto de cimento Portland, podendo essa ser armada, ou não, sobre uma camada de material granular ou material estabilizado com cimento, executada sobre o subleito ou reforço do subleito, dependendo da necessidade (BERNUCCI et al., 2007).

Segundo Balbo (2007), é o tipo de pavimento onde uma das camadas absorve a maior parte dos esforços empregados pelo tráfego, alivia as pressões e realiza a distribuição, horizontalmente, para as demais camadas, conforme mostra Figura 3. A área de distribuição de esforços nos pavimentos rígidos é superior à área de distribuição dos pavimentos flexíveis.

Figura 3 - Comportamento pavimento rígido

Fonte - Google (2016).

2.1.3 Pavimento semi-rígido

São os pavimentos compostos por camadas flexíveis e rígidas, desta forma se apresentam em uma estrutura tipicamente mista, que recebe e resiste aos esforços de tração à flexão (SENÇO, 1997).

Sua estrutura é composta por camada superficial asfáltica, base e sub-base tratada com cimento Portland, descartando a utilização de concreto na camada superficial (BALBO, 2007).

2.2 ESTRUTURAS DE PAVIMENTOS

A estrutura do pavimento é constituída por camadas sobrepostas horizontalmente, as quais são apoiadas na fundação do corpo estradal, denominado de subleito. Essas camadas devem apresentar características físicas e mecânicas suficientes para atender estruturalmente e operacionalmente os esforços empregados pelo tráfego, visando proporcionar maior tempo de vida útil e menor custo de construção, manutenção e operação (BALBO, 2007).

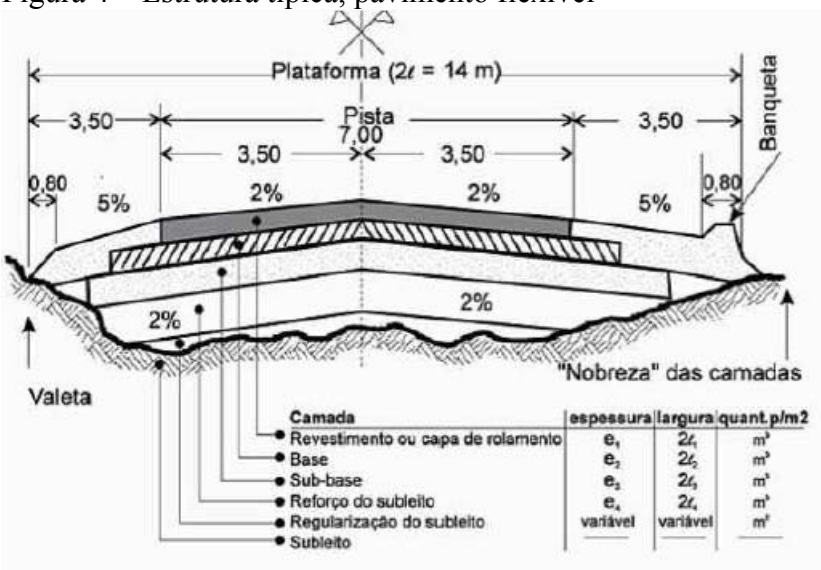
Segundo o mesmo autor, a estrutura do pavimento tem como função, receber e conduzir os esforços empregados pelo tráfego até a fundação. Durante o processo de condução, os esforços são dissipados e a pressão é reduzida camada a camada, com isso, cada parte constituinte da estrutura trabalha dentro dos seus limites sem ultrapassar sua resistência, sem causar degradação acelerada ou prematura.

O DNIT (2006) descreve que a estrutura dos pavimentos flexíveis e dos rígidos pode ser constituída por camadas de reforço do subleito, sub-base, base e revestimento ou camada de rolamento. O número e o tipo de camadas que formam a estrutura do pavimento dependerão do tráfego, da vida útil de projeto, do tipo de pavimento a ser utilizado e o método de dimensionamento. A estrutura de pavimento rígido apresenta menor quantidade de camada comparada à estrutura do pavimento flexível.

2.2.1 Estrutura de pavimentos flexíveis

Cada parte constituinte da estrutura do pavimento (Figura 4) apresenta uma ou mais funções específicas, que tem como propriedades transmitir aos veículos condições adequadas de suporte e rolamento em qualquer condição climática (BALBO, 2007).

Figura 4 – Estrutura típica, pavimento flexível



Fonte - Senço (1997)

2.2.1.1 Subleito

É o terreno de fundação do pavimento constituído por material natural (solos), compactado, podendo ser proveniente de aterro ou corte, os esforços aplicados sobre ele são absorvidos e dissipados em sua profundidade, o mesmo não constitui o corpo do pavimento (BALBO, 2007).

2.2.1.2 Regularização do subleito

Camada executada sobre o subleito, que tem como objetivo conformá-lo, deixando com as características geométricas especificadas no projeto de terraplenagem (SENÇO, 1997).

2.2.1.3 Reforço do subleito

É constituído geralmente de material pétreo como rachão ou de solo tratado, apresenta espessura constante, construída, quando se faz necessário, executada acima da regularização. É a primeira camada que constitui o pavimento, apresentam características mecânicas inferiores a sub-base, e superior ao subleito. Sua função é receber os esforços transmitidos pela sub-base, dissipar e transferi-los ao subleito. As camadas de reforço são empregadas com intuito de reduzir a espessuras das camadas superiores, por apresentarem custo de execução inferior as demais (SENÇO, 1997).

2.2.1.4 Sub-base

É a camada complementar da base executada sobre o reforço ou subleito, dependendo da situação, podem ser empregados materiais pétreos, como bica corrida, brita graduada ou solo tratado. O material deve apresentar características mecânicas superiores ao material empregado no reforço ou subleito e inferior ao empregado na base. Essa camada é utilizada quando se necessita reduzir espessuras das camadas superiores, pois apresenta menor custo de execução (BALBO, 2007).

2.2.1.5 Base

É a faixa que se apresenta abaixo da camada de rolamento destinada a resistir aos esforços verticais empregados pelo tráfego e distribuí-los. Nesta camada pode ser empregado solo quimicamente tratado, solo-brita, brita graduada, brita graduada com adição de cimento Portland, concretos, entre outros (BALBO, 2007).

2.2.1.6 Revestimento

Também denominado de capa de rolamento ou camada de desgaste é a parte do pavimento que tem contato direto com o tráfego, ela recebe e transmite os esforços para as demais camadas constituintes, destas é a que mais sofre desgaste, devido ao contato direto com o tráfego e ações climáticas. (BERNUCCI et al., 2007).

Segundo o mesmo autor, a durabilidade do pavimento está ligada à sua capacidade de inibir a penetração de água na estrutura, e por apresentar em sua composição o betume, material ligante que possui propriedade impermeabilizante, e também por geralmente apresentar uma estrutura fechada.

Quando executada com CBUQ é considerada a camada mais nobre do pavimento, pois possui um elevado custo de produção e aplicação, por este motivo, ela apresenta a menor espessura entre as camadas que constituem a estrutura do pavimento. A espessura dessa camada geralmente é adotada, suas características físicas e mecânicas servem de base para o dimensionamento das demais camadas (SENÇO, 1997).

2.3 MATERIAIS PARA PAVIMENTACÃO

Na pavimentação são utilizados diversos materiais para o desempenho de suas camadas. Para a execução dos reforços de subleito, sub-base e base podem ser utilizados solos agregados, tanto minerais, quanto artificiais, cimento, cal e materiais betuminosos e para execução do revestimento podem ser utilizados agregados, materiais betuminosos, cimento e cal. Os materiais mais utilizados são os agregados minerais, os materiais betuminosos, CAP, emulsão asfáltico e asfalto diluído (BERNUCCI et.al., 2007).

2.3.1 Agregados

Ceratti e Reis (2014) descrevem que agregado é um termo coletivo para areias, pedregulhos e rochas minerais, tanto em seu estado natural quanto no estado processado.

Os materiais pétreos recebem a nomeação genérica de agregados e os mesmos podem ser de origem natural ou artificial. Os agregados utilizados na pavimentação podem ser classificados de acordo com a sua natureza, tamanho e distribuição dos grãos (PINTO, 2015).

2.3.1.1 Classificação quanto a natureza

Segundo Pinto (2015), quanto à natureza os agregados são classificados em três grupos, sendo eles:

- Naturais: são os que têm como origem as alterações das rochas, podem ser provenientes do intemperismo, como os pedregulhos, areias e seixos, ou os processados, britados, como as britas;
- Artificias: são os provenientes de resíduos de processos industriais, matérias que passam por transformações físicas e químicas, como as escórias de alto-forno e as argilas expansivas;
- Reciclados: oriundos do reuso de materiais diversos, como reciclagem de matérias de asfalto e de concreto.

2.3.1.2 Classificação quanto ao tamanho

Segundo Ceratti e Reis (2014) quanto ao tamanho os agregados são classificados em três grupos, sendo eles:

- Graúdo: matérias maiores que 2,0 mm, são as britas, cascalhos e seixos;
- Miúdo: matérias maiores que 0,075 mm e menores que 2,0 m, são as areias e o pó de pedra;
- Material de enchimento: materiais que apresentam no mínimo 65% das partículas menores que 0,075 mm, como o cimento e a cal.

2.3.1.3 Classificação quanto a distribuição ou graduação

Segundo Pinto (2015), quanto à graduação, os agregados são classificados em quatro grupos, sendo eles:

- Graduação densa: apresenta curva granulométrica e contínua de material bem graduado, com quantidade de material fino suficiente para completar os vazios entre as partículas maiores;
- Graduação aberta: apresenta curva granulométrica e contínua de material bem graduado, com quantidade de material fino insuficiente para completar os vazios entre as partículas maiores;
- Uniforme: apresenta partículas de um único tamanho;
- Graduação em degrau: apresenta pequena variação de matérias com tamanhos intermediários que formam um patamar na curva granulométrica.

2.3.2 Materiais betuminosos

São misturas de hidrocarbonetos solúveis em bissulfeto de carbono com propriedades aglutinantes, que tem como função realizar ligações, os mesmos podem ser divididos em Asfalto e Alcatrão (BERNUCCI et al., 2007).

Asfalto: produto que pode ser obtido naturalmente, ou através do refino do petróleo, utilizado como aglutinante, pois quando aquecido se liquefaz gradualmente (PINTO, 2015).

Alcatrão: produto que é obtido através da carbonização ou destilação destrutiva de materiais orgânicos naturais (PINTO, 2015).

Segundo Balbo (2007), os ligantes betuminosos mais utilizados na pavimentação são os asfaltos provenientes da destilação do petróleo, a partir deles são obtidos o cimento asfáltico, asfalto diluído e emulsão asfáltica.

Pinto (2015) descreve que o comportamento dos materiais betuminosos tem relação com o tempo de aplicação da carga, da temperatura de produção e utilização, e as principais propriedades que apresentam, tem relação com:

- Aglutinação: propriedade de envolver e de realizar ligação de materiais;
- Impermeabilização: devido à propriedade de envolver os materiais não possibilita contato com a água;
- Durabilidade: capacidade de resistir às mudanças de sua propriedade, devido ao intemperismo nas pistas e ao aquecimento;
- Versatilidade de uso: poder utilizado em diversas áreas da construção.

2.3.2.1 Cimento asfáltico

O resultado da destilação do asfalto pode ser oriundo do asfalto de petróleo, nomeado como CAP, ou oriundo do asfalto natural, nomeado como CAN. Ambos são produzidos essencialmente para utilização em pavimentos flexíveis, apresentam características de flexibilidade, durabilidade, aglutinação, impermeabilização e se tornam trabalháveis em altas temperaturas (CERATTI, REIS, 2014).

2.3.2.2 Asfalto diluído

É o resultado da diluição do cimento asfáltico em solventes derivados do petróleo, trabalhável em temperaturas médias e apresenta as mesmas características do cimento asfáltico, quando aplicado e evaporado ao solvente, utilizado para impermeabilização. Sua classificação é dada de acordo com o tempo de cura, sendo essas, CR – cura rápida, CM – cura média e o CL – cura lenta (PINTO, 2015).

2.3.2.3 Emulsão asfáltica

Obtido através da mistura entre cimento asfáltico e água apresenta boa adesividade, utilizado para ligações entre as camadas. Sua classificação é dada de acordo com a velocidade de ruptura, sendo essas, RR – ruptura rápida, RM – ruptura média e o RL – ruptura lenta (CERATTI; REIS, 2014).

2.4 CIMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO

A perda das propriedades mecânicas dos ligantes é um dos problemas que encontramos nos pavimentos flexíveis, essa perda resulta em patologias que geram custos para sociedade. A modificação do cimento asfáltico é uma alternativa para melhorar as suas propriedades mecânicas e reduzir a incidência de patologias nos pavimentos. Esta modificação pode ser realizada através da adição de polímeros (BERNUCCI et al., 2007).

Em baixas temperaturas os ligantes asfálticos se apresentam frágeis e quebradiços e em temperaturas mais elevadas podem apresentar baixa consistência, por serem materiais termoplásticos, dessa forma, a modificação por polímero pode corrigir essas características do ligante (PINTO, 2015).

A utilização de polímeros na composição do cimento asfáltico teve início no Brasil nos anos 90, o DNIT realizou teste com este material e elaborou as especificações técnicas de utilização do mesmo em rodovias nacionais (CERATI; REIS, 214).

2.4.1 Polímeros para pavimentação

São substâncias macromoleculares que podem ser produzidas pela natureza ou os sintéticos, que são obtidos artificialmente pela união sequenciada de pequenas moléculas chamadas monômeras, as quais apresentam estrutura simples, que se repetem em sua longa cadeia (PINTO, 2015).

Bernucci, et.al. (2007), descreve que os polímeros utilizados no meio rodoviário, podem ser classificados de acordo com seu comportamento, frente às variações térmicas:

- Termorrígidos: endurecem de forma irreversível quando aquecidos e sofrem degradação a uma temperatura limite, apresentam a característica de resistir a qualquer mobilidade térmica, exemplo: resina epóxi e poliuretano;
- Termoplásticos: Amolecem e se tornam maleáveis quando aquecidos e endurecem quando resfriados, exemplo: polietileno, polipropileno e PVC;
- Elastômeros: Quando aquecidos se decompõem antes de amolecerem, exemplo: borracha sintética (SBR);
- Elastômeros-termoplásticos: Quando aquecidos se comportam como termoplásticos e quando resfriados apresentam características elásticas, exemplo: estireno-butadieno-estireno (SBS) e etileno-acetato de vinila (EVA).

2.4.2 Melhorias que o polímero emprega

De acordo com Pinto (2015) e Bernucci et.al. (2007), a adição de polímero ao ligante, proporciona as seguintes características ao betume:

- Aumenta o ponto de amolecimento e da viscosidade;
- Diminui a suscetibilidade térmica;
- Maior resistência ao envelhecimento;
- Pequena variação do modulo de rigidez com a temperatura;
- Melhoria do modulo elástico dinâmico.

2.4.3 Asfalto modificado com polímero SBS

No Brasil, o polímero mais utilizado para modificar o CAP é o SBS, por proporcionar uma redução na rigidez do ligante, por proporcionar maior flexibilidade ao concreto asfáltico e por empregar maior resistência ao trincamento e as deformações permanentes nos pontos de aplicação de carga (BERNUCCI et.al., 2007).

2.5 MISTURA ASFÁLTICA

São divididas em dois grupos, mistura à quente, na qual os agregados são aquecidos antes da mistura com o material ligante e a mistura à frio, na qual, não se aquece o agregado. Misturas à frio são fabricadas em instalações simples e são mais sensíveis a cargas, como tratamento superficial, e a mistura à quente exige equipamento complexo para produção. São utilizadas em lugares onde apresentam tráfego intenso ou pesado, um exemplo é o CBUQ (BERNUCCI et.al., 2007).

2.5.1 Concreto asfáltico usinado a quente

Concreto betuminoso usinado a quente, também conhecido por CBUQ, é um dos tipos de mistura asfáltica mais utilizados no Brasil, trata-se de uma massa constituída de agregados graúdos, miúdos, materiais de enchimento e ligante betuminoso, produzida em uma usina apropriada, a qual aquece os materiais pétreos e realiza a mistura com o material ligante (BERNUCCI et.al., 2007).

Os agregados constituem o esqueleto, que suporta e transmite as cargas empregadas pelo tráfego e o ligante une as partículas do agregado e as mantêm em posição adequada para transmitir as cargas aplicadas (PINTO, 2015).

Ainda segundo o mesmo autor, curva granulométrica dos agregados mostra se a massa apresentará uma textura mais aberta ou mais fechada, curva granulométrica partindo para peneira mais aberta, apresentará uma massa mais aberta e variando para a peneira mais fechada, apresentará uma textura mais fechada. A característica de aberta ou fechada tem relação dependendo da situação que será empregado o concreto asfáltico, para a camada de rolamento é necessário ser mais fechada e para a camada de ligação deve ser mais aberta.

A produção é realizada em usina, na qual deve haver rigoroso controle de granulometria, teor de ligante, temperatura do agregado e do betume, o carregamento e o transporte da massa devem ser realizados de forma que não ocorra desagregação dos materiais (SENÇO, 1997).

2.5.2 Propriedades da mistura

Senço (1997) e Balbo (2007), apresentam as propriedades mecânicas, da mistura asfáltica:

- Rigidez: relação entre tensão e deformação, ligada à temperatura e ao tempo de carregamento, propriedade influenciada pela granulometria da mistura, teor de ligante, grau de compactação e rigidez da massa;
- Estabilidade: resistência à deformação permanente, ligada à temperatura e ao tempo de carregamento, propriedade influenciada pela granulometria da mistura, textura do agregado, teor de ligante, grau de compactação e rigidez da massa;
- Durabilidade: resistência ao desgaste causado pelo tráfego e ações climáticas, textura do agregado, propriedade influenciada pela granulometria da mistura, teor de ligante e grau de compactação;
- Resistência à fadiga: se deformar sob carregamento repetido e não se romper, propriedade influenciada pela granulometria da mistura, teor de ligante, grau de compactação e rigidez da massa;
- Deformação recuperável (Resiliência): capacidade de armazenar energia que é empregada pela carga, liberando-a quando é cessado o carregamento que

causa a deformação, é influenciada pelo grau compactação, granulometria da mistura, teor ligante.

2.6 MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

O dimensionamento tem como principal função determinar camadas que protejam o subleito das pressões empregadas pelo tráfego. A estrutura deve trabalhar em conjunto e de forma equilibrada para que possa suprir seu objetivo. Com essa característica, o pavimento deve assegurar uma redução gradual das tensões empregadas na superfície e transmitir a fundação do terreno apenas o que ela poderá suportar (DNIT, 2006).

Para Balbo (2007), as espessuras necessárias para estruturar o pavimento são obtidas através do dimensionamento, para isso é necessário relacionar as características mecânicas do solo que servirá de fundação, os materiais que serão empregados na composição das camadas, as condições climáticas do local de aplicação, o volume de tráfego e o tempo de vida útil do projeto. Esse dimensionamento pode ser realizado através de três métodos: o empírico, empírico-mecanístico e o mecanístico.

2.6.1 Métodos empírico

Foi um dos primeiros métodos elaborados na Segunda Guerra Mundial, para dimensionar pistas de aeroportos, o dimensionamento é realizado a partir de fórmulas, constantes, coeficientes baseado na experiência e relacionado ao desempenho em campo e a propriedades de materiais utilizados na construção (SENÇO, 1997).

O mesmo autor cita alguns métodos de dimensionamento empíricos, sendo estes: o método do índice de grupo (IG), método *California Bearing Ratto* (CBR), método de *HVEEM* e o método do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

O método mais utilizado no Brasil foi o elaborado pelo Engenheiro Murilo Lopes de Souza, o qual foi normatizado pelo DNER, esse método foi elaborado a partir do trabalho "*Desigh of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Trafic Volume*" desenvolvido pelo *USACE*. Corpo de Engenheiros do Exército dos EUA (DNER, 1981).

O mesmo consiste em adotar uma espessura para revestimento, em seguida com base no volume de tráfego, referente ao período de vida do projeto corrigida com fator de clima regional e o índice de suporte Califórnia (CBR), é determinado através de um ábaco as espessuras das demais camadas do pavimento.

2.6.2 Método empírico-mecanístico

Método que concilia método empírico e macanístico foi elaborado nos EUA, quando desenvolvido buscou-se novos procedimentos que considerassem mais fatores durante o dimensionamento, como as diferentes condições climáticas do país, a necessidade de controlar as patologias mais críticas e como determinar o desempenho dos pavimentos. O *National Cooperative Hghway Program* desenvolveu o AASHTO 2002, método que analisa a elástica da estrutura do pavimento (BALBO, 2007).

Segundo o mesmo autor, o método realiza cálculo por camada de tensão, deformação e deflexão, para que possa prevenir a degradação do pavimento também é possível analisar diversos parâmetros do projeto, toda essa análise é realizada através de *softwares*.

2.6.3 Método mecanístico

O método de dimensionamento mecanístico utiliza *softwares* para analisar as camadas, considerando prever deformações e tensões que serão empregados pelo tráfego e o clima na estrutura do pavimento, esse método visa compatibilizar essas tensões e deformações com as tensões resistentes dos materiais (FRANCO, 2007).

2.7 DIMENSIONAMENTO DE CAMADAS DE ROLAMENTO

Em todos os métodos de dimensionamento é necessário adotar uma espessura inicial para camada de rolamento e posteriormente dimensionar as demais camadas constituintes da estrutura do pavimento (SENÇO, 1997 e BALBO, 2007).

2.7.1 Determinação da espessura da camada de rolamento

A determinação da camada de rolamento pelo método mecanístico, é feita através de *software*, o qual analisa as propriedades físicas e mecânicas das camadas subjacentes a de rolamento e verifica-se a espessura adota para ela, atendendo as solicitações empregadas pelo tráfego (FRANCO, 2007).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

Para a realização dessa análise necessitou-se da utilização do laboratório e do escritório. Primeiramente, foi solicitado e recebido da construtora A, à composição dos traços de CBUQ com CAP 50/70 e com CAP SBS 65/90, em seguida realizou-se a coleta das amostras e dados de caracterização dos agregados e dos materiais ligantes que constituíram as misturas.

Posteriormente, realizou-se a dosagem dos traços de CBUQ, utilizando a composição granulométrica do traço de CBUQ com CAP convencional e o modificado com polímero, posteriormente foram realizados os ensaios de caracterização mecânica dos mesmos.

Com os resultados dos ensaios de caracterização mecânica, dimensionou-se a espessura da camada de rolamento de dois pavimentos, em cada um foi utilizado um traço. Por fim, foi verificado se o dimensionamento apresentou variação nas espessuras.

O método de pesquisa utilizado foi a aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, e a exploratória, considerando buscar maior aprofundamento sobre o tema em questão. A Tabela 1 apresenta as misturas utilizadas no estudo.

Tabela 1 - Misturas propostas para estudo

Mistura Asfáltica	Material ligante	Origem dos agregados	Distribuição granulométrica
Convencional	CAP 50/70	Santa Tereza do Oeste-PR Pedreira Trevo	Faixa C DNIT
Modificada	CAP SBS 65/90		

Fonte - Autor (2016)

3.1.1 Local da pesquisa

Para realização desta análise foram utilizados dois ambientes, o laboratório e o escritório. Para a efetuação da pesquisa utilizou-se laboratório da construtora A, localizado na rodovia BR-163, próximo ao município de Santa Lúcia-PR, onde realizaram-se as dosagens e os ensaios de tração por compressão diametral e o ensaio do módulo de resiliência foi realizado em laboratório terceirizado. Para a realização do dimensionamento da espessura da camada de rolamento do pavimento e para a análise dos resultados utilizou-se o escritório da construtora A, que se localiza no mesmo endereço do laboratório.

Os dados de tráfego, clima, período de projeto, as características físicas e mecânicas da camada de subleito e de base do pavimento, que foram utilizados no dimensionamento da camada de rolamento, são referentes ao segmento da rodovia BR-163 entre os municípios de Cascavel e Marmelândia - PR, os quais foram fornecidos pela construtora responsável pela restauração do segmento.

3.1.2 Faixa granulométrica de trabalho

As normas do DNIT, ES-031/2006 para concreto asfáltico convencional (Anexo I), e ES-385/99 para concreto asfáltico modificado com polímero (Anexo II), especificam que a composição granulométrica do CBUQ da camada de rolamento, deve ser enquadrada na faixa de trabalho "B" ou "C" das respectivas normas.

Para esta análise adotou-se a faixa "C" para ambas as amostras, por ser uma composição granulométrica fechada, por apresentar menor taxa de permeabilidade e proporcionar maior conforto ao usuário, além de ser a faixa de trabalho mais utilizada por projetistas, quando dimensionam a camada de rolamento das rodovias. A especificação de serviço adotada foi a ES-031/2006 para ambos os traços, devido ao fato dos traços terem sido fornecidos pela Construtora A e a mesma argumentar que a ES-385/99 não apresenta variação considerável com relação a ES-031 e pela mesma estar desatualizada.

3.1.2.1 Faixa "C", concreto asfáltico convencional

A norma do DNIT ES-031/2006, determina que para CBUQ com cimento asfáltico de petróleo convencional, a composição granulométrica deve se enquadrar nas tolerâncias da Tabela 2.

Tabela 2 - Composição granulométrica faixa “C” DNIT ES-031/2006

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando	
Série ASTM	Abertura (mm)	Faixa “C"	Tolerâncias
1 ½”	38,1	-	± 7%
1”	25,4	-	± 7%
¾”	19,1	100	± 7%
½”	12,7	80 - 100	± 7%
3/8”	9,5	70 - 90	± 7%
N° 4	4,8	44 - 72	± 5%
N° 10	2,0	22 - 50	± 5%
N° 40	0,42	8 - 26	± 5%
N° 80	0,18	4 - 16	± 3%
N° 200	0,075	2 - 10	± 2%

Fonte - DNIT (2006)

3.1.2.2 Faixa “C”, concreto asfáltico modificado com polímero

A norma do DNIT, DNER-ES 385/99, determina que para CBUQ com CAP modificado com polímero do tipo SBS, composição granulométrica deve-se enquadrar nas tolerâncias da Tabela 3.

Tabela 3 - Composição granulométrica faixa “C” DNER-ES 385/99

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando	
Série ASTM	Abertura (mm)	Faixa "C"	Tolerâncias
1 ½”	38,1	-	± 7%
1”	25,4	-	± 7%
¾”	19,1	100	± 7%
½”	12,7	85-100	± 7%
3/8”	9,5	75-100	± 7%
N° 4	4,8	50-85	± 5%
N° 10	2,0	30-75	± 5%
N° 40	0,42	15-40	± 5%
N° 80	0,18	8-30	± 3%
N° 200	0,075	5-10	± 2%

Fonte - DNIT (1999)

3.1.3 Materiais

3.1.3.1 CAP, cimento asfáltico de petróleo

Segundo Cerratti e Reis (2011), o cimento asfáltico é o responsável pela característica de flexibilidade do CBUQ, pois ele envolve e mantêm unidos os agregados, além de empregar características de impermeabilidade ao produto.

A Agência Nacional do Petróleo (ANP), responsável pela regulamentação do CAP no país, determinou através da resolução nº 19, de 11 de junho de 2005 as características e a forma de nomear o produto. No CAP convencional, sua nomenclatura apresenta os limites da penetração em decímetros de milímetro, e as características que devem ter são demonstradas na Figura 5.

Figura 5 - Características CAP convencional

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	MÉTODO		ESPECIFICAÇÃO			
		ABNT	ASTM	CAP 30-45	CAP 50-70	CAP 85-100	CAP 150-200
Penetração (100g, 5s, 25°C)	0,1mm	NBR-6576	D 5	30 a 45	50 a 70	85 a 100	150 a 200
Ponto de Amolecimento, mín.	°C	NBR-6560	D 36	52	46	43	37
Viscosidade Saybolt Furol							
a 135°C, mín.	SSF	NBR-14950	E 102	192	141	110	80
a 150°C, mín.				90	50	43	36
a 177°C				40 a 150	30 a 150	15 a 60	15 a 60
ou							
Viscosidade Brookfield:							
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	NBR-15184	D 4402	374	274	214	155
a 150°C, SP 21, mín.				203	112	97	81
a 177°C, SP 21				76 a 285	57 a 285	28 a 114	28 a 114
Índice de Susceptilidade 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	NBR-11341	D 92	235	235	235	235
Solubilidade em Tricloroetileno, mín.	% massa	NBR-14855	D 2042	99,5	99,5	99,5	99,5
Ductilidade a 25°C, mín.	cm	NBR-6293	D 113	60	60	100	100
Efeito do Calor e do Ar (RTFOT) a 163°C, 85 minutos:		NBR-15235	D 2872				
Variação em Massa, máx. (2)	%	NBR-15235	D 2872	0,5	0,5	0,5	0,5
Ductilidade a 25°C, mín.		NBR-6293	D 113	10	20	50	50
Aumento do Ponto de Amolecimento, máx.	°C	NBR-6560	D 36	8	8	8	8
Penetração retida, mín. (3)	%	NBR-6576	D 5	60	55	55	50

Fonte - Greca Asfaltos (2016)

Para o CAP modificado com polímero sua nomenclatura apresenta o ponto de amolecimento mínimo e a recuperação elástica, as características são demonstradas na Figura 6.

Figura 6 - Características CAP modificado com polímero

GRAU (ponto de amolecimento min. / Recuperação Elástica min.)		FLEXPAVE		
		55/75	60/85	65/90
ENSAIOS NA AMOSTRA VIRGEM:	MÉTODO ABNT	LIMITE DE ESPECIFICAÇÃO		
Penetração 25°C, 5s, 100g, dmm	NBR-6576	45 a 70	40 a 70	40 a 70
Ponto de Amolecimento mín., °C	NBR-6560	55	60	65
Ponto de Fulgor, mín.	NBR-11341	235	235	235
Viscosidade Brookfield a 135°C, spindle 21, 20 rpm, máx., cP	NBR-15184	3000	3000	3000
Viscosidade Brookfield a 150°C, spindle 21, 50 rpm, máx., cP	NBR-15184	2000	2000	2000
Viscosidade Brookfield a 177°C, spindle 21, 100 rpm, máx., cP	NBR-15184	1000	1000	1000
Ensaio de Separação de Fase, máx., °C	NBR-15166	5	5	5
Recuperação Elástica a 25°C, 20cm, mín., %	NBR-15086	75	85	90
ENSAIO NO RESÍDUO DO RTFOT				
Variação de massa, máx., %	NBR-15235	1	1	1
Variação do PA, °C máx.	NBR-6560	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Percentagem de Penetração Original, mín.	NBR-6576	60	60	60
Percentagem de Recuperação Elástica Original a 25°C, mín.	NBR-15086	80	80	80

Fonte - Greca Asfaltos (2016)

Para realização desta análise utilizou-se o CAP 50/70 (convencional) e o CAP SBS 65/90 (modificado com polímero) na composição do traço das misturas do concreto asfáltico, os quais foram fornecidos pela construtora A.

3.1.3.2 Agregados

Os agregados minerais são os responsáveis por formar o esqueleto do CBUQ, tem função de suportar e transmitir as tensões empregadas pelo tráfego nas demais camadas que compõem o pavimento (CERATTI; REIS, 2011).

A norma do DNIT, ES 031/2006 e ES 385/99, especificam os agregados minerais que podem ser utilizados no concreto asfáltico, são eles:

Agregado graúdo: materiais que ficam retidos na peneira nº 10 (2 mm).

Agregado miúdo: material que passa pela peneira nº 10 e fica retido na peneira nº 200 (0,075 mm).

Material de enchimento (fíler): material que apresenta mais de 65% de partículas que passam na peneira nº 200.

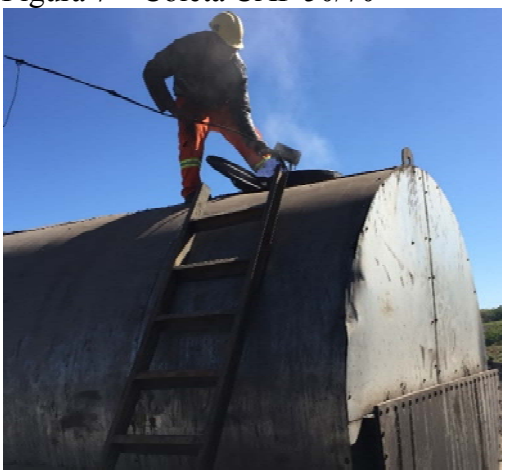
Nesta análise, utilizou-se agregados graúdos, brita ¾’ e pedrisco e agregado miúdo, pó de pedra e como material de enchimento a cal, os quais foram fornecidos pela construtora A.

3.1.4 Amostras

3.1.4.1 CAP 50/70

A amostra de CAP 50/70 (convencional), foi coletada em um recipiente de 5 litros, diretamente do tanque de armazenamento da usina de asfalto da Construtora A (Figura 7), esse produto é proveniente de uma distribuidora comercial, que se localiza no município de Araucária-PR.

Figura 7 – Coleta CAP 50/70

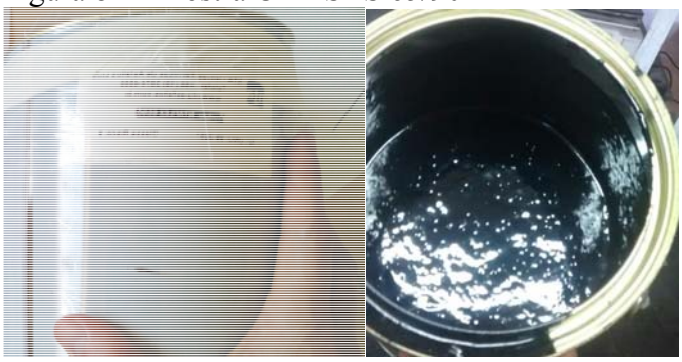


Fonte - Autor (2016)

3.1.4.2 CAP SBS 65/90

A amostra de CAP SBS 65/90 (modificado com polímero), foi enviada pela construtora A ao acadêmico em um recipiente de aproximadamente 3kg (Figura 8), esse produto é proveniente de uma distribuidora comercial, que se localiza no município de Araucária-PR.

Figura 8 - Amostra CAP SBS 65/90



Fonte - Autor (2016)

3.1.4.3 Brita ¾”

A amostra do agregado graúdo, brita ¾”, foi coletado diretamente da bica da linha de britagem de uma pedreira comercial, localizada às margens da rodovia BR-163 no município de Santa Tereza do Oeste-PR, esse material é proveniente de uma jazida basáltica. Para essa amostra coletou-se um volume de 50 kg (Figura 9), conforme especifica o procedimento DNER-PRO 120/97.

Figura 9 - Amostra brita ¾”

Fonte - Autor (2016)

3.1.4.4 Pedrisco

A amostra do agregado graúdo, pedrisco, foi coletada diretamente da bica da linha de britagem de uma pedreira comercial, localizada às margens da rodovia BR-163 no município de Santa Tereza do Oeste-PR, esse material é proveniente de uma jazida basáltica. Para essa amostra, coletou-se um volume de 50 kg (Figura 10), conforme especifica o procedimento DNER-PRO 120/97.

Figura 10 – Amostra pedrisco

Fonte - Autor (2016)

3.1.4.5 Pó de Pedra

A amostra do agregado miúdo, pó de pedra, foi coletada diretamente da bica da linha de britagem de uma pedreira comercial, localizada as margens da rodovia BR-163 no município de Santa Tereza do Oeste-PR, esse material é proveniente de uma jazida basáltica. Para essa amostra, coletou-se um volume de 20 kg (Figura 11), conforme especifica o procedimento DNER-PRO 120/97.

Figura 11 - Amostra pó de pedra

Fonte - Autor (2016)

3.1.4.6 Fíler

A amostra de fíler (material de enchimento), cal, proveniente de uma loja de materiais de construção foi fornecida pela construtora A (Figura 12).

Figura 12 - Amostra de cal

Fonte - Autor (2016)

3.1.5 Ensaios de caracterização das amostras

3.1.5.1 Caracterização dos CAP's

Os ensaios referentes à caracterização dos materiais ligantes foram realizados pelas distribuidoras de asfalto e repassado ao consumidor através de um certificado, neste certificado apresenta os resultados do ensaio de:

- Penetração;
- Ponto de amolecimento;
- Densidade relativa;
- Dados da curva de viscosidade *Brookfield* (CAP 50/70)*;*
- Dados da curva de viscosidade *Saybolt Furol* (CAP SBS 65/90).

O certificado do CAP 50/70 e do CAP SBS 65/90 foram fornecidos pela distribuidora de asfaltos a construtora A, que repassou ao acadêmico. Os mesmos seguem neste, como Anexo III e Anexo IV.

3.1.5.2 Caracterização dos agregados

Os ensaios de caracterização dos agregados utilizados na composição do concreto asfáltico, que foram realizados pela construtora A, a mesma forneceu ao acadêmico os resultados destes, para que o mesmo pudesse realizar sua análise (Anexo V e VI).

O DNIT especifica através da normativa DNIT-ES 031/2006 e DNER-ES 385/99, as características físicas que os agregados devem apresentar para que possam ser utilizados na composição do concreto asfáltico, essas são:

Os agregados graúdos:

- Abrasão Los Angeles inferior a 55%. O ensaio para determinação do desgaste do agregado é realizado utilizando equipamento Los Angeles, uma centrífuga na qual é colocado o agregado, junto com esferas de aço, após um período de rotação do equipamento, se determina a perda de massa dos grãos, o procedimento de ensaio está descrito na norma DNER-ME 035/98.
- Índice de forma superior a 0,5. O ensaio para determinar a forma das partículas, é realizado através do peneiramento da amostra de agregado, sua determinação é dada através da análise das quantidades retidas em cada peneira, o procedimento de ensaio está descrito na norma DNER-ME 086/94.
- Durabilidade, perda inferior a 12%. O ensaio consiste em manter o agregado em uma solução de sulfato de sódio ou de magnésio por um período de 17 horas a cada ciclo, o processo deve possuir cinco ciclos consecutivos, posteriormente é determinada a perda de massa, o procedimento de ensaio está descrito na norma DNER-ME 089/94.

Os agregados miúdos:

- O equivalente de areia tem que ser igual ou superior a 55%. Esse ensaio é utilizado para averiguar a presença de finos no material, o mesmo consiste em juntar o agregado e areia em uma proveta com uma solução defloculante, após um período de repouso, verificar a altura entre a areia e o nível da solução, o procedimento de ensaio está descrito na norma DNER-ME 054/97.

O material de enchimento (fíler):

- Sua composição granulométrica deve ter no mínimo 65% de material passando na peneira nº 200 (0,075mm).

3.1.6 Granulometria e composição granulométrica dos agregados

O ensaio granulométrico e a composição granulométrica da mistura foram fornecidos pela Construtora A, através dos traços de CBUQ faixa “C” do DNIT.

3.1.6.1 Granulometria

Para determinar a granulometria das amostras a construtora A realizou-se o procedimento de ensaio especificado pelo DNIT na norma DNER-ME 083/98, na qual determina que os agregados graúdos e miúdos que compõem a mistura (brita ¾”, pedrisco e pó de pedra) devem ser submetidos ao procedimento.

Para realização do ensaio foi necessário separar as amostras na proporção mínima especifica pela norma (Figura 13), posteriormente utilizado o conjunto de peneiras com as malhas especificadas (Tabela 4), para determinar a quantidade passante do material em cada peneira.

Figura 13 - Massa mínima, por amostra

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

Fonte - DNIT (1988)

Tabela 4 - Peneiras

Peneira de malha quadrada	
Série ASTM	Abertura (mm)
2”	50,8
1 ½”	38,1
1”	25,4
¾”	19,1
½”	12,7
3/8”	9,5
N° 4	4,8
N° 10	2,0
N° 40	0,42
N° 80	0,18
N° 200	0,075

Fonte - DNIT (1988)

3.1.6.2 Composição granulométrica

O DNIT especifica através da norma DNER ME 043/95, como deve proceder à composição granulométrica.

A determinação da composição granulométrica da mistura deve ser realizada a partir dos resultados da porcentagem de massa passante de cada material analisado, esses valores são obtidos no ensaio da granulometria. Com a distribuição granulométrica dos materiais e a faixa de trabalho determinada é realizada a dosagem de cada material enquadrando nos limites máximos e mínimos das peneiras que contemplam a faixa de trabalho escolhida.

% brita ¾” + % pedrisco” + % pó de Pedra + % fíller = 100%

3.1.7 Dosagem

Segundo Pinto (2015), o projeto de CBUQ é elaborado a partir da dosagem dos materiais pétreos e betuminoso, e visa enquadrá-los nas especificações estabelecidas pelas normas dos órgãos responsáveis.

Para essa análise, foram utilizados traços de CBUQ dosados pelo método *Marshall*, tanto para o CBUQ com CAP 50/70 (Anexo V), quanto para o CBUQ com CAP SBS 65/90 (Anexo VI), os quais seguem os parâmetros da especificação de serviço DNIT ES 031/2006.

O DNIT especifica através do método de ensaio DNER ME 043/95 (Anexo VII), como deve proceder a dosagem pelo método *Marshall*.

A dosagem consiste em utilizar a composição granulométrica já determinada e adotar um teor de CAP (T%) para que a mistura esteja dentro dos limites da faixa de trabalho escolhida e que são especificadas pelas normas DNIT-ES 031/2006 e DNER-ES 385/99, a partir deste teor adotado, realiza-se análise de misturas com teores de variações acima e abaixo do adotado (T%-0,5%, e, T%-1,0%, T% +0,5%, e, T%+1,0%), para conseguir determinar o teor ótimo da mistura. O teor ótimo é aquele que se enquadra em todos os limites especificados pela norma.

Após determinados os teores que serão utilizados na análise, são moldados os corpos de provas, estabelecidos os parâmetros físicos e as características mecânicas para todos os teores:

- Massa específica aparente (g/cm³);
- Massa específica máxima teórica (g/cm³);
- Volume de vazios (%);
- Vazios do agregado mineral (%);
- Relação betume/vazios (%);
- Estabilidade (N);

Em seguida são formuladas as curvas:

- Massa específica aparente (g/cm³) x teor de asfalto (%);
- Massa específica máxima teórica (g/cm³) x teor de asfalto (%);
- Volume de vazios (%) x teor de asfalto (%);
- Vazios do agregado mineral (%) x teor de asfalto (%);
- Relação betume/vazios (%) x teor de asfalto (%);
- Estabilidade (N) x teor de asfalto (%).

Por fim, para determinar qual é o teor ótimo da mistura, utilizam-se as curvas traçadas através dos resultados dos ensaios, portanto adota-se o teor que se enquadre em todas as curvas e fique dentro das especificações da faixa de trabalho escolhida. As curvas dos dois traços utilizados nesta análise, seguem junto em anexo, para CBUQ com CAP convencional e Anexo V, para CBUQ com CAP modificado com polímero Anexo VI.

3.1.8 Modelagem dos corpos de prova

3.1.8.1 Corpo de prova *Marshall*

Os corpos de provas utilizados no ensaio de resistência a tração por compressão diametral e para o ensaio de resiliência, foram moldados conforme especifica o método de ensaio DNER ME 043/95.

Inicialmente o material pétreo utilizado na mistura, foi seco em estufa a uma temperatura de 110ºC, posteriormente separado em frações, de acordo com suas dimensões:

- B (19 a 9,5 mm), passa na peneira ¾” e retém na peneira 3/8”;
- C (9,5 a 4,8 mm), passa na peneira 3/8” e retém na peneira nº 4;
- D (4,8 a 2,0 mm), passa na peneira nº 4 e retém na peneira nº 10;
- E (passante pela peneira 2 mm), passa na peneira nº10.

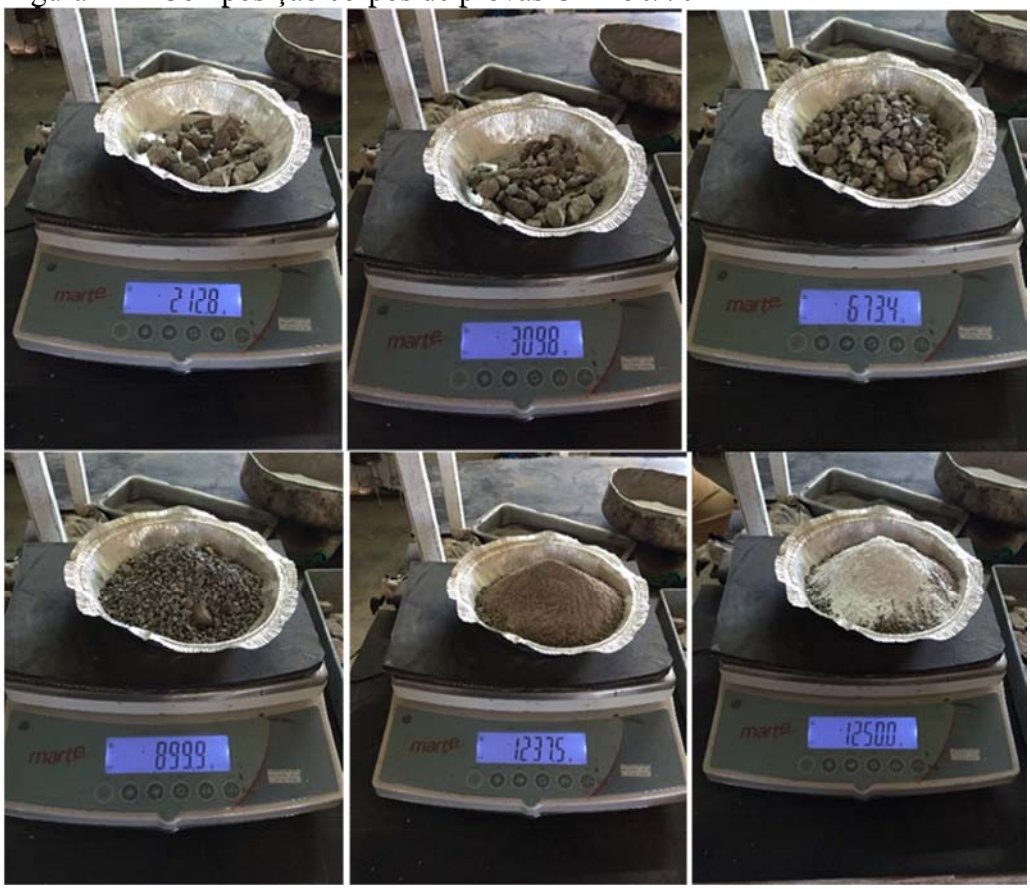
Posteriormente, foram dosados 6 corpos de provas de CBUQ com CAP 50/70 conforme a Tabela 5 e a Figura 14 e mais 6 corpos de provas de CBUQ com CAP SBS 65/90 conforme a Tabela 6 e a Figura 15.

Tabela 5 – Composição corpo de prova CAP 50/70

COMPOSIÇÃO DO CORPO DE PROVA								
FAIXA "C" CAP 50/70								
Peneiras		**Passante (%)**				**MISTURA %**	**Massa dos Agregados**	
Passando	**Retendo**	**Brita ½"**	**Pedrisco**	**Pó**	**Filler**	**(DNER-ME 053/98)**	**Peneira (g)**	**Acum. (g)**
1 ½"	**1"**	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
1"	**3/4"**	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
3/4"	**1/2"**	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
1/2"	**3/8"**	34,50	100,00	100,00	100,00	**83,0**	212,88	212,88
3/8"	**n°4**	4,70	100,00	100,00	100,00	**75,2**	96,85	309,73
n°4	**n°10**	1,00	20,00	99,70	100,00	**46,1**	363,45	673,18
n°10	**-**	0,80	1,00	69,60	100,00	**28,0**	226,75	899,93
-	**Fundo**	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,0**	337,58	1237,50
Filler (Cal)							12,50	1250,00
% AGR.		**26%**	**35%**	**38%**	**1%**		1250,00	-

Fonte - Autor (2016)

Figura 14 – Composição corpos de provas CAP 50/70



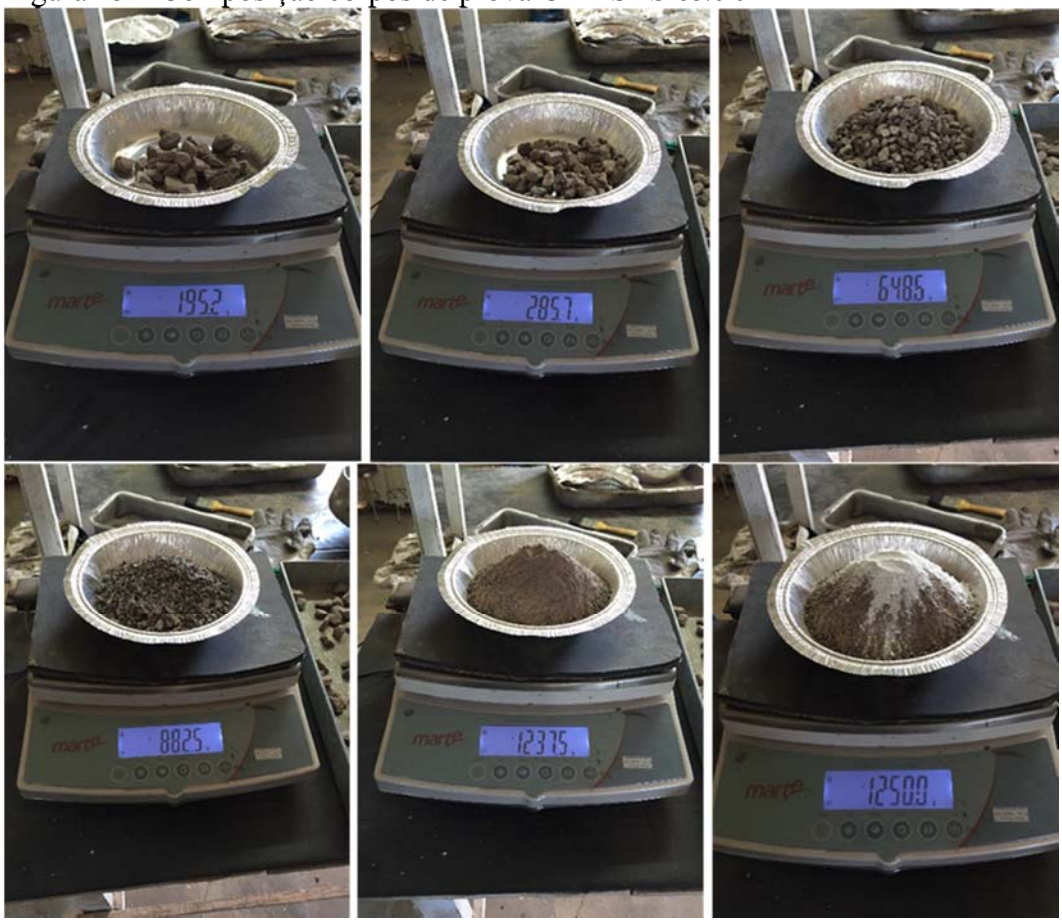
Fonte - Autor (2016)

Tabela 6 – Composição corpo de prova CAP SBS 65/90

COMPOSIÇÃO DO CORPO DE PROVA								
FAIXA "C" CAP SBS 65/90								
Peneiras		Passante (%)				MISTURA %	Massa dos Agregados	
Passando	Retendo	Brita 3/4"	Pedrisco	Pó	Filler	(DNER-ME 053/98)	Peneira (g)	Acum. (g)
1 ½"	1"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
1"	3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
3/4"	1/2"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	0,00	0,00
1/2"	3/8"	34,92	100,00	100,00	100,00	**84,4**	195,24	195,24
3/8"	n°4	4,76	100,00	100,00	100,00	**77,1**	90,48	285,72
n°4	n°10	0,78	20,38	99,49	100,00	**48,1**	362,84	648,57
n°10	-	0,77	2,36	68,47	100,00	**29,4**	233,96	882,52
-	Fundo	0,00	0,00	0,00	0,00	**0,0**	354,98	1237,50
Filler (Cal)							12,50	1250,00
% AGR.		**24%**	**35%**	**40%**	**1%**		1250,00	-

Fonte - Autor (2016)

Figura 15 – Composição corpos de prova CAP SBS 65/90



Fonte - Autor (2016)

Posteriormente, as amostras dosadas foram aquecidas em estufa (Figura 16) até apresentarem temperatura entre 10 e 15ºC acima da temperatura do material ligante, para as amostras dos corpos de prova de CBUQ com CAP 50/70 foram aquecidos até aproximadamente 166ºC e as amostras dos corpos de prova de CBUQ com CAP SBS 65/90 foram aquecidos até aproximadamente 175ºC.

Figura 16 - Amostras na estufa

Fonte - Autor (2016)

O método de ensaio especifica que o material ligante (CAP) deve apresentar a viscosidade de 170+-20 cSt, para que isso ocorresse, o material ligante que compuseram os corpos de prova de CBUQ convencional foram aquecidos no fogão até atingir temperatura de aproximadamente 155ºC (Figura 17) e para os corpos de prova de CAP, modificado com polímero, o material foi aquecido até aproximadamente 165ºC (Figura 18), segundo a especificação essa temperatura deve ficar entre 107ºC e 177ºC.

Figura 17 – CAP 50/70

Fonte - Autor (2016)

Figura 18 – CAP SBS 65/90

Fonte - Autor (2016)

Em seguida, foi determinado a quantidade de CAP de cada amostra através da Equação 1, utilizando como peso dos agregados 1250g.

$$Volume\ de\ CAP = \frac{1250g\ x\ Teor(\%)}{100 - Teor(\%)} \quad (1)$$

Para CAP 50/70, onde o teor ótimo de projeto é 5,14%, a quantidade de CAP foi de 67,73g.

$$Volume\ de\ CAP = \frac{1250g\ x\ 5{,}14\%}{100\% - 5{,}14\%} = 67{,}73\ g$$

Para CAP SBS 65/90, onde o teor ótimo de projeto é 5,50%, a quantidade de CAP foi de 72,75g.

$$Volume\ de\ CAP = \frac{1250g\ x\ 5{,}50\%}{100\% - 5{,}50\%} = 72{,}75\ g$$

Posteriormente, foi adicionado o CAP aos agregados (Figura 19 e 20), e no fogão realizado a mistura dos mesmos, de forma que todos os agregados ficassem completamente envolvidos pelo CAP (Figura 21). A mistura da amostra de CAP convencional foi executada na temperatura de aproximadamente 161ºC e amostras de CAP modificado aproximadamente 170ºC.

Figura 19 – Adição CAP 50/70 na mistura

Fonte - Autor (2016)

Figura 20 – Adição CAP SBS 65/90 à mistura

Fonte - Autor (2016)

Figura 21 – Mistura agregado com o CAP

Fonte - Autor (2016)

Após a mistura ter ficado homogênea, a amostra foi colocada sobre um filtro para chegar a temperatura de compactação (Figura 22 e 23), sendo esta de aproximadamente 145ºC, para amostra com CAP 50/70 e de aproximadamente 155º C para amostra com CAP SBS 65/90.

Figura 22 - Mistura homogênea de CAP 50/70

Fonte - Autor (2016)

Figura 23 – Mistura homogênea de CAP SBS 65/90

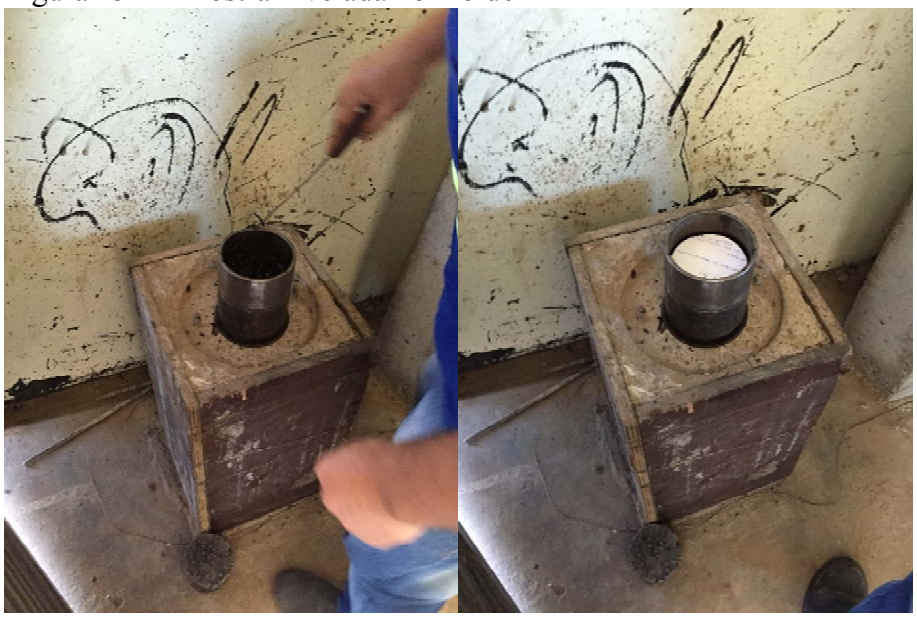
Fonte - Autor (2016)

Posteriormente a amostra foi acomodada no molde (Figura 24 e 25), de forma que o material ficasse bem agrupado, com a menor quantidade de vazios possíveis. A superfície superior foi alisada de forma que o material ficasse rente com a borda do molde, posteriormente realizada a compactação com auxílio do soquete padrão de 78,5 kg, no qual foi lançado sobre a amostra de uma altura de 45,72 cm, por 75 vezes na superfície superior e inferior do corpo de prova (Figura 26).

Figura 24 – Amostra no molde

Fonte - Autor (2016)

Figura 25 – Amostra nivelada no molde



Fonte - Autor (2016)

Figura 26 – Compactação da amostra

Fonte - Autor (2016)

Após a compactação o corpo de prova ficou em repouso por 12 horas, em temperatura ambiente (Figura 27), posteriormente o mesmo foi desformado (Figura 28) e utilizado nos procedimentos de ensaio, foram moldados 6 corpos de prova de cada traço de CBUQ (Figura 29).

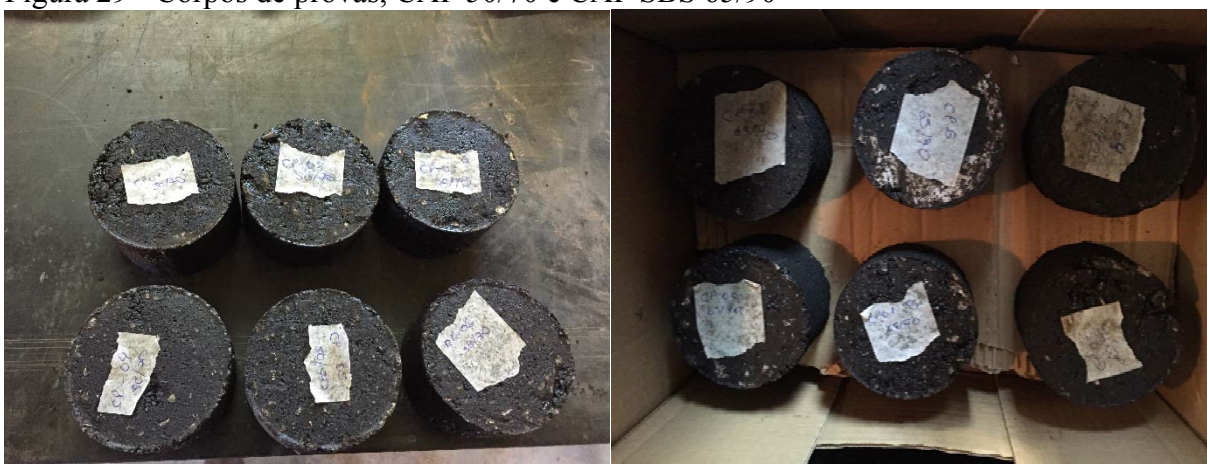
Figura 27 – Corpos de provas após compactação, CAP 50/70 e CAP SBS 65/90

Fonte - Autor (2016)

Figura 28 – Corpo de prova desformado

Fonte - Autor (2016)

Figura 29 - Corpos de provas, CAP 50/70 e CAP SBS 65/90



Fonte - Autor (2016)

3.1.9 Ensaio de caracterização das propriedades mecânicas do concreto asfáltico

Foram submetidos 6 corpos de prova para o ensaio. Tração por compressão diametral, sendo 3 compostos pelo CAP 50/70 e 3 compostos pelo CAP SBS 65/90, o ensaio foi executado conforme especifica o método de ensaio ME 136/2010 do DNIT.

Também foi realizado o ensaio para determinar o módulo de resiliência dos traços, este foi executado em um laboratório terceirizado. Para realização do ensaio, o acadêmico forneceu 3 corpos de prova do CBUQ com CAP 50/70 e 3 corpos de prova com CAP SBS 65/90, após os ensaios, os resultados foram repassados ao acadêmico (Anexo VIII).

3.1.9.1 Resistência a tração por compressão diametral

As normas do DNIT, ES-031/2006 e ES-385/99, especificam que para o concreto asfáltico poder ser utilizado na camada de rolamento, deve-se apresentar as seguintes resistências com relação à tração por compressão diametral.

Para CBUQ com CAP convencional, a resistência mínima que deve apresentar é de 6,5 kgf/cm².

Para CBUQ com CAP modificado com polímero, a resistência deve ficar entre os limites de 7,0 kgf/cm² e 12kgf/cm².

Para realização do ensaio, o DNIT especifica através da norma 136/2010-ME a metodologia a ser empregada (Anexo IX).

O ensaio consistiu, primeiramente em determinar as dimensões (diâmetro e altura) dos corpos de provas moldados pelo método *Marshall*, posteriormente rompeu-se os corpos de

prova com auxílio de uma prensa mecânica (Figura 30), anotou-se a força necessária para rompe-los, com essa força e as dimensões do corpo de prova, calculou-se a resistência à tração pela Equação 2:

$$\sigma R = \frac{2F}{\pi DH} \tag{2}$$

Onde:

σR – Resistência a tração, em kgf/cm²;

F – Carga de ruptura, em kgf;

D – Diâmetro do corpo de prova, em cm;

H – Altura do corpo de prova, em cm.

Figura 30 – Ensaio resistência a tração

Fonte - Autor (2016)

3.1.9.2 Modulo de resiliência

O método de ensaio DNIT-ME 135/2010 especifica como deve ser procedido o ensaio com os corpos de prova (Anexo X).

A norma descreve o modulo de resiliência (MR) como sendo a relação entre a tensão de tração e a deformação especifica recuperável correspondente à tensão aplicada.

Para determinar o MR por ensaios, utiliza-se prensa pneumática que aplique cargas repetidamente, um sistema de medição do deslocamento diametral horizontal do corpo de prova. O corpo de prova deve ser posicionado na prensa na posição horizontal e fixado a ele o sistema de medição de deformação, em seguida se aplica uma carga repetidamente e obtém-se através do sistema de medição a deformação elástica do corpo de prova, o MR é calculado

através da Equação 3. Este ensaio foi realizado por um laboratório terceirizado laudo segue Anexo VIII.

$$MR = \frac{F}{\Delta . H} . (0{,}9976\mu + 0{,}2692) \quad (3)$$

Onde:

MR – Módulo de resiliência, em kgf/cm²;

F – Carga vertical repetida, em Kgf;

Δ - Deformação elástica registrada, em cm;

H – Altura do corpo de prova, em cm;

μ - Coeficiente de Poisson (norma aconselha adotar 0,3).

3.1.10 *Software* de dimensionamento, SisPavBR

Felipe Franco (2007), apresentou o SisPavBR a COPPE/UFRJ como tese, para obtenção do grau em Doutor em Ciências, esse *software* realiza análise e dimensionamento da estrutura do pavimento através do método mecanístico-empírico em múltiplas camadas, para analisar e determinar a estrutura, ele leva em consideração vida de projeto, tráfego, clima, materiais empregados, faixa de trabalho, tipo de material betuminoso, além de utilizar modelos de previsão de danos desenvolvidos a partir da base de dados de resultados de ensaios brasileiros.

Para realizar o dimensionamento pelo SisPavBR, é necessário entrar com as características de todas as camadas constituintes da estrutura, sendo estas, a faixa de trabalho, os dados da granulometria, módulo de resiliência, além das características do clima da região de trabalho, o tráfego que o pavimento irá receber e o período de projeto.

3.1.10.1 Dados de entrada: temperatura média mensal

As temperaturas médias mensais da região de Cascavel-PR aplicadas a este, foram retiradas das cartas climáticas do estado do Paraná, as quais estão disponíveis na página do IAPAR, Instituto Agronômico do Paraná, através destas cartas foi montada a Tabela 7.

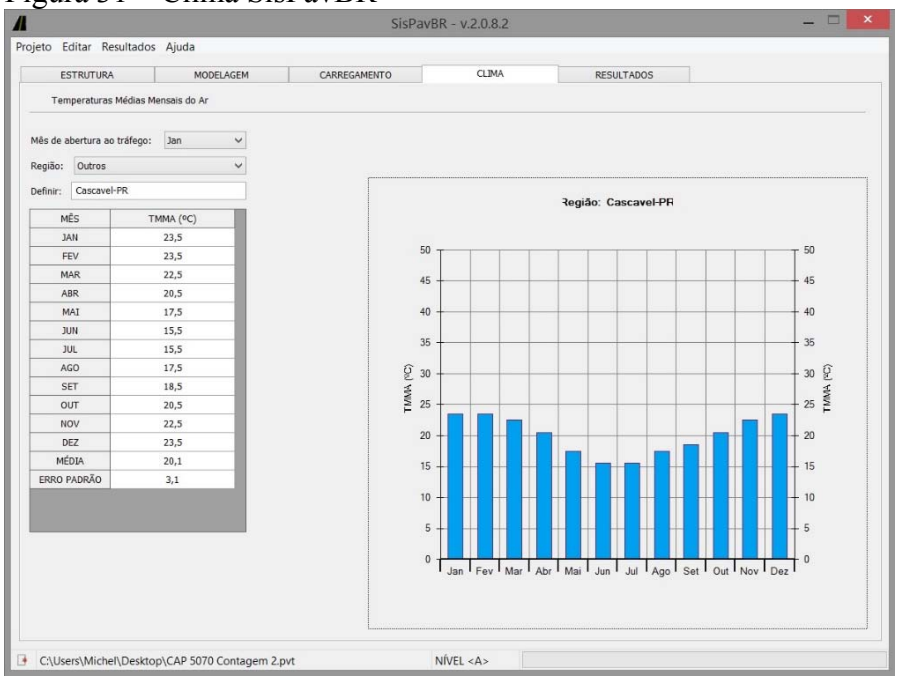
Tabela 7 – Temperatura média mensal.

Temperatura Média Mensal Região de Cascavel-PR						
Mês:	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maio	Junho
Temp:	23,50 °C	23,50 °C	22,50 °C	20,50 °C	17,50 °C	15,50 °C
Mês:	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Temp:	15,50 °C	17,50 °C	18,50 °C	20,50 °C	22,50 °C	23,50 °C

Fonte - IAPAR (2016)

As temperaturas médias foram lançadas no *software* (Figura 31), o qual calculou uma temperatura média anual e utilizou para dimensionamento.

Figura 31 – Clima SisPavBR



Fonte - SisPavBR (2016)

3.1.10.2 Dados de entrada: tráfego

Para este estudo, foram utilizados os dados da contagem de tráfego da BR-163 realizada entre os municípios de Cascavel-PR e Marmelândia-PR no ano de 2012 para elaboração do projeto de restauração dessa rodovia, as informações referentes a taxa de crescimento anual, os veículos tipos e as quantidades, foram repassados ao acadêmico pela Construtora A, os mesmos são apresentados na Tabela 8, assim como a projeção de tráfego para o primeiro ano de projeto, no caso 2017.

O cálculo da projeção consistiu em utilizar o dado da contagem de tráfego do ano 2012 e acrescer 3,16% ao ano para os ônibus e 4,48% para caminhões, semi-reboque e reboque.

Tabela 8 – Contagem e projeção de tráfego

Veículo Tipo		% ao ano Crescimento	Contagem de Tráfego - 2012	Projeção de Tráfego				
				2013	2014	2015	2016	2017 1º Ano Projeto
Ônibus	2C	3,16	113	117	120	124	128	132
	3C	3,16	81	84	86	89	92	95
Caminhão	2C	4,48	382	399	417	436	455	476
	3C	4,48	513	536	560	585	611	639
	II-6	4,48	57	60	62	65	68	71
Semi-Reboque	2S2	4,48	10	10	11	11	12	12
	2S3	4,48	161	168	176	184	192	200
	3S3	4,48	750	784	819	855	894	934
	3S2S2	4,48	832	869	908	949	991	1.036
	3S2C4	4,48	76	79	83	87	91	95
	3I3	4,48	40	42	44	46	48	50
Reboque	II-19	4,48	18	19	20	21	21	22
	3C2	4,48	21	22	23	24	25	26

Fonte - Autor (2016)

Em seguida utilizou-se o manual de estudo de tráfego do DNIT/2006, para caracterizar os veículos e determinar a carga total de cada veículo tipo através do seu conjunto de eixos (Tabela 9).

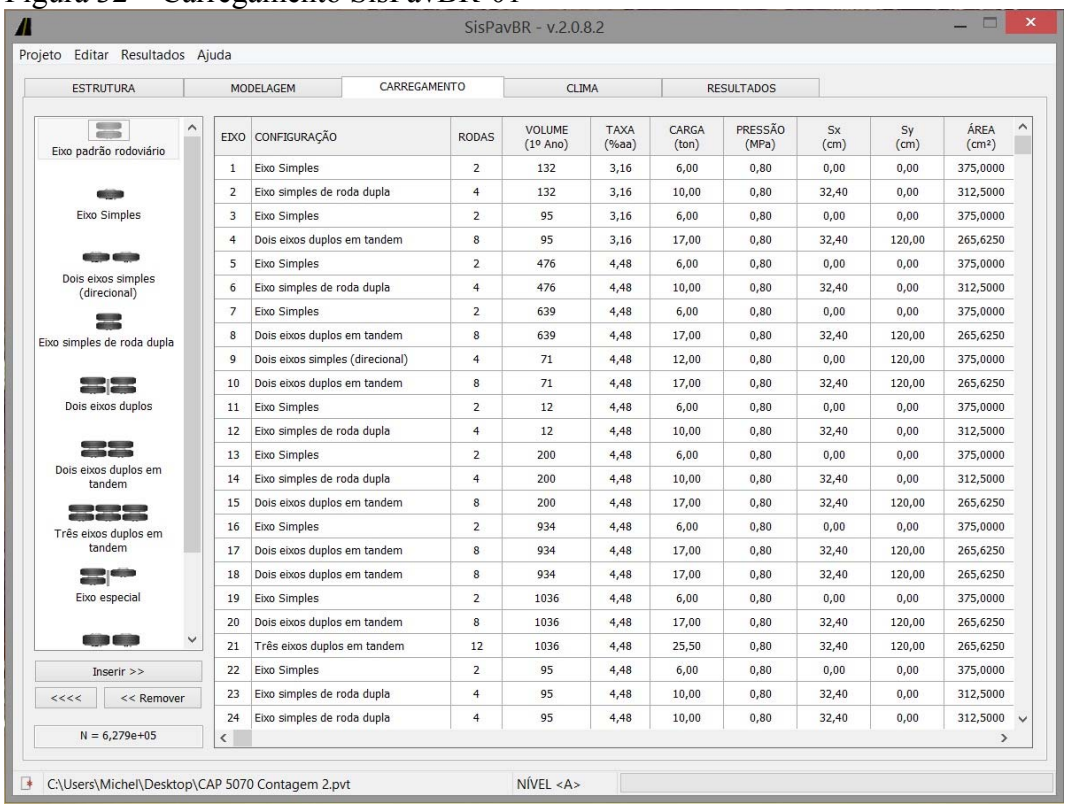
Tabela 9 – Caracterização veículos tipo e suas cargas

Veículo Tipo		Conjunto de Eixos					Carga por Eixo (ton)								
		ESRS	ESRD	ETD	ETT	Total	ESRS		ESRD		ETD		ETT		Total
Ônibus	2C	1	1			2	6,00		10,00						16,00
	3C	1		1		2	6,00				17,00				23,00
Caminhão	2C	1	1			2	6,00		10,00						16,00
	3C	1		1		2	6,00				17,00				23,00
	II-6	2				2	6,00	6,00			17,00				29,00
Semi-Reboque	2S2	1	2			3	6,00		10,00	10,00					26,00
	2S3	1	1	1		3	6,00		10,00		17,00				33,00
	3S3	1		2		3	6,00				17,00	17,00			40,00
	3S2S2	1		1	1	3	6,00				17,00		25,50		48,50
	3S2C4	1	2	1		4	6,00		10,00	10,00	17,00				43,00
	3I3	1		3		4	6,00				17,00	17,00			40,00
Reboque	II-19	1		1	2	4	6,00				17,00		25,50	25,50	74,00
	3C2	1	2	1		4	6,00		10,00	10,00	17,00				43,00
Legenda	ESRS - Eixo simples roda simples; ETD - Eixo tandem duplo;														
	ESRD - Eixo simples roda dupla; ETT - Eixo tandem triplo;														

Fonte - Autor (2016)

Com os dados da projeção de tráfego para primeiro ano de projeto, as taxas de crescimento anual, e as configurações dos veículos tipos, alimentou-se a planilha de carregamento do *software* SisPavBR (Figura 32 e 33). O lançamento das informações, consistiu em informar eixo por eixo dos veículos, o volume de tráfego e a taxa de crescimento anual para cada um. Já os dados de pressão dos pneus, os eixos sx e sy e a área de contato, fazem parte das configurações básicas do *software*.

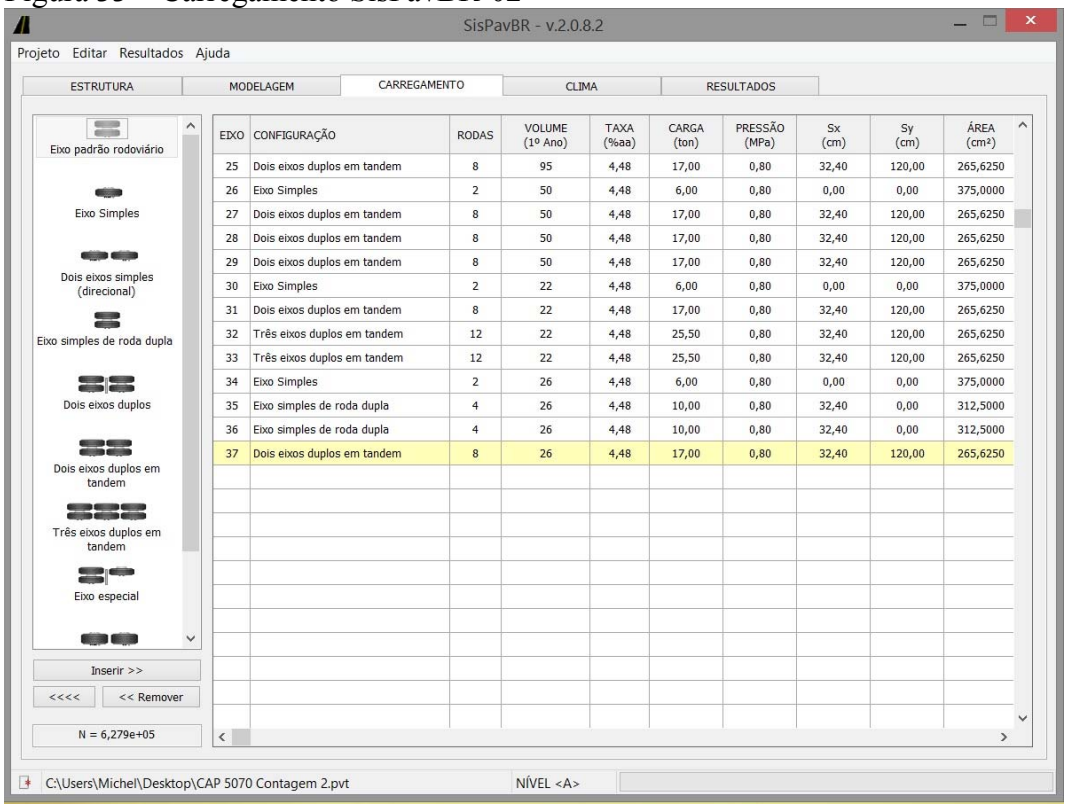
Figura 32 – Carregamento SisPavBR-01



EIXO	CONFIGURAÇÃO	RODAS	VOLUME (1º Ano)	TAXA (%aa)	CARGA (ton)	PRESSÃO (MPa)	Sx (cm)	Sy (cm)	ÁREA (cm²)
1	Eixo Simples	2	132	3,16	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
2	Eixo simples de roda dupla	4	132	3,16	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
3	Eixo Simples	2	95	3,16	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
4	Dois eixos duplos em tandem	8	95	3,16	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
5	Eixo Simples	2	476	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
6	Eixo simples de roda dupla	4	476	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
7	Eixo Simples	2	639	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
8	Dois eixos duplos em tandem	8	639	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
9	Dois eixos simples (direcional)	4	71	4,48	12,00	0,80	0,00	120,00	375,0000
10	Dois eixos duplos em tandem	8	71	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
11	Eixo Simples	2	12	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
12	Eixo simples de roda dupla	4	12	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
13	Eixo Simples	2	200	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
14	Eixo simples de roda dupla	4	200	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
15	Dois eixos duplos em tandem	8	200	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
16	Eixo Simples	2	934	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
17	Dois eixos duplos em tandem	8	934	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
18	Dois eixos duplos em tandem	8	934	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
19	Eixo Simples	2	1036	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
20	Dois eixos duplos em tandem	8	1036	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
21	Três eixos duplos em tandem	12	1036	4,48	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250
22	Eixo Simples	2	95	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
23	Eixo simples de roda dupla	4	95	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
24	Eixo simples de roda dupla	4	95	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000

Fonte - SisPavBR (2016)

Figura 33 – Carregamento SisPavBR-02



EIXO	CONFIGURAÇÃO	RODAS	VOLUME (1º Ano)	TAXA (%aa)	CARGA (ton)	PRESSÃO (MPa)	Sx (cm)	Sy (cm)	ÁREA (cm²)
25	Dois eixos duplos em tandem	8	95	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
26	Eixo Simples	2	50	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
27	Dois eixos duplos em tandem	8	50	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
28	Dois eixos duplos em tandem	8	50	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
29	Dois eixos duplos em tandem	8	50	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
30	Eixo Simples	2	22	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
31	Dois eixos duplos em tandem	8	22	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250
32	Três eixos duplos em tandem	12	22	4,48	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250
33	Três eixos duplos em tandem	12	22	4,48	25,50	0,80	32,40	120,00	265,6250
34	Eixo Simples	2	26	4,48	6,00	0,80	0,00	0,00	375,0000
35	Eixo simples de roda dupla	4	26	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
36	Eixo simples de roda dupla	4	26	4,48	10,00	0,80	32,40	0,00	312,5000
37	Dois eixos duplos em tandem	8	26	4,48	17,00	0,80	32,40	120,00	265,6250

Fonte - SisPav (2016)

3.1.10.3 Dados de entrada: estrutura do pavimento

A estrutura tipo do pavimento utilizado para este estudo, foi fornecido pela Construtora A, através da Figura 34, a mesma apresenta as matérias que compõem as camadas, o módulo de resiliência e o coeficiente de Poisson (para CBUQ Poisson utilizado 0,30 conforme aconselha a DNIT-ME 135/2010).

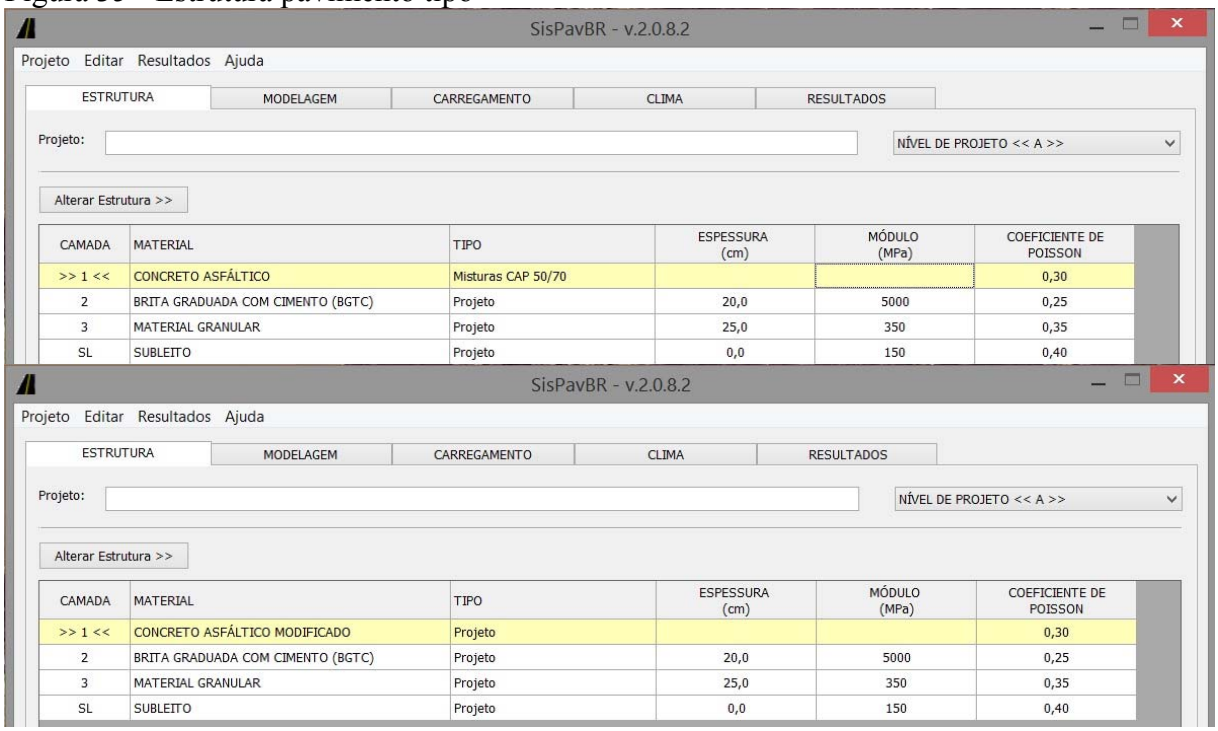
Figura 34 - Estrutura tipo pavimento

Estrutura Pavimento Análisado				
Camada de Material		Espessura	Módulo Reseliência (Mr)	Coefissiente Poisson
	CBUQ	Dimensioanr	-	0,30
	Brita Graduada Com Cimento	15 cm	5000 MPa	0,25
	Macadame Hidráulico	20 cm	350 MPa	0,35
	Subleito	Não considera	90 MPa	0,40

Fonte – Construtora A (2016)

As camadas e suas respectivas características foram lançadas no SisPavBR, para a posterior realização dos dimensionamentos (Figura 35).

Figura 35 - Estrutura pavimento tipo



Fonte - SisPavBR (2016)

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS E DISCUÇÕES

4.1.1 Caracterização mecânica dos cimentos asfálticos de petróleo

Verificou-se através dos certificados de ensaio que foram fornecidos pela Construtora A, que os materiais betuminosos utilizados neste estudo, atendiam as especificações da resolução nº 19, de 11 de junho de 2005 da ANP. Os valores obtidos e os limites da especificação seguem demonstrados na Tabela 10, para CAP 50/70 e para CAP SBS 65/90.

Tabela 10 – Características CAP 50/70 e CAP SBS 65/90

Características ANP 19-2005	**Unidade**	**CAP 50/70**		**CAP SBS 65/90**	
		Limites	**Resultados**	**Limites**	**Resultados**
Penetração 100g, 25°C, 5s	0,1 mm	50-70	58	40-70	43
Ponto de amolecimento	°C	mín.46	47,5	mín. 65	83
Recuperação elástica, 20cm, 25°C	-	-	nsa	mín. 90	93
Densidade relativa a 20/4°C	-	-	1,004	-	1,005
nsa: não se aplica					

Fonte - Autor (2016)

4.1.2 Caracterização mecânica dos agregados

Os resultados dos ensaios de caracterização dos agregados, foram fornecidos pela construtora A. Utilizou-se esses, para verificar se os materiais selecionados atendiam as especificações das normas DNER ES- 385/99 e DNIT ES-031/2006, os resultados e os limites das especificações são apresentados na Tabela11.

Conforme demonstrado na tabela, pode-se verificar que todos os agregados atenderam as especificações do DNIT.

Tabela 11 – Características agregados.

Características	Aplica-se Agregado	Norma de Referência	Und.	Limites da ES		Resultado
				385/99	031/06	
Abrasão *Los Angeles*	Graúdo	DNER-ME 035/98	%	< 55	< 50	18,4
Índice de forma	Graúdo	DNER-ME 086/94	%	> 0,5	> 0,5	0,78
Durabilidade (perda)	Graúdo	DNER-ME 089/94	%	< 12	< 12	4
Equivalência de areia	Miúdo	DNER-ME 054/97	%	≥ 55	≥ 55	61
Passando peneira nº 200	Fíler	DNIT 031/06-ME	%	≥ 65	≥ 65	84,91

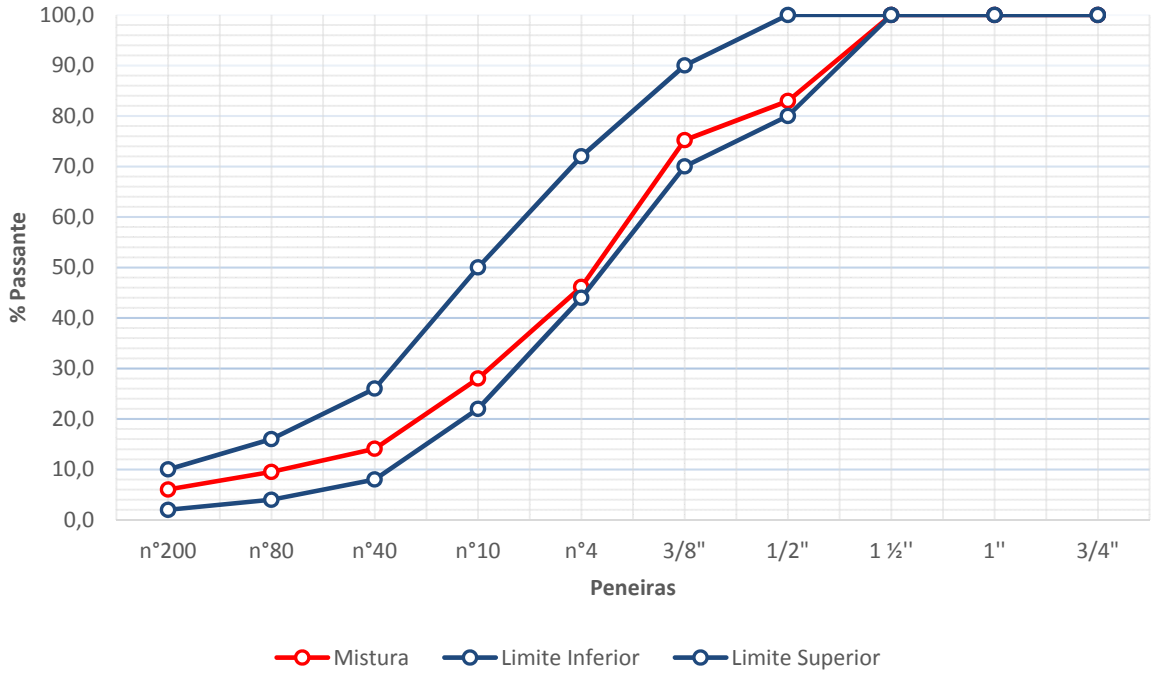
Fonte - Autor (2016)

4.1.3 Composição granulométrica das misturas

Utilizando a composição das misturas de CBUQ fornecidas pela construtora A, e os limites especificados pelas normas DNER ES- 385/99 e DNIT ES-031/2006, verificou-se se as composições das misturas atendiam as normas.

A especificação DNIT ES-031/2006, foi utilizada para verificar se a mistura que emprega CAP 50/70 atendia os limites da faixa "C" desta norma através do Gráfico 01, observa-se que a curva granulométrica está dentro dos limites da norma, sendo assim atende a especificação.

Gráfico 1 – Curva granulométrica faixa "C" CAP 50/70.



Fonte - Autor (2016)

Além da curva granulométrica a especificação DNIT ES-031/2006, apresenta propriedades que a mistura deve apresentar, as características, os limites e os resultados do ensaio são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Características faixa “C” CAP 50/70

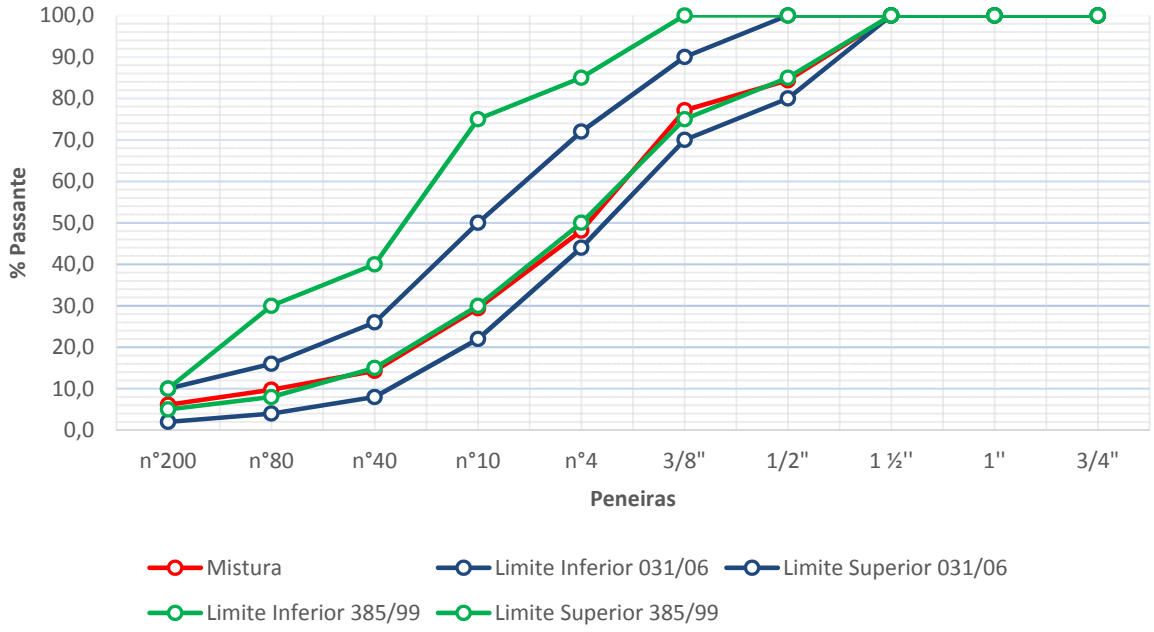
Características	Norma de Referência	Unidade	Limites	Resultados
Percentual de vazio	DNER-ME 043	%	3 a 5	3,8
Relação betume-vazios	DNER-ME 043	%	75 a 82	77,9
Estabilidade, mínima	DNER-ME 043	Kgf	500	1.255
Fluência	DNER-ME 043	mm	nsa	-
nsa: não se aplica				

Fonte - Autor (2016)

Pode-se verificar na tabela acima, que todos os resultados estão dentro do limite estabelecido pela norma, sendo assim atende.

A DNER 385/99-ES, especifica as faixas granulométricas e as propriedades do CBUQ que emprega CAP modificado com polímero, como este estudo foi realizado utilizando composição da mistura de CBUQ fornecido pela construtora A, e a mesma ter informado que a composição foi moldada sobre a ES 031/2006. Utilizou-se os dados da mistura para verificar se a mistura se enquadra na especificação de CBUQ com CAP modificado com polímero (Gráfico 2 e Tabela 13).

Gráfico 2 – Curva granulométrica faixa “C” CAP SBS 65/90



Fonte - Autor (2016)

Tabela 13 - Características faixa “C” CAP SBS 65/90

Características	Norma de Referência	Unidade	Limites		Resultados
			385/99	031/06	
Percentual de vazio	DNER-ME 043	%	3 a 5	3 a 5	4
Relação betume-vazios	DNER-ME 043	%	75 a 82	75 a 82	75,17
Estabilidade, mínima	DNER-ME 043	Kgf	500	500	1.290
Fluência	DNER-ME 043	mm	2,0 a 4,5	nsa	3
nsa: não se aplica					

Fonte - Autor (2016)

Pode-se verificar no Gráfico 2, que a mistura tangencia o limite inferior da 385/99-ES, apresentando alguns pontos dentro dos limites e outros foras, desta forma é notável que a mistura não atende os limites granulométricos da faixa “C”. Já comparando a mistura com os limites da ES-031/2006, verifica-se que a mesma atende os limites da faixa “C”.

Com relação as propriedades da mistura, pode-se verificar na Tabela 13, que a mistura atende todas as especificações da 385/99-ES e da ES-031/2006.

4.1.4 Corpos de Provas

Utilizando as composições das misturas fornecidas pela construtora A, moldou-se os corpos de provas listados na Tabela 14, quais foram utilizados nos ensaios de resistência a tração (RT) e módulo de resiliência (MR).

Tabela 14 – Corpos de prova moldados

Corpo de Prova	CAP	Peso (g)	Empregado no ensaio
CP - 01C	50/70	1.302,08	Módulo de Resiliência
CP - 02C	50/70	1.303,50	Módulo de Resiliência
CP - 03C	50/70	1.307,50	Módulo de Resiliência
CP - 04C	50/70	1.303,40	Resistência a Tração
CP - 05C	50/70	1.305,00	Resistência a Tração
CP - 06C	50/70	1.296,30	Resistência a Tração
CP - 01M	SBS 65/90	1.298,80	Módulo de Resiliência
CP - 02M	SBS 65/90	1.286,20	Módulo de Resiliência
CP - 03M	SBS 65/91	1.300,00	Módulo de Resiliência
CP - 04M	SBS 65/92	1.296,30	Resistência a Tração
CP - 05M	SBS 65/93	1.292,70	Resistência a Tração
CP - 06M	SBS 65/94	1.294,60	Resistência a Tração

Fonte - Autor (2016)

4.1.5 Resistência a tração

A resistência a tração (RT) das misturas, foram obtidas através do ensaio de resistência a tração por compressão diametral, os corpos de provas utilizados no ensaio, suas dimensões e cargas aplicadas para rompê-los, são apresentados na Tabela 15.

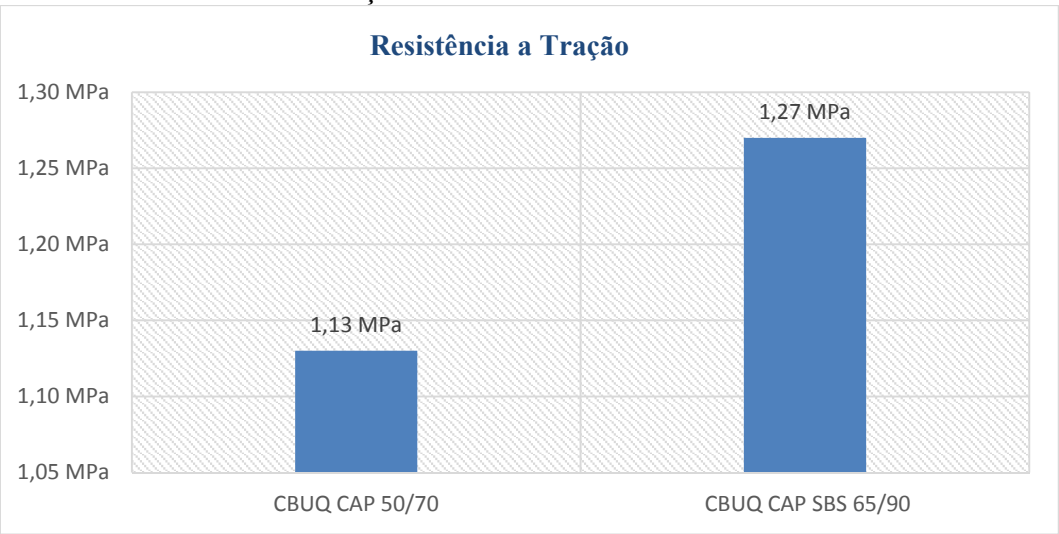
Tabela 15 – Tabela Resistência a tração.

CP Nº	CAP	Carga Ruptura (Kgf)	Corpo de Prova (cm)		Resistência a tração (RT)		
			Diâmetro	Altura	Kgf	MPa	Média (Mpa)
CP-04C	50/70	1.090	10,16	6,09	11,21	1,12	1,13
CP-05C	50/70	1.117	10,16	6,12	11,44	1,14	
CP-06C	50/70	1.114	10,16	6,15	11,35	1,14	
CP-04M	SBS 65/90	1.255	10,16	6,18	12,72	1,27	1,27
CP-05M	SBS 65/90	1.247	10,16	6,10	12,81	1,28	
CP-06M	SBS 65/90	1.242	10,16	6,16	12,63	1,26	

Fonte - Autor (2016)

Verifica-se na tabela acima e no Gráfico 3, que a RT média da mistura com CAP 50/70 é de 1,13 MPa e a RT média da mistura com CAP SBS 65/90 foi de 1,27MPa. Verificando a proporção entre as duas, observa-se que a mistura com CAP modificado apresenta uma RT de 12,39% superior a mistura que emprega CAP convencional.

Gráfico 3 – Resistência a tração



Fonte - Autor (2016)

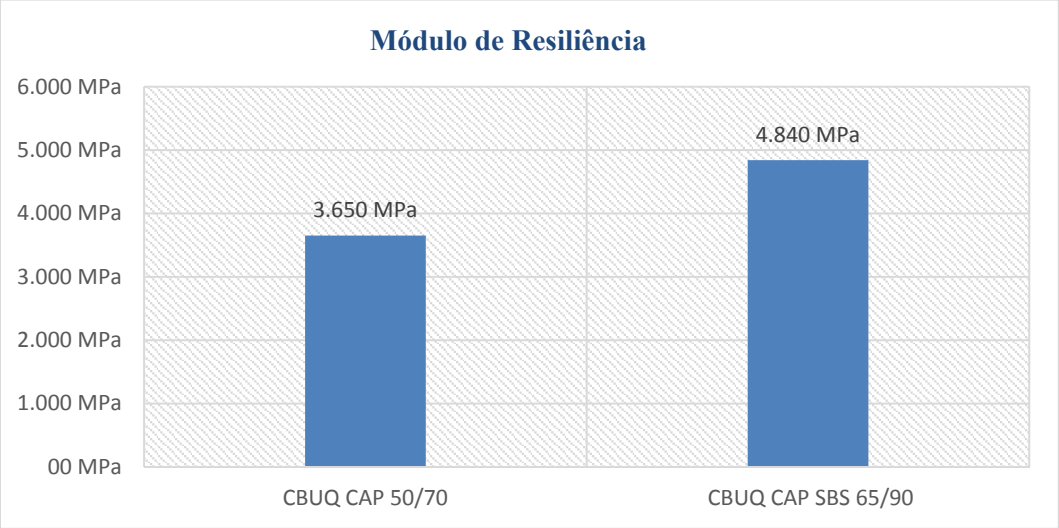
Comparando os resultados obtidos com as normas ES-03/2006 e 385/99-ES, pode-se observar que ambas atendem a mínima exigida 0,65MPa, porém para CBUQ modificado a

resistência obtida, extrapola a máxima da 385/99-ES que é de 1,2MPa, porém segundo especialistas essa norma está desatualizada e esse critério de máxima RT não deve ser seguido. Segundo Pinto (2015), a diferença da resistência a tração entre o CBUQ com CAP SBS 65/90, para o CBUQ com CAP 50/70, se dá pelo fato do polímero empregar ao CAP maior elasticidade, com isso, melhorando a sua recuperação elástica.

4.1.6 Módulo de Resiliência

Os módulos de resiliência para temperatura de 25ºC das duas misturas são apresentados no Gráfico 4, neste pode-se observar que a mistura que emprega CAP 50/70 apresenta um MR de 3.650MPa, e a mistura que emprega CAP SBS 65/90, apresenta um MR de 4.840MPa. Verificando a proporção entre as duas, observa-se que a mistura com CAP modificado apresenta um MR de 32,60% superior a mistura que emprega CAP convencional.

Gráfico 4 – Módulo de Resiliência



Fonte - Autor (2016)

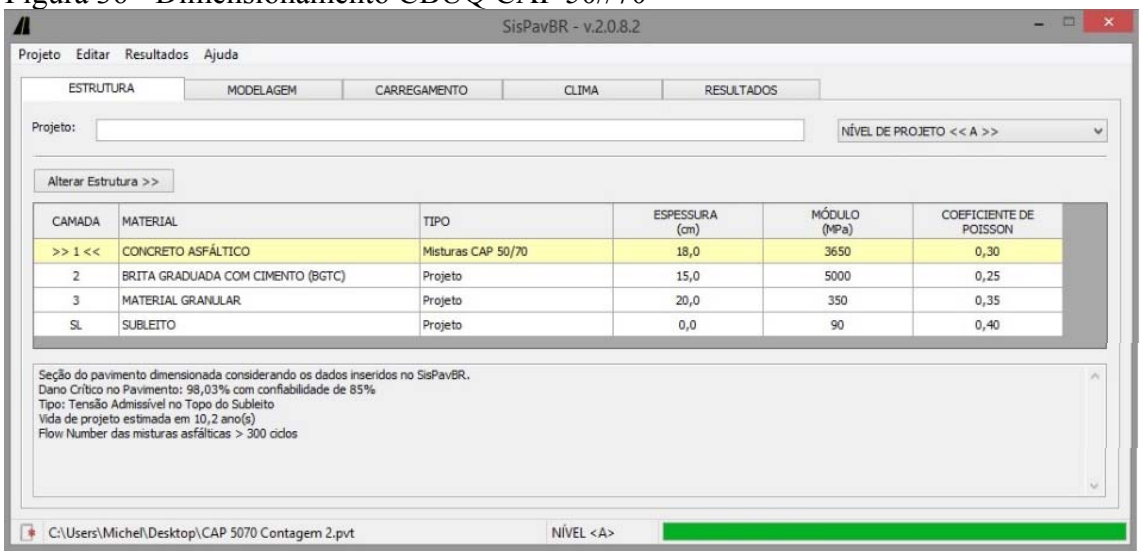
De acordo com Pinto (2015), o modulo de resiliência do CBUQ com CAP SBS 65/90 é superior ao CBUQ com CAP 50/70, pelo fato do polímero aumentar o ponto de amolecimento e a viscosidade do CAP, e por melhorar a capacidade de envolver e unir os agregados que constituem a mistura.

Os resultados obtidos para os módulos resiliência, estão de acordo com o que as bibliografias consultadas neste estudo apresentam.

4.1.7 Dimensionamento

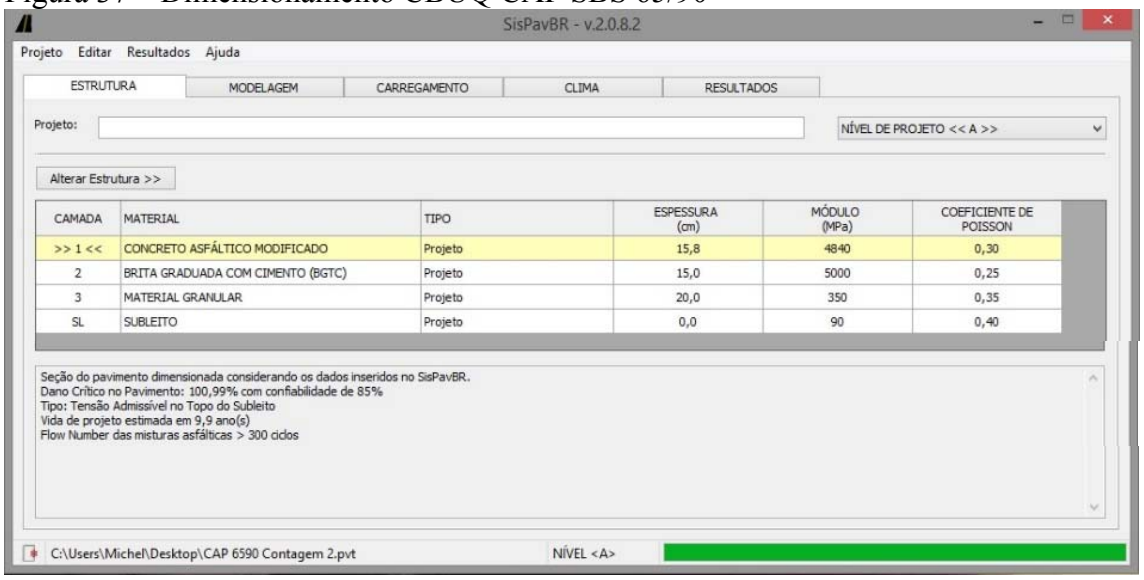
O dimensionamento foi realizado, utilizando a estrutura de pavimento padrão para as duas composições de CBUQ, assim como os dados de carregamento e clima, o único dado diferente informado foi o módulo de resiliência das misturas. Para o dimensionamento da camada de rolamento que emprega CBUQ com CAP convencional o MR informado foi de 3.650MPa (Figura 36), e para camada de rolamento que emprega o CBUQ com CAP modificado com polímero o MR informado foi de 4.840MPa (Figura 37).

Figura 36 - Dimensionamento CBUQ CAP 50//70



Fonte - SisPavBR (2016)

Figura 37 – Dimensionamento CBUQ CAP SBS 65/90



Fonte - SisPavBR (2016)

A Tabela 16 apresenta as espessuras obtida nos dimensionamentos. Observa-se que na camada de rolamento que emprega CAP convencional necessita de uma camada de 18 cm de CBUQ para suportar o carregamento, já a camada de rolamento que emprega CAP modificado, necessita de uma camada de 15,80 cm de CBUQ. Analisando a diferença entre as duas, nota-se uma redução de 2,20 cm entre a camada de rolamento que emprega o CAP SBS 65/90 e a que emprega o CAP 50/70, obtendo assim uma redução de 12,22%.

Tabela 16 – Comparação das espessuras

CBUQ	**Convencional**	**Modificado**
CAP	50/70	SBS 65/90
Espessura	18,00 cm	15,80 cm
Redução	**2,20 cm**	
	12,22%	

Fonte - Autor (2016)

No ano 1998, o DNIT juntamente com o IPR (Instituído de pesquisa rodoviárias), publicou à Instrução de serviço DG/DNER nº 007 de 15/04/1998, a qual indicava aos projetistas, que quando utilizado CBUQ com CAP modificado com polímero na camada de rolamento, poderia reduzir em 30% a espessura da camada dimensionada, sendo esse dimensionado pelo método empírico.

Nesta análise verificou-se que a redução obtida através do dimensionamento mecanístico-empírico que considera a resiliência do material, não estava de acordo com o que a IS indica, pois, a redução obtida foi de 17,78% inferior a especificada, isso pode ter ocorrido devido ao fato do *software* analisar toda a estrutura e não apenas as propriedades do CBUQ, sendo assim, pode ser que, essa redução sofra alteração quando dimensionado com outra estrutura.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foram analisadas as características físicas e as propriedades mecânicas de duas misturas de CBUQ enquadradas na faixa "C" do DNIT, com a finalidade de utilizá-las no dimensionamento da camada de rolamento de pavimento flexível. As composições das amostras foram moldadas pelo método *Marshall*, assim como os corpos de provas utilizados nos procedimentos de ensaios.

Analisando as características físicas das misturas com as normas do DNIT vigente, verificou-se que a composição que emprega CAP 50/70, denominado convencional, atende todas as especificações da norma ES-031/2006, e a composição que emprega CAP SBS 65/90, denominada modificada, não atende os limites da faixa granulométrica em todas as peneiras, porém, atende as características físicas especificados na 385/99-ES.

Verificando os valores de resistência a tração das duas misturas, pode-se observar que a mistura modificada apresentou um RT superior a mistura convencional, sendo esta de proporção 12,22%, analisando que ambas misturas apresentam composição granulométrica similares, e que o único material diferente é o CAP, tanto no teor (0,36% a mais) , quanto no tipo (modificado), pode-se concluir que o aumento da resistência a tração tem relação com o polímero, segundo as bibliográficas consultadas, isso se dá devido ao fato do mesmo melhorar a recuperação elástica do ligante.

Com relação ao módulo de resiliência, pode-se observar que a mistura modificada apresenta um MR superior a mistura convencional, sendo essa de proporção igual a 32,60%, esse acréscimo já era esperado, pois, as bibliografias retratam essa divergência de valores. Segundo as mesmas, a diferença do MR tem relação com alguns fatores, sendo estes, características do ligante modificado (menor penetração e maior viscosidade) e a características da mistura (maior retorno elástico, elevada capacidade de eliminar ação das cargas após o casamento do carregamento, resistência ao trincamento por tração frente as solicitações do tráfego).

Analisando os resultados obtidos nos dimensionamentos das camadas de rolamento, é possível observar a diferença de espessura dessa camada comparando as duas estruturas, a camada dimensionada utilizando o CAP convencional apresenta uma espessura maior do que a camada que emprega CAP modificado. Isso se dá devido ao CBUQ com polímero apresentar

maior flexibilidade, maior resistência a esforços, maior capacidade elástica, melhor distribuição dos esforços recebidos e a capacidade de se deformar com emprego da carga e voltar ao estado normal quando cessado o carregamento.

O percentual de redução de espessura encontrado nessa análise foi de 12,22%, comparando com os percentuais obtidos nos resultados dos ensaios de resistência tração (12,39%) e resiliência (32,60%), pode-se observar que a proporção encontrada no ensaio de RT está próxima da redução de espessura, já no MR apresentou uma proporção maior, nesta pesquisa não pode-se determinar qual é a real proporção de um para outro, ou se essas proporções alteram o resultado final, uma vez que, o dimensionamento pelo *software* analisa toda estrutura no cálculo e não só as propriedades mecânicas do CBUQ.

Analisando os resultados obtidos, sem considerar custos, a substituição do CAP 50/70 pelo CAP SBS 65/90 é técnicamente vantajoso, uma vez que esse aumenta a resistência a tração do CBUQ, aumenta sua flexibilidade, melhora capacidade de reter esforços e distribuir além de retardar seu envelhecimento.

Conclui-se, por fim que, substituir o CAP convencional pelo CAP modificado com polímero na composição do CBUQ da camada de rolamento, melhora as propriedades mecânicas e quando dimensionando pelo método mecanístico-empírico é possível reduzir a espessura.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considerando os resultados obtidos por meio desse estudo, recomenda-se que sejam elaborados estudos de:

- Realizar o mesmo estudo, porém dosar o traço do CBUQ com polímero utilizando a especificação de serviço ES 385/99 – Concreto asfáltico com asfalto polímero;
- Comparar os resultados obtidos através dos dimensionamentos deste, com o que a Instrução de Serviço DG/DNER Nº 007 de 15/04/1998 especifica, simulando alterações na camada de subleito;
- Realizar a comparação de custo entre ambas os traços, considerando produção e execução, para verificar se a redução de espessura apresenta vantagens de cunho econômico;
- Realizar o mesmo estudo, utilizando CAP's diferentes, tanto para convencional quanto para modificado com polímero;

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projetos e restauração,** Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

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

FRANCO, F. A. C. P**. Método de dimensionamento mecanístico-empírico de pavimentos asfálticos – SisPav**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2007.

CERATTI, Jorge Augusto Pereira; DE REIS, Rafael Marçal Martins. **Manual de Dosagem de Concreto Asfáltico,** Instituto Pavimentar, Oficina de Textos, São Paulo, 2011.

PINTO, Salomão; PINTO, Isaac Eduardo. **Pavimentação Asfaltica – Conceitos Fundamentais sobre Materiais e Revestimentos Asfálticos,** LTC – Livros Técnicos Científicos Editora Ltda., Rio de Janeiro, 2015.

CNT, Confederação Nacional dos Transportes. **Relatório Gerencial**, Pesquisa CNT de Rodovias 2015**,** Brasília, 2015.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação Volume 1.** 1, ed Pini, São Paulo,1997.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER 667/22 – Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis,** MT-DNER- IPR, Rio de Janeiro, 1981.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 086/94,** Agregados – Determinação do Índice de Forma – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1994.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 089/94,** Agregados – Avaliação de Durabilidade Pelo Emprego de Solução de Sulfato de Sódio ou de Magnésio – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1994.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 043/95,** Misturas Betuminosas a quente, Ensaio *Marshall* – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1995.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 054/97,** Equivalente de Areia – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1997.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-PRO 120/97,** Coleta de Amostras de Agregados – Procedimento, Rio de Janeiro, 1997.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 035/98,** Agregados – Determinação da Abrasão *Los Angeles* – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1998.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 083/98,** Agregados – Análise Granulométrica – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 1998.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **IS DG/DNER Nº 007 de 15/04/1998,** Pavimentação - Concreto asfáltico com Asfalto Polímero – Instrução de Serviço, Rio de Janeiro, 1998.

Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ES 385/99,** Pavimentação - Concreto asfáltico com Asfalto Polímero - Especificação de Serviço, Rio de Janeiro, 1999.

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

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **DNIT 136/2010 - ME,** Pavimentação Asfáltica - Misturas Asfálticas - Determinação da Resistência à Tração por Compressão Diametral – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 2010.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **DNIT 135/2010 - ME,** Pavimentação Asfáltica - Misturas Asfálticas - Determinação do Módulo de Resiliência – Método de Ensaio, Rio de Janeiro, 2010.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **IPR - 719,** Manual de Pavimentação, Rio de Janeiro, 2006.

Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes. **IPR - 723,** Manual de Estudo de Tráfego, Rio de Janeiro, 2006.

ANEXOS

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS

Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3371-5888

NORMA DNIT 031/2006 - ES

Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço

Autor: Diretoria de Planejamento e Pesquisa

Processo: 50.600.004.691/2003-81

Origem: Revisão da norma DNIT 031/2004 - ES

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 26/06/2006.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:
Concreto asfáltico, pavimento flexível, especificação

Nº total de páginas
14

Resumo

Este documento define a sistemática a ser empregada na execução de camada do pavimento flexível de estradas de rodagem, pela confecção de mistura asfáltica a quente em usina apropriada utilizando ligante asfáltico, agregados e material de enchimento (filer). Estabelece os requisitos concernentes aos materiais, equipamentos, execução e controle de qualidade dos materiais empregados, além das condições de conformidade e não-conformidade e de medição dos serviços.

Abstract

This document provides the method of executing the layer of a road flexible pavement, making use of bituminous hot mix from an appropriate plant including binder, mineral aggregates, and filer. It also defines the requirements concerning material, equipment, execution and quality control of the materials in use, as well as the criteria for acceptance and rejection and measurement of the services.

Sumário

Prefácio 1

1 Objetivo 2

2 Referências normativas 2

3 Definição 3

4 Condições gerais 3

5 Condições específicas 4

6 Manejo ambiental 8

7 Inspeção 9

8 Critérios de medição 13

Índice Geral 14

Prefácio

A presente Norma foi preparada pela Diretoria de Planejamento e Pesquisa, para servir como documento base na sistemática a ser empregada na execução de camada de pavimento flexível de estradas de rodagem pela utilização de mistura asfáltica a quente em usina apropriada, empregando, além, do ligante asfáltico, agregados e material de enchimento (filer). Está baseada na norma DNIT 001/2002-PRO e cancela e substitui a norma DNIT 031/2004 - ES.

1 Objetivo

Estabelecer a sistemática a ser empregada na produção de misturas asfálticas para a construção de camadas do pavimento de estradas de rodagem, de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto.

2 Referências normativas

Os documentos relacionados neste item serviram de base à elaboração desta Norma e contêm disposições que, ao serem citadas no texto, se tornam parte integrante desta Norma. As edições apresentadas são as que estavam em vigor na data desta publicação, recomendando-se que sempre sejam consideradas as edições mais recentes, se houver.

a) AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTEATION OFFICIALS. T 283-89: resistance of compacted bituminous mixture to moisture induced damage. In: _____. *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing*. Washington, D.C., 1986. v.2

b) AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D 1754: effect of heat and air on asphaltic materials (Thin-Film Oven Test): test. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.

c) _____.ASTM D 2872: effect of heat and air on a moving film of asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test): test. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.

d) _____ . ASTM E 303: pavement surface frictional properties using the British Portable Tester – Surface Frictional Properties Using the Britsh Pendulum Tester: test for measuring. In: _____. *1978 annual book of ASTM standards*. Philadelphia, Pa., 1978.

e) _____. *NBR 6560*: materiais asfálticos – determinação de ponto de amolecimento – método do anel e bola. Rio de Janeiro, 2000.

f) ASSOCIATION FRANÇAISE DE NORMALISATION. *AFNOR NF P-98-216-7*: determination de la macrotexture - partie 7: determination de hauteur au sable. Paris, 1999.

g) DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER-ISA 07: impactos da fase de obras rodoviárias – causas/ mitigação/ eliminação. In: _____. *Corpo normativo ambiental para empreendimentos rodoviários*. Rio de Janeiro, 1996.

h) BRASIL. Agência Nacional de Petróleo. Gás Natural e Biocombustíveis - ANP. Regulamento Técnico nº 03/2005. Resolução ANP nº 19, de 11 de julho de 2005. Brasília, DF, Anexo I, julho de 2005. Disponível em: <htpp://www.200.179.25.133/NXT/gateway.dll/leg/resoluções_anp/2005julho/ramp%2019%....> Acesso em 11 de julho de 2005.

i) _____. *DNER-EM 367/97*: material de enchimento para misturas asfálticas: especificação de material. Rio de Janeiro: IPR, 1997.

j) _____. *DNER-ME 003/99*: material asfáltico – determinação da penetração: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1999.

k) _____. *DNER-ME 004/94*: material asfáltico – determinação da viscosidade “Saybolt-Furol” a alta temperatura: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

l) _____. *DNER-ME 035/98*: agregados – determinação da abrasão “Los Angeles” : método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

m) _____. *DNER-ME 043/95*: misturas asfálticas a quente – ensaio Marshall: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1995.

n) _____. *DNER-ME 053/94*: misturas asfálticas – percentagem de betume: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

o) _____. *DNER-ME 054/97*: equivalente de areia: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1997.

p) _____. *DNER-ME 078/94*: agregado graúdo – adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

q) _____. *DNER-ME 079/94*: agregado - adesividade a ligante asfáltico: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

r) _____. *DNER-ME 083/98*: agregados – análise granulométrica: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1998.

s) _____. *DNER-ME 086/94*: agregados – determinação do índice de forma: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

t) _____. *DNER-ME 089/94*: agregados – avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

u) _____. *DNER-ME 138/94*: misturas asfálticas – determinação da resistência à tração por compressão diametral: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

v) _____. *DNER-ME 148/94*: material asfáltico – determinação dos pontos de fulgor e combustão (vaso aberto Cleveland): método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

w) _____. *DNER-ME 401/99*: agregados – determinação de índice de degradação de rochas após compactação Marshall com ligante ID_{ml} e sem ligante ID_m: método de ensaio. Rio de Janeiro: IPR, 1999.

x) _____. *DNER-PRO 164/94* – Calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície do pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter);

y) _____. *DNER-PRO 182/94*: medição de irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 1994.

z) _____. *DNER-PRO 277/97*: metodologia para controle estatístico de obras e serviços: procedimento: Rio de Janeiro: IPR, 1997.

aa) DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. *DNIT 011/2004-PRO*: gestão da qualidade em obras rodoviárias: procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2004.

3 Definição

Concreto Asfáltico - Mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (filer) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente.

4 Condições gerais

O concreto asfáltico pode ser empregado como revestimento, camada de ligação (binder), base, regularização ou reforço do pavimento.

Não é permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, em dias de chuva.

O concreto asfáltico somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10ºC.

Todo o carregamento de cimento asfáltico que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor

certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar de 10 dias. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

5 Condições específicas

5.1 Materiais

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento filer e ligante asfáltico, os quais devem satisfazer às Normas pertinentes, e às Especificações aprovadas pelo DNIT.

5.1.1 Cimento asfáltico

Podem ser empregados os seguintes tipos de cimento asfáltico de petróleo:

- CAP-30/45
- CAP-50/70
- CAP-85/100

5.1.2 Agregados

5.1.2.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo pode ser pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado ou outro material indicado nas Especificações Complementares

a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 50% (DNER-ME 035); admitindo-se excepcionalmente agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado comprovadamente desempenho satisfatório em utilização anterior;

NOTA: Caso o agregado graúdo a ser usado apresente um índice de desgaste Los Angeles superior a 50%, poderá ser usado o Método DNER-ME 401 – Agregados – determinação de degradação de rochas após compactação Marshall, com ligante ID_{ml}, e sem ligante ID_m, cujos valores tentativas de degradação para julgamento da qualidade de rochas destinadas ao uso do Concreto Asfáltico Usinado a Quente são: $ID_{ml} \leq 5\%$ e $ID_m \leq 8\%$.

b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);

c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089).

5.1.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos ou outro material indicado nas Especificações Complementares. Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55% (DNER-ME 054).

5.1.2.3 Material de enchimento (filer)

Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos, e deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, tais como cimento Portland, cal extinta, pós-calcários, cinza volante, etc; de acordo com a Norma DNER-EM 367.

5.1.2.4 Melhorador de adesividade

Não havendo boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos ou miúdos (DNER-ME 078 e DNER-ME 079), pode ser empregado melhorador de adesividade na quantidade fixada no projeto.

A determinação da adesividade do ligante com o melhorador de adesividade é definida pelos seguintes ensaios:

a) Métodos DNER-ME 078 e DNER 079, após submeter o ligante asfáltico contendo o dope ao ensaio RTFOT (ASTM – D 2872) ou ao ensaio ECA (ASTM D-1754);

b) Método de ensaio para determinar a resistência de misturas asfálticas compactadas à degradação produzida pela umidade (AASHTO 283). Neste caso a razão da resistência à tração por compressão diametral estática antes e após a imersão deve ser superior a 0,7 (DNER-ME 138).

5.2 Composição da mistura

A composição do concreto asfáltico deve satisfazer aos requisitos do quadro seguinte com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria (DNER-ME 083) e aos percentuais do ligante asfáltico determinados pelo projeto da mistura.

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%
N° 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
N° 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
N° 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
N° 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
N° 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%

A faixa usada deve ser aquela, cujo diâmetro máximo é inferior a 2/3 da espessura da camada.

No projeto da curva granulométrica, para camada de revestimento, deve ser considerada a segurança do usuário, especificada no item 7.3 – Condições de Segurança.

As porcentagens de ligante se referem à mistura de agregados, considerada como 100%. Para todos os tipos a fração retida entre duas peneiras consecutivas não deve ser inferior a 4% do total.

a) devem ser observados os valores limites para as características especificadas no quadro a seguir:

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

b) as Especificações Complementares podem fixar outra energia de compactação;

c) as misturas devem atender às especificações da relação betume/vazios ou aos mínimos de vazios do agregado mineral, dados pela seguinte tabela:

VAM – Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo %
#	m m	
1½”	38,1	13
1”	25,4	14
3/4”	19,1	15
1/2”	12,7	16
3/8”	9,5	18

5.3 Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços serão adequados aos locais de instalação das obras, atendendo ao que dispõem as especificações para os serviços.

Devem ser utilizados, no mínimo, os seguintes equipamentos:

a) Depósito para ligante asfáltico;

Os depósitos para o ligante asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Norma. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o ligante asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos

deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

b) Silos para agregados;

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo adequado para o filer, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

c) Usina para misturas asfálticas;

A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90° a 210 °C (precisão ± 1 °C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disto, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ± 5 °C. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor/secador/misturador, de duas zonas (convecção e radiação), provida de: coletor de pó, alimentador de “filler”, sistema de descarga da mistura asfáltica, por intermédio de transportador de correia com comporta do tipo “clam-shell” ou alternativamente, em silos de estocagem.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com os cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semi-automática com leitura instantânea e acumuladora , por meio de registros digitais em “display” de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios.

d) Caminhões basculantes para transporte da mistura;

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico usinado a quente, devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina etc.) não é permitida.

e) Equipamento para espalhamento e acabamento;

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar a mistura exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

f) Equipamento para compactação;

O equipamento para a compactação deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm² .

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura na densidade de projeto, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

NOTA: Todo equipamento a ser utilizado deve ser vistoriado antes do início da execução do serviço de modo a garantir condições apropriadas de operação, sem o que, não será autorizada a sua utilização.

5.4 Execução

5.4.1 Pintura de ligação

Sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou no caso de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou, ainda ter sido a imprimação recoberta com areia, pó-de-pedra, etc., deve ser feita uma pintura de ligação.

5.4.2 Temperatura do ligante

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura-viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o cimento asfáltico apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 150 SSF, “Saybolt-Furol” (DNER-ME 004), indicando-se, preferencialmente, a viscosidade de 75 a 95 SSF. A temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C.

5.4.3 Aquecimento dos agregados

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante asfáltico, sem ultrapassar 177°C.

5.4.4 Produção do concreto asfáltico

A produção do concreto asfáltico é efetuada em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado.

5.4.5 Transporte do concreto asfáltico

O concreto asfáltico produzido deve ser transportado, da usina ao ponto de aplicação, nos veículos especificados no item 5.3 quando necessário, para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada. Cada carregamento deve ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura.

5.4.6 Distribuição e compactação da mistura

A distribuição do concreto asfáltico deve ser feita por equipamentos adequados, conforme especificado no item 5.3.

Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser sanadas pela adição manual de concreto asfáltico, sendo esse espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos.

Após a distribuição do concreto asfáltico, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso.

Caso sejam empregados rolos de pneus, de pressão variável, inicia-se a rolagem com baixa pressão, a qual deve ser aumentada à medida que a mistura seja compactada, e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

A compactação deve ser iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, de acordo com a superelevação, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o ponto mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte de, pelo menos, metade da largura rolada. Em qualquer caso, a operação de

rolagem perdurará até o momento em que seja atingida a compactação especificada.

Durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção e inversões bruscas da marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém – rolado. As rodas do rolo devem ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura.

5.4.7 Abertura ao tráfego

Os revestimentos recém–acabados devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

6 Manejo ambiental

Para execução do concreto asfáltico são necessários trabalhos envolvendo a utilização de asfalto e agregados, além da instalação de usina misturadora.

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção, a estocagem e a aplicação de agregados, assim como a operação da usina.

NOTA: Devem ser observadas as prescrições estabelecidas nos Programas Ambientais que integram o Projeto Básico Ambiental – PBA.

6.1 Agregados

No decorrer do processo de obtenção de agregados de pedreiras e areias devem ser considerados os seguintes cuidados principais:

a) caso utilizadas instalações comerciais, a brita e a areia somente são aceitas após apresentação da licença ambiental de operação da pedreira/areal, cuja cópia deve ser arquivada junto ao Livro de Ocorrências da Obra;

b) não é permitida a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental;

c) planejar adequadamente a exploração da pedreira e do areal, de modo a minimizar os impactos decorrentes da exploração e a possibilitar a recuperação ambiental após o término das atividades exploratórias;

d) impedir as queimadas;

e) seguir as recomendações constantes da Norma DNER-ES 279 para os caminhos de serviço;

f) construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso;

g) além destas, devem ser atendidas, no que couber, as recomendações da DNER ISA-07 – Instrução de Serviço Ambiental: impactos da fase de obras rodoviárias – causas/ mitigação/ eliminação.

6.2 Cimento asfáltico

Instalar os depósitos em locais afastados de cursos d'água.

Vedar o descarte do refugo de materiais usados na faixa de domínio e em áreas onde possam causar prejuízos ambientais.

Recuperar a área afetada pelas operações de construção / execução, imediatamente após a remoção da usina e dos depósitos e a limpeza do canteiro de obras.

As operações em usinas asfálticas a quente englobam:

a) estocagem, dosagem, peneiramento e transporte de agregados frios;

b) transporte, peneiramento, estocagem e pesagem de agregados quentes;

c) transporte e estocagem de filer;

d) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e do cimento asfáltico.

Os agentes e fontes poluidoras compreendem:

AGENTES E FONTES POLUIDORAS

AGENTE POLUIDOR	FONTES POLUIDORAS
I. Emissão de partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem e tráfego de veículos e vias de acesso.
II. Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de asfalto: hidrocarbonetos. Aquecimento de cimento asfáltico: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de cimento asfáltico: hidrocarbonetos.
III. Emissões Fugitivas	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, áreas de peneiramento, pesagem e mistura.

NOTA: Emissões Fugitivas - São quaisquer lançamentos ao ambiente, sem passar primeiro por alguma chaminé ou duto projetados para corrigir ou controlar seu fluxo.

Em função destes agentes devem ser obedecidos os itens 6.3 e 6.4.

6.3 Instalação

Impedir a instalação de usinas de asfalto a quente a uma distancia inferior a 200 m (duzentos metros), medidos a partir da base da chaminé, de residências, de hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas asilos, orfanatos creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias.

Definir no projeto executivo, áreas para as instalações industriais, de maneira tal que se consiga o mínimo de agressão ao meio ambiente.

O Executante será responsável pela obtenção da licença de instalação/operação, assim como pela manutenção e condições de funcionamento da usina dentro do prescrito nesta Norma.

6.4 Operação

Instalar sistemas de controle de poluição do ar constituídos por ciclones e filtro de mangas ou por equipamentos que atendam aos padrões estabelecidos na legislação.

Apresentar junto com o projeto para obtenção de licença, os resultados de medições em chaminés que comprovem a capacidade do equipamento de controle proposto, para atender aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental.

Dotar os silos de estocagem de agregado frio de proteções lateral e cobertura, para evitar dispersão das emissões fugitivas durante a operação de carregamento.

Enclausurar a correia transportadora de agregado frio.

Adotar procedimentos de forma que a alimentação do secador seja feita sem emissão visível para a atmosfera.

Manter pressão negativa no secador rotativo, enquanto a usina estiver em operação, para evitar emissões de partículas na entrada e na saída.

Dotar o misturador, os silos de agregado quente e as peneiras classificatórias do sistema de controle de poluição do ar, para evitar emissões de vapores e partículas para a atmosfera.

Fechar os silos de estocagem de mistura asfáltica.

Pavimentar e manter limpas as vias de acesso internas, de tal modo que as emissões provenientes do tráfego de veículos não ultrapassem 20% de opacidade.

Dotar os silos de estocagem de filer de sistema próprio de filtragem a seco.

Adotar procedimentos operacionais que evitem a emissão de partículas provenientes dos sistemas de limpeza dos filtros de mangas e de reciclagem do pó retido nas mangas.

Acionar os sistemas de controle de poluição do ar antes dos equipamentos de processo.

Manter em boas condições todos os equipamentos de processo e de controle.

Dotar as chaminés de instalações adequadas para realização de medições.

Substituir o óleo combustível por outra fonte de energia menos poluidora (gás ou eletricidade) e estabelecer barreiras vegetais no local, sempre que possível.

7 Inspeção

7.1 Controle dos insumos

Todos os materiais utilizados na fabricação de Concreto Asfáltico (Insumos) devem ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNIT, e satisfazer às especificações em vigor.

7.1.1 Cimento asfáltico

O controle da qualidade do cimento asfáltico consta do seguinte:

- 01 ensaio de penetração a 25ºC (DNER-ME 003), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio do ponto de fulgor, para todo carregamento que chegar à obra (DNER-ME 148);
- 01 índice de susceptibilidade térmica para cada 100t, determinado pelos ensaios DNER-ME 003 e NBR 6560;
- 01 ensaio de espuma, para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004), para todo carregamento que chegar à obra;
- 01 ensaio de viscosidade "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004) a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, para cada 100t.

7.1.2 Agregados

O controle da qualidade dos agregados consta do seguinte:

a) Ensaios eventuais

Somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais.

- ensaio de desgaste Los Angeles (DNER-ME 035);
- ensaio de adesividade (DNER-ME 078 e DNER-ME 079). Se o concreto asfáltico contiver dope também devem ser executados os ensaios de RTFOT (ASTM D-2872) ou ECA (ASTM-D-1754) e de degradação produzida pela umidade (AASHTO-283/89 e DNER-ME 138);
- ensaio de índice de forma do agregado graúdo (DNER-ME 086);

b) Ensaios de rotina

- 02 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);
- 01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 054);
- 01 ensaio de granulometria do material de enchimento (filer), por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083).

7.2 Controle da produção

O controle da produção (Execução) do Concreto Asfáltico deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória de acordo com o Plano de Amostragem Aleatória (vide item 7.4).

7.2.1 Controle da usinagem do concreto asfáltico

a) Controles da quantidade de ligante na mistura

Devem ser efetuadas extrações de asfalto, de amostras coletadas na pista, logo após a passagem da acabadora (DNER-ME 053).

A porcentagem de ligante na mistura deve respeitar os limites estabelecidos no projeto da mistura, devendo-se observar a tolerância máxima de ± 0,3.

Deve ser executada uma determinação, no mínimo a cada 700m^2 de pista.

b) Controle da graduação da mistura de agregados

Deve ser procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083) da mistura dos agregados resultantes das extrações citadas na alínea "a". A curva granulométrica deve manter-se contínua, enquadrando-se dentro das tolerâncias especificadas no projeto da mistura.

c) Controle de temperatura

São efetuadas medidas de temperatura, durante a jornada de 8 horas de trabalho, em cada um dos itens abaixo discriminados:

- do agregado, no silo quente da usina;
- do ligante, na usina;
- da mistura, no momento da saída do misturador.

As temperaturas podem apresentar variações de ± 5ºC das especificadas no projeto da mistura.

d) Controle das características da mistura

Devem ser realizados ensaios Marshall em três corpos-de-prova de cada mistura por jornada de oito horas de trabalho (DNER-ME 043) e também o ensaio de tração por compressão diametral a 25°C (DNER-ME 138), em material coletado após a passagem da acabadora. Os corpos-de-prova devem ser moldados in loco, imediatamente antes do início da compactação da massa.

Os valores de estabilidade, e da resistência à tração por compressão diametral devem satisfazer ao especificado.

7.2.2 Espalhamento e compactação na pista

Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa imediatamente antes de iniciada a compactação. Estas temperaturas devem ser as indicadas, com uma tolerância de ± 5°C.

O controle do grau de compactação - GC da mistura asfáltica deve ser feito, medindo-se a densidade aparente de corpos-de-prova extraídos da mistura espalhada e compactada na pista, por meio de brocas rotativas e comparando-se os valores obtidos com os resultados da densidade aparente de projeto da mistura.

Devem ser realizadas determinações em locais escolhidos, aleatoriamente, durante a jornada de trabalho, não sendo permitidos GC inferiores a 97% ou superiores a 101%, em relação à massa específica aparente do projeto da mistura (conforme item 7.5, alínea "a").

7.3 Verificação do produto

A verificação final da qualidade do revestimento de Concreto Asfáltico (Produto) deve ser exercida através das seguintes determinações, executadas de acordo com o Plano de Amostragem Aleatório (vide item 7.4):

a) Espessura da camada

Deve ser medida por ocasião da extração dos corpos-de-prova na pista, ou pelo nivelamento, do eixo e dos bordos; antes e depois do espalhamento e compactação da mistura. Admite-se a variação de ± 5% em relação às espessuras de projeto.

b) Alinhamentos

A verificação do eixo e dos bordos deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação.. Os desvios verificados não devem exceder ± 5cm.

c) Acabamento da superfície

Durante a execução deve ser feito em cada estaca da locação o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5cm, quando verificada com qualquer das réguas.

O acabamento longitudinal da superfície deve ser verificado por aparelhos

medidores de irregularidade tipo resposta devidamente calibrados (DNER-PRO 164 e DNER-PRO 182) ou outro dispositivo equivalente para esta finalidade. Neste caso o Quociente de Irregularidade - QI deve apresentar valor inferior ou igual a 35 contagens/km (IRI ≤ 2,7).

d) Condições de segurança

O revestimento de concreto asfáltico acabado deve apresentar Valores de Resistência à Derrapagem - VDR ≥ 45 quando medido com o Pêndulo Britânico (ASTM-E 303) e Altura de Areia – 1,20mm ≥ HS ≥ 0,60mm (NF P-98-216-7). Os ensaios de controle são realizados em segmentos escolhidos de maneira aleatória, na forma definida pelo Plano da Qualidade.

7.4 Plano de Amostragem - Controle Tecnológico

O número e a freqüência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da produção e do produto são estabelecidos segundo um Plano de Amostragem aprovado pela Fiscalização, de acordo com a seguinte tabela de controle estatístico de resultados (DNER-PRO 277):

TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL

n	5	6	7	8	9	10	11	12
K	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,19	1,16
∀	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,13	0,10

TABELA DE AMOSTRAGEM VARIÁVEL (continuação)

n	13	14	15	16	17	19	21
K	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
∀	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
n = n° de amostras, k = coeficiente multiplicador, ∀ = risco do Executante							

7.5 Condições de conformidade e não conformidade

Todos os ensaios de controle e determinações relativos à produção e ao produto, realizados de acordo com o Plano de Amostragem citado em 7.4, deverão cumprir as Condições Gerais e Específicas desta Norma, e estar de acordo com os seguintes critérios:

a) Quando especificada uma faixa de valores mínimos e máximos devem ser verificadas as seguintes condições:

$\overline{X}$ - ks < valor mínimo especificado ou $\overline{X}$ + ks > valor máximo de projeto: Não Conformidade;

$\overline{X}$ - ks ≥ valor mínimo especificado ou $\overline{X}$ + ks ≤ valor máximo de projeto: Conformidade;

Sendo:

$$\overline{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \overline{X})^2}{n-1}}$$

Onde:

x_i – valores individuais

$\overline{X}$ – média da amostra

s - desvio padrão da amostra.

k - coeficiente tabelado em função do número de determinações.

n - número de determinações.

b) Quando especificado um valor mínimo a ser atingido devem ser verificadas as seguintes condições:

Se $\overline{x}$ - ks < valor mínimo especificado: Não Conformidade;

Se $\overline{x}$ - ks ≥ valor mínimo especificado: Conformidade.

Os resultados do controle estatístico serão registrados em relatórios periódicos de acompanhamento de acordo com a norma DNIT 011/2004-PRO a qual estabelece que sejam tomadas providências para tratamento das “Não-Conformidades” da Produção e do Produto.

Os serviços só devem ser aceitos se atenderem às prescrições desta Norma.

Todo detalhe incorreto ou mal executado deve ser corrigido.

Qualquer serviço só deve ser aceito se as correções executadas colocarem-no em conformidade com o disposto nesta Norma; caso contrário será rejeitado.

8 Critérios de medição

Os serviços conformes serão medidos de acordo com os critérios estabelecidos no Edital de Licitação dos serviços ou, na falta destes critérios, de acordo com as seguintes disposições gerais:

a) o concreto asfáltico será medido em toneladas de mistura efetivamente aplicada na pista. Não serão motivos de medição: mão-de-obra, materiais (exceto cimento asfáltico), transporte da mistura da usina à pista e encargos quando estiverem incluídos na composição do preço unitário;

b) a quantidade de cimento asfáltico aplicada é obtida pela média aritmética dos valores medidos na usina, em toneladas;

c) a transporte do cimento asfáltico efetivamente aplicado será medido com base na distância entre a refinaria e o canteiro de serviço;

d) nenhuma medição será processada se a ela não estiver anexado um relatório de controle da qualidade contendo os resultados dos ensaios e determinações devidamente interpretados, caracterizando a qualidade do serviço executado.

_____ /índice Geral

Índice Geral

Abertura ao tráfego 5.4.7 8

Abstract 1

Agregado graúdo 5.1.2.1 4

Agregado miúdo 5.1.2.2 4

Agregados 5.1.2;6.1;7.1.2 ..... 4;8;10

Aquecimento dos agregados 5.4.3 7

Cimento asfáltico 5.1.1; 6.2; 7.1.1 .. 4; 8; 10

Composição da mistura 5.2 5

Condições de conformidade e não conformidade 7.5 12

Condições específicas 5 4

Condições gerais 4 3

Controle da usinagem do concreto asfáltico 7.2.1 10

Controle da produção 7.2 10

Controle dos insumos 7.1 9

Critérios de medição 8 13

Definição 3 3

Distribuição e compactação da mistura 5.4.6 7

Equipamentos 5.3 5

Espalhamento e compactação na pista 7.2.2 11

Execução 5.4 7

Índice geral 14

Inspeção 7..... 9

Instalação 6.3..... 9

Manejo ambiental 6..... 8

Material de enchimento (filer) 5.1.2.3..... 4

Materiais 5.1..... 4

Melhorador de adesividade 5.1.2.4..... 4

Objetivo 1..... 2

Operação 6.4..... 9

Pintura de ligação 5.4.1..... 7

Plano de amostragem - controle tecnológico 7.4..... 12

Prefácio 1

Produção do concreto asfáltico 5.4.4..... 7

Referências normativas 2..... 2

Resumo 1

Sumário 1

Temperatura do ligante 5.4.2..... 7

Transporte do concreto asfáltico 5.4.5..... 7

Verificação do produto 7.3..... 11

MT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM
DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR
DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA
Rodovia Presidente Dutra km 163 - Centro Rodoviário, Parada de Lucas
Rio de Janeiro, RJ - CEP 21240-330

Norma rodoviária
Especificação de Serviço
DNER-ES 385/99

Pavimentação - concreto asfáltico com asfalto polímero

RESUMO

Este documento define a sistemática empregada na execução de camada do pavimento através da confecção de mistura asfáltica a quente em usina apropriada utilizando asfalto modificado por polímero, agregados e material de enchimento (filer). Estabelece os requisitos concernentes a material, equipamento, execução e controle de qualidade dos materiais empregados, além dos critérios para aceitação, rejeição e medição dos serviços.

ABSTRACT

This document presents procedures for asphalt-polymer concrete construction. It presents requirements concerning materials, equipment, execution, ambiental preserving, quality control and the criteria for acceptance, rejection and measurement of the services.

SUMÁRIO

0 Prefácio

1 Objetivo

2 Referências

3 Definição

4 Condições gerais

5 Condições específicas

6 Manejo ambiental

7 Inspeção

8 Critérios de medição

9 Recomendação

0 PREFÁCIO

Esta Norma estabelece a sistemática empregada na execução e no controle da qualidade do serviço em epígrafe.

1 OBJETIVO

Fixar a sistemática a ser usada na fabricação de mistura asfáltica para a construção de camada de revestimento de acordo com os alinhamentos, greide e seção transversal de projeto.

Macrodescritores MT : pavimentação

Microdescritores DNER : concreto asfáltico, mistura asfáltica, asfalto polímero

Palavras-chave IRRD/ IPR : concreto asfáltico (4989), mistura asfáltica (9047), asfalto polímero

Descritores SINORTEC : asfalto, asfalto polímero, pavimento

Aprovada pelo Conselho Administrativo em 09/03/99, Resolução nº 06/99, Sessão nº CA/03/99

Autor: DNER/DrDTc (IPR)

Processo n° 51100009011/98.08

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

2 REFERÊNCIAS

Para entendimento desta Norma deverão ser consultados os documentos seguintes:

a) DNER-EM 396/99 - Cimento asfáltico modificado por polímero;
b) DNER-ES 279/97 - Terraplenagem - caminhos de serviço;
c) DNER-ME 003/94 - Material betuminoso - determinação da penetração;
d) DNER-ME 035/98 - Agregados - determinação da abrasão "**Los Angeles**";
e) DNER-ME 043/95 - Misturas betuminosas a quente - Ensaio **Marshall**;
f) DNER-ME 053/94 - Misturas betuminosas - percentagem de betume;
g) DNER-ME 054/94 - Equivalente de areia;
h) DNER-ME 083/98 - Agregados - análise granulométrica;
i) DNER-ME 086/94 - Agregado - determinação do índice de forma;
j) DNER-ME 089/94 -Agregados - avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio;
l) DNER-ME 138/94 - Misturas betuminosas - determinação da resistência à tração por compressão diametral;
m) DNER-ME 148/94 - Material betuminoso - determinação dos pontos de fulgor e de combustão (vaso aberto Cleveland);
n) DNER-ME 382/99 - Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos modificados por polímeros, pelo método do ductilômetro;
o) DNER-ME 384/99 - Estabilidade ao armazenamento de asfalto polímero;
p) DNER-PRO 164/94 - Calibração e controle de sistemas medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e **Maysmeter**);
q) DNER/PRO 182/94 - Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e **Maysmeter**);
r) DNER-PRO 277/97 - Metodologia para controle estatístico de obras e serviços;
s) ABNT NBR-6560/85 - Materiais betuminosos - determinação de ponto de amolecimento;
t) LCPC-RG-2-1971 - Determinação da rugosidade superficial pela altura da areia;
u) Pesquisa de asfaltos modificados por polímeros - Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento, IPR/DNER- 1998.

3 DEFINIÇÃO

Para os efeitos desta Norma é adotada a definição seguinte:

Concreto asfáltico com asfalto polímero - mistura executada em usina apropriada, com características específicas, constituída de agregado, material de enchimento (filer) se necessário, e cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero do tipo SBS, espalhada e comprimida a quente.

4 CONDIÇÕES GERAIS

4.1 O concreto asfáltico com asfalto polímero pode ser empregado como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento.

4.2 Não é permitida a execução dos serviços, objeto desta Especificação, sob condições climáticas adversas, tais como chuva, ou temperaturas inferiores a 10ºC.

4.3 Todo o carregamento de cimento asfáltico modificado por polímero que chegar à obra deve apresentar certificado de análise além de trazer indicação clara da sua procedência, do tipo, da quantidade do seu conteúdo e da distância de transporte até o canteiro de serviço.

5 CONDIÇÕES ESPECÍFICAS

5.1 Material

Os materiais constituintes do concreto asfáltico com asfalto polímero são agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (filer) se necessário, e cimento asfáltico modificado por polímero do tipo SBS, os quais devem satisfazer as especificações aprovadas pelo DNER. O concreto asfáltico com asfalto polímero deve satisfazer aos requisitos exigidos nesta Especificação.

5.1.1 Cimento asfáltico modificado por polímero

Devem ser empregados cimentos asfálticos de petróleo modificados por polímero do tipo SBS.

5.1.2 Agregados

5.1.2.1 Agregado graúdo

O agregado graúdo pode ser pedra, escória, seixo rolado, ou outro material que seja indicado nas Especificações Complementares. O agregado graúdo deve constituir-se de fragmentos sãos, duráveis, livres de torrões de argila, substâncias nocivas e apresentar as características seguintes:

a) desgaste Los Angeles igual ou inferior a 55% (DNER-ME 035); admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de terem apresentado desempenho satisfatório em utilização anterior;
b) índice de forma superior a 0,5 (DNER-ME 086);
c) durabilidade, perda inferior a 12% (DNER-ME 089).

5.1.2.2 Agregado miúdo

O agregado miúdo pode ser areia, pó-de-pedra ou mistura de ambos. Suas partículas individuais devem ser resistentes, apresentar moderada angulosidade, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia igual ou superior a 55%. (DNER-ME 054).

5.1.2.3 Material de enchimento (filer)

Deve ser constituído por materiais minerais finamente divididos, não plásticos, secos e isentos de grumos, tais como cimento Portland, cal extinta, pó calcário, cinza volante, ou outros, e que atendam à seguinte granulometria (DNER-ME 083):

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso
ABNT	Abertura, mm	
N° 40	0,42	100
N° 80	0,18	95-100
N° 200	0,075	65-100

5.2 Composição da mistura

5.2.1 A composição do concreto asfáltico com asfalto polímero deve satisfazer os requisitos do quadro seguinte com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria e aos percentuais de cimento asfáltico.

Peneira de malha quadrada		Percentagem passando, em peso (faixas)			Tolerância na curva de projeto (%)
ABNT	Abertura mm	A	B	C	
2”	50,8	100	-	-	-
1 ½”	38,1	95-100	100	-	± 7
1”	25,4	75-100	95-100	-	± 7
3/4”	19,1	60-90	80-100	100	± 7
1/2”	12,7	-	-	85-100	± 7
3/8”	9,5	35-65	45-80	75-100	± 7
Nº 4	4,8	25-50	28-60	50-85	± 5
Nº 10	2,0	20-40	20-45	30-75	± 5
Nº 40	0,42	10-30	10-32	15-40	± 5
Nº 80	0,18	5-20	8-20	8-30	± 3
Nº 200	0,075	1-8	3-8	5-10	± 2
Ligante polimerizado solúvel no tricloroetileno, %		4-6 Camada de ligação (Binder)	4-7 Camada de ligação e rolamento	5-7, 5 Camada de rolamento	± 0,3

A faixa usada deve ser aquela, cujo diâmetro máximo é igual ou inferior a 2/3 da espessura da camada de revestimento.

As tolerâncias constantes no quadro são permitidas, desde que os limites da faixa não sejam ultrapassados.

5.2.2 As percentagens de ligante referem-se à mistura de agregados, considerada como 100%. Para todos os tipos, a fração retida entre duas peneiras consecutivas não deve ser inferior a 4% do total.

a) deve ser adotado o Ensaio **Marshall** (DNER-ME 043) para a verificação das condições de vazios, estabilidade, fluência e resistência da mistura asfáltica segundo os seguintes valores:

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Características	Camada de rolamento	Camada de ligação (binder)
Percentagem de vazios	3 a 5	4 a 6
Relação betume-vazios	75 a 82	65 a 72
Estabilidade, mínima	500 kgf (75 golpes)	500 kgf (75 golpes)
Fluência, mm.	2,0 a 4,5	2,0 a 4,5
Resistência à tração por compressão diametral a 25ºC, kgf/cm^2	7,0 a 12,0	7,0 a 12,0

b) as Especificações Complementares podem fixar a energia de compactação.

5.3 Equipamento

Todo equipamento, antes do início da execução da obra, deve ser examinado, devendo estar de acordo com esta Especificação. Os equipamentos requeridos são os seguintes:

5.3.1 Depósito para cimento asfáltico modificado por polímero

Os depósitos para o cimento asfáltico devem possuir dispositivos capazes de aquecer o ligante nas temperaturas fixadas nesta Especificação. Estes dispositivos também devem evitar qualquer superaquecimento localizado. Deve ser instalado um sistema de recirculação para o cimento asfáltico, de modo a garantir a circulação, desembaraçada e contínua, do depósito ao misturador, durante todo o período de operação. A capacidade dos depósitos deve ser suficiente para, no mínimo, três dias de serviço.

5.3.2 Depósito para agregados

Os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e devem ser divididos em compartimentos, dispostos de modo a separar e estocar, adequadamente, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deve possuir dispositivos adequados de descarga. Deve haver um silo para o filer, conjugado com dispositivos para a sua dosagem.

5.3.3 Usina para misturas asfálticas modificadas por polímero

5.3.3.1 A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados, após o secador, dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme e provida de coletor de pó. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90ºC a 210ºC (precisão ± 1°C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada além disso, com pirômetro elétrico, ou outros instrumentos termométricos aprovados, colocados na descarga do secador, com dispositivos para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ± 5 °C.

5.3.3.2 Pode, também, ser utilizada uma usina do tipo tambor/secador/misturador, provida de coletor de pó, alimentador de filer, sistema de descarga da mistura asfáltica com comporta, ou

alternativamente, em silos de estocagem. A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica (precisão de ± 5%) e assegurar a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

5.3.4 Caminhões para transporte da mistura

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico, devem ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura às chapas. A utilização de produtos susceptíveis de dissolver o ligante asfáltico (óleo diesel, gasolina, e outros) não são permitidos.

5.3.5 Equipamento para espalhamento

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de pavimentadoras automotrizes, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento requeridos. As acabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim ou outro sistema de misturação, para colocar a mistura exatamente na faixa, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de marchas para a frente e para trás. As acabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

5.3.6 Equipamento para a compactação

O equipamento para compactação é constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsores, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5kgf/cm² a 8,4kgf/cm² (35 psi a 120 psi).

O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura à densidade requerida, enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade.

5.4 Execução

5.4.1 Antes de iniciar a construção da camada de concreto asfáltico, a superfície subjacente deve estar limpa e pintada ou imprimada. Sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou no caso de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou, ainda ter sido a imprimação recoberta com areia, pó-de-pedra, deve ser feita uma pintura de ligação.

5.4.2 A temperatura de aquecimento do asfalto polímero deve ser em função do teor de polímero. A temperatura conveniente para aquecimento do ligante é de 150ºC acrescida de 3ºC para cada 1% de polímero: 150ºC + 3ºC / 1% polímero. A temperatura máxima deve ser de 180ºC.

5.4.3 Os agregados devem ser aquecidos a temperatura de 10 °C a 15 °C, acima da temperatura do cimento asfáltico e inferior a 183ºC.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

5.4.4 Produção do concreto asfáltico modificado por polímero

A produção do concreto asfáltico é efetuada em usinas apropriadas, conforme anteriormente especificado.

5.4.5 Transporte da mistura

5.4.5.1 A mistura produzida deve ser transportada da usina ao ponto de aplicação, em veículos basculantes especificados no item 5.3.4.

5.4.5.2 Para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deve ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura. Recomenda-se que a distância de transporte não ultrapasse 30km.

5.4.6 Distribuição e compactação da mistura

5.4.6.1 A distribuição do concreto asfáltico com asfalto polímero deve ser feita por máquinas acabadoras, conforme especificado no item 5.3.5.

5.4.6.2 Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser corrigidas pela adição manual de concreto asfáltico polímero, sendo o espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos (rastelos).

5.4.6.3 Após a distribuição do concreto asfáltico, tem início a rolagem. Como norma geral, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, temperatura essa fixada, experimentalmente, para cada caso.

5.4.6.4 A temperatura recomendável para a compactação da mistura é de 140ºC acrescida de 3ºC para cada 1% de polímero: 140ºC + 3ºC / 1% polímero.

5.4.6.5 Iniciar a rolagem com rolo pneumático com baixa pressão nos pneus, a qual será aumentada à medida que a mistura for sendo compactada e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

5.4.6.6 A compactação é iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o mais alto. A operação de rolagem perdura até o momento em que a compactação especificada é atingida.

5.4.6.7 Durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção e inversões bruscas de marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado. As rodas do rolo devem ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura.

5.4.7 Abertura ao tráfego

Os revestimentos recém-acabados devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6 MANEJO AMBIENTAL

Para execução de revestimento asfáltico do tipo concreto asfáltico modificado por polímero são necessários trabalhos envolvendo a utilização de asfalto polímero e agregados, além da instalação de usina misturadora.

Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente envolvem a produção e aplicação de agregados, o estoque de ligante asfáltico e operação da usina.

6.1 Agregados

No decorrer do processo de obtenção de agregados de pedreiras devem ser considerados os seguintes cuidados principais:

6.1.1 A brita e a areia somente são aceitas após apresentação da licença ambiental de operação da pedreira/areal cuja cópia da licença deve ser arquivada junto ao Livro de Ocorrências da obra.

6.1.2 Evitar a localização da pedreira e das instalações de britagem em área de preservação ambiental.

6.1.3 Planejar adequadamente a exploração da pedreira de modo a minimizar os danos inevitáveis durante a exploração e possibilitar a recuperação ambiental após a retirada de todos os materiais e equipamentos.

6.1.4 Impedir queimadas como forma de desmatamento.

6.1.5 Seguir as recomendações constantes da Norma DNER-ES 279 para os Caminhos de Serviço.

6.1.6 Construir, junto às instalações de britagem, bacias de sedimentação para retenção do pó de pedra eventualmente produzido em excesso ou por lavagem da brita, evitando seu carreamento para cursos d'água.

6.1.7 Exigir a documentação atestando a regularidade das instalações pedreira/areal/usina, assim como sua operação, junto ao órgão ambiental competente, caso estes materiais sejam fornecidos por terceiros.

6.2 Cimento asfáltico modificado por polímero

6.2.1 Instalar os depósitos em locais afastados de cursos d'água.

6.2.2 Vedar o refugo de materiais usados à beira da estrada ou em outros locais onde possam causar prejuízos ambientais.

6.2.3 Recuperar a área afetada pelas operações de construção/execução, mediante a remoção da usina e dos depósitos e à limpeza dos canteiros de obra.

As operações em usinas asfálticas a quente englobam:

a) estocagem, dosagem, peneiramento e transporte dos agregados frios;
b) transporte, peneiramento, estocagem e pesagem dos agregados quentes;

c) transporte e estocagem do filer;
d) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e asfalto polímero.

Agentes e fontes poluidoras

Agente poluidor	Fontes poluidoras
I. Emissão de partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem e tráfego de veículos e vias de acesso.
II. Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de asfalto: hidrocarbonetos. Aquecimento de cimento asfáltico: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de cimento asfáltico: hidrocarbonetos.
III. Emissões fugitivas	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, área de peneiramento, pesagem e mistura. São quaisquer lançamentos ao ambiente, sem passar primeiro por alguma chaminé ou duto projetados para corrigir ou controlar o seu fluxo.

6.3 Quanto à instalação

6.3.1 Impedir a instalação de usinas de asfalto a quente a uma distância inferior a 200m (duzentos metros), medidos a partir da base da chaminé, de residências, hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas, asilos, orfanatos, creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias.

6.3.2 Definir no projeto executivo, áreas para as instalações industriais, de maneira tal, que se consiga o mínimo de agressão ao meio ambiente.

6.3.3 Atribuir à executante, responsabilidade pela obtenção da licença de instalação/operação, assim como, manter a usina em condições de funcionamento dentro do prescrito nestas especificações.

6.4 Operação

6.4.1 Instalar sistemas de controle de poluição do ar constituídos por ciclone e filtro de mangas ou de equipamentos que atendam aos padrões estabelecidos nas legislações vigentes.

6.4.2 Apresentar junto com o projeto para obtenção de licença, resultados de medições em chaminés, que comprovem a capacidade do equipamento de controle proposto para atender aos padrões estabelecidos pelo órgão ambiental.

6.4.3 Dotar os silos de estocagem de agregados frios de proteções laterais e cobertura, para evitar a dispersão das emissões fugitivas durante a operação de carregamento.

6.4.4 Enclausurar a correia transportadora de agregados frios.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6.4.5 Adotar procedimentos de forma que a alimentação do secador seja feita sem emissão visível para a atmosfera.

6.4.6 Manter pressão negativa no secador rotativo, enquanto a usina estiver em operação, para que sejam evitadas emissões de partículas na entrada e saída do mesmo.

6.4.7 Dotar o misturador, os silos de agregados quentes e as peneiras classificatórias de sistema de exaustão de conexão ao sistema de controle de poluição do ar, para evitar emissões de vapores e partículas para a atmosfera.

6.4.8 Fechar os silos de estocagem de massa asfáltica.

6.4.9 Pavimentar e manter limpas as vias de acesso internas, de tal modo que as emissões provenientes do tráfego de veículos não ultrapassem 20% de opacidade.

6.4.10 Dotar os silos de estocagem de filer de sistema próprio de filtragem a seco.

6.4.11 Adotar procedimentos operacionais que evitem a emissão de partículas provenientes dos sistemas de limpeza dos filtros de mangas e de reciclagem do pó retido nas mangas.

6.4.12 Acionar os sistemas de controle de poluição do ar antes dos equipamentos de processo.

6.4.13 Manter em boas condições de operação todos os equipamentos de processo e de controle.

6.4.14 Dotar as chaminés de instalações adequadas para realização de medições.

6.4.15 Substituir o óleo combustível por outra fonte de energia menos poluidora (gás ou eletricidade) e estabecer barreiras vegetais no local, sempre que possível.

7 INSPEÇÃO

7.1 Controle de qualidade do material

Todos os materiais devem ser examinados em laboratório, obedecendo a metodologia indicada pelo DNER, devendo satisfazer as especificações em vigor.

7.1.1 Asfalto polímero

O controle de qualidade do cimento asfáltico consta dos seguintes ensaios:

a) Para todo carregamento que chegar à obra:

01 ensaio de penetração a 25ºC (DNER-ME 003);
01 ensaio de ponto de fulgor (DNER-ME 148);
01 ensaio de ponto de amolecimento (ABNT NBR-6560);
01 ensaio de espuma;
01 ensaio de recuperação elástica a 25ºC (DNER-ME 382);
01 ensaio de estabilidade ao armazenamento (DNER-ME 384).

b) Para cada 500t:

01 ensaio de infra-vermelho para determinação do teor de polímero, sendo permitida uma tolerância de ±0,4% do teor de projeto.

7.1.2 Agregados

O controle de qualidade dos agregados consta do seguinte:

02 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente, por jornada de 8 horas de trabalho (DNER-ME 083);

01 ensaio de desgaste Los Angeles, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 035);

01 ensaio de índice de forma, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 086);

01 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo, por mês, ou quando houver variação da natureza do material (DNER-ME 054);

01 ensaio de granulometria do material de enchimento (filer), por mês (DNER-ME 083);

01 ensaio de adesividade por jornada de 8 horas de trabalho.

7.2 Controle da execução

O controle da execução é exercido através de coleta aleatória de amostras, ensaios e determinações.

7.2.1 Controle da usinagem do concreto asfáltico com asfalto polímero

7.2.1.1 Controle da quantidade de asfalto polímero na mistura

Devem ser efetuadas extrações de ligante de amostras coletadas na saída da acabadora (DNER-ME 053). A percentagem de ligante pode variar, no máximo, ± 0,3%, da fixada no projeto.

7.2.1.2 Controle da graduação da mistura de agregados

Deve ser procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 083) da mistura dos agregados resultantes das extrações citadas no item anterior. A curva granulométrica deve manter-se contínua, enquadrando-se dentro das tolerâncias, especificadas no projeto.

7.2.1.3 Controle de temperatura

Devem ser efetuadas medidas de temperatura, durante a jornada de 8 horas de trabalho, em cada um dos itens abaixo discriminados:

a) dos agregados, nos silos quentes da usina;
b) do ligante, na usina;
c) da mistura, no momento da saída do misturador.

As temperaturas devem apresentar tolerâncias de ± 5 °C das temperaturas especificadas.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

7.2.1.4 Controle das características da mistura

Devem ser realizados ensaios **Marshall** e de Resistência à Tração em corpos-de-prova, por jornada de 8 horas de trabalho.

Os valores de estabilidade e de resistência à tração devem satisfazer ao especificado no item proposto. As amostras devem ser retiradas na saída da acabadora.

7.2.1.5 O número das determinações ou ensaios de controle da usinagem do concreto asfáltico por jornada de 8 horas de trabalho, deve ser definido em função do risco de rejeição de um serviço de boa qualidade a ser assumido pelo executante, conforme a tabela seguinte:

Tabela de amostragem variável

n	5	6	7	8	9	10	12	13	14	15	16	17	19	21
k	1,55	1,41	1,36	1,31	1,25	1,21	1,16	1,13	1,11	1,10	1,08	1,06	1,04	1,01
α	0,45	0,35	0,30	0,25	0,19	0,15	0,10	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01

n = n° de amostras k = coeficiente multiplicador α = risco do executante

O número mínimo de determinações por jornada de 8 horas de trabalho é de cinco.

7.2.2 Espalhamento e compactação na pista

7.2.2.1 Temperatura de compactação

Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa e imediatamente antes de iniciada a compactação.

Esta temperatura deve ser a indicada para compactação, com uma tolerância de ±5 °C.

7.2.2.2 Controle do grau de compactação

O controle do grau de compactação - GC da mistura asfáltica deve ser feito através de medidas das densidades aparentes de corpos-de-prova extraídos da mistura espalhada e compactada na pista, por meio de brocas rotativas.

Podem ser empregados outros métodos para determinação da densidade aparente na pista, desde que indicados no projeto.

Devem ser realizadas determinações em locais escolhidos aleatoriamente durante a jornada de trabalho, não sendo permitidos GC inferiores a 97% da densidade de projeto.

O controle do grau de compactação pode, também, ser feito através de medidas das densidades aparentes dos corpos-de-prova extraídos da pista e comparadas com as densidades aparentes de corpos-de-prova moldados no local, desde que autorizado pela Fiscalização. As amostras para a moldagem destes corpos-de-prova devem ser colhidas bem próximas ao local onde serão realizados os furos e antes da sua compactação. Neste caso, GC ≥ 100%.

7.2.2.3 O número de determinações do grau de compactação - GC, é definido em função do risco de rejeição de um serviço de boa qualidade a ser assumido pelo executante, conforme tabela do item 7.2.1.5.

7.3 Verificação final da qualidade

7.3.1 Espessura da camada

Deve ser medida a espessura por ocasião da extração dos corpos-de-prova na pista, ou pelo nivelamento, do eixo e dos bordos, antes e depois do espalhamento e compactação da mistura. Admite-se variação de ± 5% em relação às espessuras de projeto.

7.3.2 Alinhamentos

A verificação do eixo e bordos é feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. Pode também ser utilizada a trena. Os desvios verificados não devem exceder ± 5cm.

7.3.3 Acabamento da superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca da locação, o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5cm, quando verificada com qualquer das réguas.

O acabamento da superfície deve ser verificado por "aparelhos medidores de irregularidade tipo resposta" devidamente calibrados (DNER-PRO 164 e DNER-PRO 182). Neste caso o Quociente de Irregularidade - QI deve apresentar valor inferior a 35 contagens/km, por km de rodovia.

7.4 Critérios de aceitação e rejeição

7.4.1 Todos os ensaios dos materiais indicados em 7.1 devem atender aos requisitos especificados em 5.1.

7.4.2 Para o controle da usinagem do concreto asfáltico, espalhamento e compactação na pista, devem ser analisados estatísticamente os resultados abaixo e verificadas as condições seguintes:

a) Na usina

Deve ser verificada a faixa de temperatura preconizada nesta Especificação.

b) Na pista

Para a quantidade de ligante na mistura, graduação da mistura de agregados e resistência à tração por compressão diametral em que é especificada uma faixa de valores mínimos e máximos devem ser verificadas as condições seguintes:

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

$\overline{X}$ - ks < valor mínimo especificado ou $\overline{X}$ + ks > valor máximo especificado ⇒ rejeitar o serviço;

$\overline{X}$ - ks ≥ valor mínimo especificado e $\overline{X}$ + ks ≤ valor máximo especificado ⇒ aceitar o serviço.

Sendo:

$$\overline{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum\left(Xi - \overline{X}\right)^2}{n-1}}$$

Onde:

X i - valores individuais.
$\overline{X}$ - média da amostra.
s - desvio padrão da amostra.
k - coeficiente tabelado em função do número de determinações.
n - número de determinações.

Para os resultados do ensaio de estabilidade **Marshall** (DNER-ME 043) em que é especificado um valor mínimo a ser atingido deve ser verificada a condição seguinte:

Se $\overline{X}$ - ks < valor mínimo especificado ⇒ rejeitar o serviço;
Se $\overline{X}$ - ks ≥ valor mínimo especificado ⇒ aceitar o serviço.

Para o Grau de Compactação - GC - em que é especificado um valor mínimo a ser atingido deve ser verificada a condição seguinte:

Se $\overline{X}$ - ks < valor mínimo especificado ⇒ rejeitar o serviço;
Se $\overline{X}$ - ks ≥ valor mínimo especificado ⇒ aceitar o serviço.

7.4.3 Os serviços rejeitados devem ser corrigidos, complementados ou refeitos.

7.4.4 Os resultados do controle estatístico são registrados em relatórios periódicos de acompanhamento e associados à medição dos serviços.

8 CRITÉRIOS DE MEDIÇÃO

Os serviços aceitos são medidos de acordo com os critérios seguintes:

8.1 O concreto asfáltico polímero é medido em toneladas, através da mistura efetivamente aplicada na pista. Não são motivos de medição: mão-de-obra, materiais (exceto ligante asfáltico), transporte da mistura da usina à pista e encargos por estarem incluídos na composição do preço unitário.

8.2 A quantidade de cimento asfáltico modificado aplicado é obtida através da média aritmética dos valores medidos na usina, em toneladas.

8.3 O transporte do cimento asfáltico, efetivamente aplicado, é medido com base na distância entre a refinaria ou fábrica e o canteiro de serviço.

9 RECOMENDAÇÃO

9.1 Os serviços rejeitados poderão ser corrigidos de acordo com as proposições das Instruções para Controle Tecnológico de Serviços de Pavimentação, resolução 1715/87 do Conselho Administrativo do DNER, com as devidas adaptações onde couber.

9.2 Recomenda-se α = 0,10 da Tabela de amostragem variável do item 7.2.1.5. A freqüência das determinações de campo poderá ser realizada a cada 700m^2 de pista.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

PETROBRAS

Número: 1421-16 G

CÓPIA

CERTIFICADO DE ENSAIO

Produto: CIMENTO ASFALTICO 50/70 Código: 71K

Local de Amostragem: TQ 245116B
Data/ hora Amostragem: 23/08/16 06:00
Data/ hora Recebimento: 23/08/16 07:04

Laboratório REFAP/OT/QP
Endereço: Av. Getúlio Vargas, 11001
92420-221 Canoas - RS
Telefone:(51)3415-2243 Fax: (51)3415-2246

Característica	Método	Especificação	Resultado	Unidade
PENETRACAO	D 5	50 a 70	**60**	0,1 mm
PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	46 min	**50,6**	grau C
VISCOSIDADE BROOKFIELD 135GC-SP21 20RPM	D 4402	274 min	**325**	cp
VISCOSIDADE BROKFIELD 150 GC-SP21	D 4402	112 min	**165**	cp
VISCOSIDADE BROOKFIELD A 177GC SP21	D 4402	57 a 285	**62**	cp
RTFOT PENETRACAO RETIDA	D 5	55 min	**58**	%
RTFOT-AUMENTO DO PONTO DE AMOLECIMENTO	D 36	8 max	**3,8**	grau C
RTFOT - DUCTILIDADE A 25GC	D 113	20 min	**>147**	cm
RTFOT VARIACAO EM % MASSA	D 2872	-0,50 a 0,50	**0,041**	%
DUCTILIDADE A 25 GC	D 113	60 min	**>147**	cm
SOLUBILIDADE NO TRICLOROETILENO	D 2042	99,5 min	**100,0**	% massa
PONTO DE FULGOR	D 92	235 min	**>236**	grau C
INDICE DE SUSCETIBILIDADE TERMICA	X 018	-1,5 a 0,7	**-0,6**	N/A
DENSIDADE RELATIVA A 20/4 GRAUS CELSIUS	D 70	Anotar (1)	**1,003**	N/A
AQUECIMENTO A 177 GC	X 215	NESP (2)	**NESP**	N/A

Notas:

(1) Ensaio nao faz parte da especificacao. Informacao para fins de faturamento.

(2) NESP = Nao espuma

- Visc SSF 135°C = 169,0 s.
  Visc SSF 150°C = 87,5 s.
  Visc SSF 177°C = 33,5 s.

Data de Emissão: 23/08/2016 22:08:50 **Página: 1 de 1**

Os resultados deste Certificado de Ensaio referem-se à amostra acima especificada.
Este certificado só pode ser reproduzido integralmente com a autorização do responsável pelo seu conteúdo.

Original Assinado Por:

Responsável:
Q de Petróleo Priscila Perin Guastalli
CRQ: 09302440

NTA - Novas Técnicas de Asfaltos Ltda
Laboratório de Controle de Qualidade
Filial Paulinia - SP

CERTIFICADO DE QUALIDADE

Nº 1613-16

PRODUTO: ASFALTO MODIFICADO NTAFLEX 65/90

DATA DO CARREGAMENTO: 21/07/16

CLIENTE: -

DESTINO: -

ORDEM DE PRODUÇÃO (LOTE): - NOTA FISCAL N°

TRANSPORTADORA: -

PLACA CARRETA: - QUANTIDADE (Kg):

LACRES: -

CARACTERISTICAS DO PRODUTO DE ACORDO COM A ESPECIFICAÇÃO DNIT 129/2010-EM

CARACTERISTICA	UNIDADE	NORMA DE REFERÊNCIA	LIMITES	RESULTADOS	
				FABRICA	OBRA
PENETRAÇÃO 100g, 25°C, 5 s	0,1mm	NBR 6576	40 - 70	43	
PONTO DE AMOLECIMENTO	°C	NBR 6560	min. 65	83	
RECUPERAÇÃO ELÁSTICA, 20cm, 25°C	%	NBR 15086	mín. 90	93	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 135°C, sp21, 20rpm	cP	NBR 15184	máx. 3000	840	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 150°C, sp21, 50rpm	cP	NBR 15184	máx. 2000	465	
VISCOSIDADE BROOKFIELD a 177°C, sp21, 100rpm	cP	NBR 15184	máx. 1000	140	
SEPARAÇÃO DE FASE (NOTA 01)	°C	NBR 15166	máx. 5	3	
PONTO DE FULGOR	°C	NBR 11341	mín 235	>235	
DENSIDADE RELATIVA A 20/4°C	-	NBR 6296	Anotar	1,005	

OBSERVAÇÕES:

NOTA 01: Os resultados apresentados podem não se referir ao produto analisado, mas ao lote do mesmo, de acordo com o Plano de Controle de Qualidade do Produto;

1- Os resultados apresentados se referem apenas ao lote mencionado;

2- Este certificado só pode ser reproduzido integralmente;

3- Não recomendamos o aquecimento do produto para descarga acima de 175°C;

4- Em caso de dúvidas, favor contactar nosso Departamento Técnico: (19) 3874-4555.

PREZADO CLIENTE:

Por favor conferir os resultados apresentados acima, assinar e devolver a 2ª via deste Certificado de Qualidade com os resultados encontrados na obra. Caso encontre alguma irregularidade, entre em contato com nosso departamento técnico.

O MATERIAL ATENDE AS ESPECIFICAÇÕES:

Local	Data	Responsável

CÓPIA ELETRÔNICA ORIGINAL ASSINADO POR:
Gerson da Silva Pereira
Engenheiro Quimico
CRQ 04300668 4ª REGIÃO SP

EMISSÃO: 21/7/16 15:34

Revisão 01 de 18/04/2011

PROJETO :	CBUQ	DATA:	
CAP:	50/70	ESPECIFICAÇÃO: DNIT ES 031/2006	
OBRA:	CREMA 2ª ETAPA - CT: 205/2013	FAIXA :	'C"

RESULTADOS FINAIS

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS E DOSAGEM DA MISTURA

#	BRITA 3/4"	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA	CAL CH - I	MISTURA % (DNER-ME 053/98	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO: DNIT 031/2006 ES		TOLERANCIA
11/2"	100	100,00	100,00	100,00	100,0	100	100	100	100	7+/ -
1"	100	100,00	100,00	100,00	100,0	100	100	100	100	7+/ -
3/4"	100	100,00	100,00	100,00	100,0	100	100	100	100	5+/ -
1/2"	34,5	100,00	100,00	100,00	83,0	80	90	80	100	5+/ -
3/8"	4,7	100,00	100,00	100,00	75,2	70	82	70	90	5+/ -
Nº 4	1,0	20,00	99,70	100,00	46,1	44	51	44	72	5+/ -
Nº 10	0,8	1,00	69,60	100,00	28,0	23	33	22	50	5+/ -
Nº 40	0,6	0,70	33,40	100,00	14,1	9	19	8	26	5+/ -
Nº 80	0,5	0,60	21,50	100,00	9,5	7	13	4	16	3+/ -
Nº 200	0,4	0,40	12,80	91,59	6,0	4	8	2	10	2+/ -
% AGR.	26,00%	35,00%	38,00%	1,00%						

ENSAIO MARSHALL (DNIT -ME 043/95)	Resultado	Unidade	Especificação	Limites		
				Minimo		Máximo
Teor de Asfalto	5,14	%	DNIT-ME 117/94	4,8	a	5,4
Densidade Aparente	2,599	kg/cm³	DNIT-ME 117/94			
Densidade Máx. Teórica (Rice)	2,701		AASHTO T 209-99			
Estabilidade	1255	kgf	DNIT-ME 043/95	500	Kgf	
Vol. Vazios	3,8	%	DNIT-ME 043/95	3	a	5
Resistência à Tração por Compressão Diametral (25.º C)	1,12		DNIT-ME 136/2010			
Vol. Agregado Mineral	17,1	%	DNIT-ME 043/95	14	min.	
R.B.V.	77,9	%	DNIT-ME 043/95	75	a	82
Durabilidade	4,0	%	DNIT-ME 054/98			12
Abrasão " Los Angele "	18,4	%	DNIT-ME 054/99			40
Adesividade do Ligante ao Agregado	SATISFATÓRIA		DNIT-ME 078/94			
Impureza		%	DNIT-ME 055/95			
Equivalente de Areia	61,0	%	DNIT-ME 054/97	55		

Observação:

PROJETO :	**CBUQ MODIFICADO COM POLÍMERO**	**DATA:**	
CAP:	**SBS 65/90**	**ESPECIFICAÇÃO:**	**DNER-ES 031/2006**
OBRA:		**FAIXA :**	**FAIXA " C "**

RESULTADOS FINAIS

GRANULOMETRIA DOS AGREGADOS E DOSAGEM DA MISTURA

#	Brita ½"	Pedrisco	Pó	Filler	MISTURA % (DNER-ME 053/98	FAIXA DE TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO: FAIXA " C "		TOLERÂNCIA
1 ½"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**7+/ -**
1"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**7+/ -**
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100,0**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**100,00**	**5+/ -**
1/2"	34,92	100,00	100,00	100,00	**84,4**	**80,00**	**91,38**	**80,00**	**100,00**	**5+/ -**
3/8"	4,76	100,00	100,00	100,00	**77,1**	**70,14**	**84,14**	**70,00**	**90,00**	**5+/ -**
n°4	0,78	20,38	99,49	100,00	**48,1**	**44,00**	**53,11**	**44,00**	**72,00**	**5+/ -**
n°10	0,77	2,36	68,47	100,00	**29,4**	**24,40**	**34,40**	**22,00**	**50,00**	**5+/ -**
n°40	0,77	0,97	31,99	99,40	**14,3**	**9,31**	**19,31**	**8,00**	**26,00**	**5+/ -**
n°80	0,76	0,81	20,79	98,46	**9,8**	**6,76**	**12,76**	**4,00**	**16,00**	**3+/ -**
n°200	0,60	0,67	12,27	84,91	**6,1**	**4,14**	**8,14**	**2,00**	**10,00**	**2+/ -**
% AGR.	**24,00%**	**35,00%**	**40,00%**	**1,00%**						

ENSAIO MARSHALL (DNER -ME 043/95)	Resultado	Unidade	Especificação	Limites Minimo		Máximo
Teor de Asfalto	**5,50**	%	**DNER-ME 117/94**	**5,20**	**a**	**5,80**
Densidade Aparente	**2,569**	kg/cm³	**DNER-ME 117/94**			
Densidade Máx. Teórica	**2,676**					
Estabilidade	**1290**	kgf	**DNER-ME 043/95**	**> 500**		
Vol. Vazios	**4,00**	%	**DNER-ME 043/95**	**3**	**a**	**5**
Fluência 1/100	**3,00**	mm	**DNER-ME 043/95**	**2**	**a**	**4**
Vol. Agregado Mineral	**18,90**	%	**DNER-ME 043/95**	**15**	**min.**	
R.B.V.	**75,17**	%	**DNER-ME 043/95**	**75**	**a**	**82**
Resistência à Tração por Compressão Diametral (25.º C)	**1,26**	MP.a	**DNER-ME 138/94**	**>0,65**		
Índice de Forma	**0,78**	%	**DNER-ME 086/94**	**> 0,5**		
Durabilidade	**4,00**	%	**DNER-ME 089/94**			**≤12%**
Abrasão "Los Angeles"	**18,4**	%	**DNER-ME 035/98**			**≤ 40%**
Adesividade do Ligante ao Agregado	**SATISFATÓRIA**		**DNER-ME-078/94**			
Equivalente de Areia	**61**	%	**DNER-ME 054/97**	**> 55 %**		

Observação:

RESUMO

Este documento, que é norma técnica, apresenta os procedimentos para a determinação da estabilidade e da fluência de misturas betuminosas de cimento asfáltico ou alcatrão, a quente, para uso em pavimentação, com agregado de tamanho de 25,4 mm máximo, por meio da aparelhagem Marshall. Apresenta definições, o preparo de corpos-de-prova e os procedimentos para a obtenção dos resultados.

ABSTRACT

This document presents the procedure for determination of the stability and flow of hot bituminous paving mixtures containing asphalt cement or tar, with aggregate up to 25,4 mm maximum size, by means of the Marshall apparatus. It presents definitions, test specimens preparation and procedures for obtaining results.

SUMÁRIO

0 Apresentação

1 Objetivo

2 Referências

3 Definições

4 Aparelhagem

5 Preparação de corpos-de-prova

6 Determinação da estabilidade e da fluência

7 Resultados

Anexo normativo

0 APRESENTAÇÃO

O presente documento é o resultado da revisão da DNER-ME 043/64, intitulada Ensaio Marshall para misturas betuminosas, com aperfeiçoamento técnico e adaptação à DNER-PRO 101/93, passando a designar Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall.

Macrodescritores MT: ensaio, ensaio em laboratório, método de ensaio, material betuminoso

Microdescritores DNER: ensaio, ensaio de laboratório, ensaio mecânico, mistura betuminosa

Palavras-chave IRRD/IPR: ensaio (6255), mistura betuminosa (4967), Marshall (6290),

Descritores SINORTEC: asfaltos, ensaio mecânico, ensaio de fluência

Aprovada pelo Conselho Administrativo do DNER em 29/11/95	Autor: DNER/DrDTc (IPR)
Resolução nº 151/95/, Sessão nº CA/ 41/95.	Revisão e Adaptação da DNER-ME 043/64
Processo nº 51 100 005797/94-6	à DNER-PRO 101/93.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

1 OBJETIVO

Este Método fixa o modo pelo qual se determina a estabilidade e a fluência de misturas betuminosas usinadas a quente, utilizando o aparelho Marshall.

2 REFERÊNCIAS

2.1 Referências bibliográficas

No preparo desta Norma foram consultados os seguintes documentos:

a) DNER-ME 043/64 - Ensaio Marshall para misturas betuminosas;

b) AASHTO Designation T 245-82 (1986) - Resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall apparatus;

c) ASTM D 1559/92 - Resistance to plastic flow of bituminous mixture using Marshall apparatus;

d) NBR 12891 - Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall.

3 DEFINIÇÕES

3.1 Estabilidade Marshall

Resistência máxima à compressão radial, apresentada pelo corpo-de-prova, quando moldado e ensaiado de acordo com o processo estabelecido neste método, expressa em N (kgf).

3.2 Fluência Marshall

Deformação total apresentada pelo corpo-de-prova, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milimetro (centésimos de polegada).

4 APARELHAGEM

Aparelhagem necessária:

a) prensa capaz de aplicar cargas até 39,2 kN (4000 kgf) com erro inferior de 24,5 N (2,5 kgf), mecânica ou manual, com embolo movimentando-se a uma velocidade de 5 cm por minuto, equipada com um anel dinamométrico com a capacidade de 22,2 kN (2265 kgf), com as sensibilidades de 44,5 N (4,5 kgf) até 4,45 kN (454 kgf) e de 111,2 N (11,34 kgf) entre 4,45 kN (454 kgf) e 22,2 kN (2265 kgf), equipado com um defletômetro, com graduação de 0,0025 mm, para medir encurtamentos e avaliação de carga;

b) 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. São recomendados três moldes (Figura 1);

c) repartidores de amostra de 1,3 cm e de 2,5 cm de abertura;

d) estufa ou placa elétrica capaz de manter temperaturas até 200 °C, com variação de ± 2 °C;

e) balança com capacidade de 5 kg, com resolução de 1 g, capaz de permitir pesagem hidrostática;

f) bandeja metálica de cerca de 50 cm x 30 cm x 5 cm;

g) extrator de corpo-de-prova, de aço, em forma de disco (Figura 1);

h) peneiras de 25 - 19 - 9,5 - 4,8 e de 2,0 mm de abertura, inclusive tampa e fundo, de acordo com a DNER-EM 035/95; intitulada Peneiras de malha quadrada para análise granulométrica;

i) colher de metal, com capacidade de (30-50) mL, possuindo cabo com cerca de 25 cm, semelhante a usada por jardineiro;

j) aparelhagem para mistura, preferencialmente mecânica, que produza uma ação homogênea, na temperatura e tempo requeridos, e que a retirada da mistura seja simples, sem perda de material. Em caso de mistura manual, devem ser utilizados recipientes em aço estampado, em forma de calota esférica, fundo chato e munido de duas alças laterais, com capacidade de cerca de 5 litros;

l) recipiente em aço estampado, cilíndrico, munido de asa lateral de material isolante térmico e bico vertedor. Capacidade de meio litro;

m) termômetro de vidro com proteção ou termômetro de haste metálica com mostrador circular, graduado em 2 °C, de (10 a 200) °C, para medir temperaturas de agregado, betume e mistura betuminosa;

n) termômetro graduado em 0,5 °C, de (20-70) °C, para medição em banho d'água ou ao ar;

o) espátula de aço, com ponta arredondada, com lâmina de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura;

p) base de compactação de acordo com a Figura 2. Deve ser instalada em nível, perfeitamente estável, livre de vibração ou trepidação;

q) soquete de compactação, de aço, com 4 540 g de massa e uma altura de queda livre de 45,72 cm. A face de compactação no pé do soquete é plana e circular (Figura 3). São recomendados dois soquetes;

Nota 1: O soquete de compactação deve possuir um "protetor de dedo".

r) medidor de fluência, com graduações de 0,25 mm (Figura 4);

s) paquímetro com exatidão de 0,1 mm;

t) banho d'água, com capacidade para 9 (nove) corpos-de-prova, provido de uma prateleira plana e perfurada, 50 mm acima do fundo, para permitir a circulação de água por baixo dos corpos-de-prova. O nível d'água deve ficar, no mínimo, 3 cm acima dos corpos-de-prova; o aquecimento deve ser, preferivelmente, elétrico, com controle automático de temperatura, para (60 ± 1) °C e para (38 ± 1) °C;

u) molde de compressão de aço (Figura 4);

v) luva de amianto, mão esquerda, com cinco dedos, com proteção de couro na face externa da palma e dos dedos;

x) relógio de alarme para intervalos de tempo até 60 minutos, com resolução de 1 minuto;

y) parafina, pincel e papel de filtro de diâmetro de 101,6 mm;

z) pinça de aço inoxidável ou de alumínio, para colocar e retirar os corpos-de-prova do banho d'água.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

5 PREPARAÇÃO DE CORPOS-DE-PROVA

5.1 Temperaturas de mistura e de compactação

5.1.1 A temperatura que o ligante deve ser aquecido, para ser misturado aos agregados, é aquela na qual apresenta uma viscosidade de (170 ± 20) cSt ou (85 ± 10) sSF para o cimento asfáltico ou a viscosidade específica Engler de 25 ± 3 para alcatrão.

5.1.2 A temperatura de compactação da mistura é aquela na qual o ligante apresenta uma viscosidade de (280 ± 30) cSt ou (140 ± 15) sSF para o cimento asfáltico, ou a viscosidade específica Engler de 40 ± 5 para o alcatrão.

5.2 Preparação das misturas

5.2.1 Preparar no mínimo três corpos-de-prova para cada dosagem de mistura betuminosa. Conhecidas as porcentagens, em massa, em que os agregados e o ligante betuminoso serão misturados, calcula-se a quantidade de cada um deles capaz de produzir um corpo-de-prova.

5.2.2 Secar os agregados até massa constante em estufa a (105 a 110) °C 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

5.2.3 Pesar os agregados para um corpo-de-prova, de cada vez, em recipientes separados, nas quantidades de cada fração obtida no item 5.2.2, que após mistura com o ligante produza corpo-de-prova com cerca de 1200 g e (63,5 ± 1,3) mm de altura.

5.2.4 O mesmo procedimento é aplicado para os outros corpos-de-prova.

5.2.5 A seguir, colocar os recipientes em placa quente ou em estufa e aquecer à temperatura de aproximadamente 10 °C a 15 °C acima da temperatura de aquecimento do ligante estabelecida de acordo com o item 5.1.1, não devendo ultrapassar a temperatura de 177 °C.

5.2.6 Misturar os agregados de cada recipiente, e em cada um deles abrir uma cratera para receber o ligante que deve ser aí pesado. Neste momento a temperatura dos agregados e do material betuminoso em cada recipiente deve estar dentro dos limites estabelecidos nos itens 5.1.1 e 5.2.5.

5.2.7 Efetuar a mistura rapidamente, de 2 a 3 minutos, até completa cobertura dos agregados, preferencialmente através de mistura mecânica, para ser colocada no molde de compactação.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Nota 2: Aquecer somente a quantidade de ligante necessária para um corpo-de-prova, e no máximo por 1 (uma) hora, evitando a aplicação muito intensa de calor. O recipiente contendo o ligante deve permanecer coberto durante o aquecimento.

5.3 Compactação de corpos-de-prova

5.3.1 O molde de compactação e a base do soquete devem estar limpos e aquecidos em água fervente, em estufa ou placa a (90 a 150) °C. Colocar o molde em posição no suporte de compactação (bloco de madeira) e introduzir nele uma folha de papel-filtro, cortado conforme a seção do molde. Colocar no molde a mistura, de uma só vez (2 min). Acomodar a mistura quente com 15 (quinze) golpes vigorosos de espátula no interior e ao redor do molde e 10 (dez) no centro da massa; remover o anel superior e alisar a mistura com uma colher ligeiramente aquecida.

Nota 3: A temperatura da mistura, imediatamente antes da compactação, deve estar nos limites fixados no item 5.1.2. A mistura deve ser recusada e a operação repetida se estiver fora desses limites de temperatura. Não se admite reaquecimento da mistura.

5.3.2 Recolocar o anel superior e aplicar com o soquete (Figura 4) determinado número 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.

Nota 4: O número de golpes deve ser de 75 (setenta e cinco) de cada lado do corpo-de-prova, o que deve constar do relatório de ensaio.

5.3.3 Após a compactação (item 5.3.2), o corpo-de-prova é retirado do anel inferior e cuidadosamente colocado numa superfície lisa e plana e deixado em repouso durante, no mínimo 12 h, à temperatura ambiente. Devem ser tomados cuidados no manuseio do corpo-de-prova para evitar fratura ou deformação. A altura do corpo-de-prova deve ser de (63,5 ± 1,3) mm, medida com o paquímetro em quatro posições diametralmente opostas. Adota-se como altura o valor da média aritmética das quatro leituras.

Nota 5: O resfriamento do corpo-de-prova, por água, desde que não haja contato direto com a água, pode ser utilizado quando houver necessidade de resultados imediatos.

6 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE E DA FLUÊNCIA

6.1 Os corpos-de-prova serão imersos em banho-maria a (60 ± 1) °C, para misturas com cimento asfáltico ou a (38 ± 1) °C, para misturas com alcatrão, por um período de 30 a 40 minutos. Como alternativa, podem ser colocados em estufa nas mesmas temperaturas pelo período de 2 (duas) horas.

6.2 Em seguida, cada corpo-de-prova é colocado no molde de compressão (Figura 4), que deve estar nas temperaturas de (21 a 38) °C, convenientemente limpo, e com os pinos-guias lubrificados.

6.3 O molde de compressão, contendo o corpo-de-prova, é posicionado na prensa segundo a geratriz e o medidor de fluência é colocado e ajustado na posição de ensaio.

6.4 A prensa é operada de tal modo que seu êmbolo se eleve a uma velocidade de 5 cm por minuto, até o rompimento do corpo-de-prova, o que é observado no defletômetro pela indicação de um máximo. A leitura deste máximo será anotada e convertida em N (kgf), pelo gráfico de calibração do anel dinamométrico.

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

6.5 A carga, em N (kgf), necessária para produzir o rompimento do corpo-de-prova à temperatura especificada (item 6.1), é anotada como "estabilidade lida". Este valor deverá ser corrigido para a espessura do corpo-de-prova ensaiado, multiplicando-se-o por um fator que é função da espessura do corpo-de-prova (ver Tabela) ou através da fórmula a seguir:

$f = 927{,}23\ h^{-1{,}64}$

onde

f - fator;

h - espessura do corpo-de-prova

O resultado assim obtido é o valor da estabilidade Marshall.

Nota 6: O espaço de tempo entre a retirada do corpo-de-prova do banho e o seu rompimento não deve exceder de 30 segundos.

6.6 O valor da fluência é obtido simultaneamente ao da estabilidade. Durante a aplicação da carga, a luva-guia do medidor de fluência será firmada, com a mão, contra o topo do segmento superior do molde de compressão, diretamente sobre um dos pinos-guia. A pressão da mão sobre a luva do medidor de fluência deve ser relaxada, no momento em que se der o rompimento do corpo-de-prova, ocasião em que será lido e anotado o valor da fluência.

6.7 A fluência pode também ser obtida pela substituição do medidor de fluência por um defletômetro.

7 RESULTADOS

7.1 A estabilidade é dada pela carga média, em N (kgf), de pelo menos três corpos-de-prova.

7.2 A fluência é a média dos valores obtidos em pelo menos três corpos-de-prova, expressa em 0,25 mm.

7.3 Indicar o tipo de amostra ensaiada (amostra de laboratório ou corpo-de-prova extraído de pavimento).

7.4 Temperatura de ensaio.

/Anexo

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

ANEXO NORMATIVO

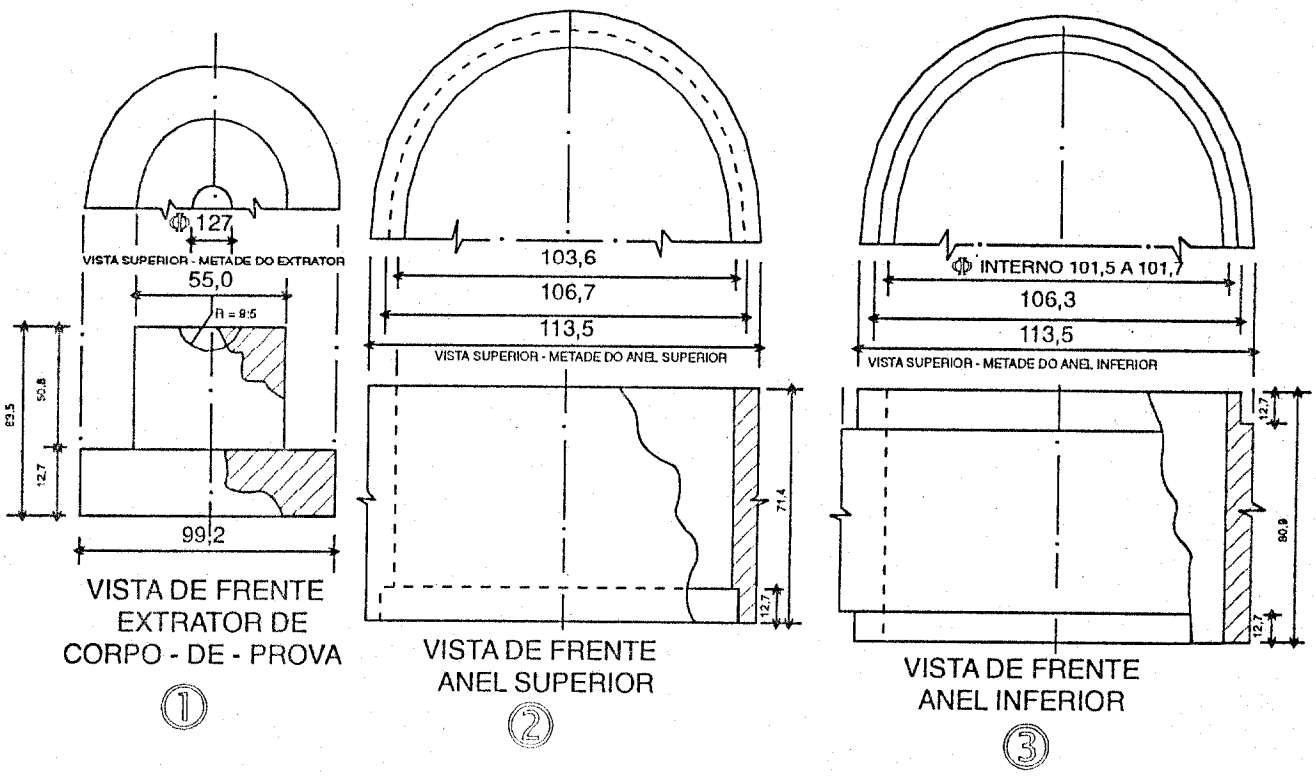
TABELA - CORREÇÃO DA ESTABILIDADE, EM FUNÇÃO DA ESPESSURA DO CORPO-DE-PROVA

ESPESSURA (mm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR	ESPESSURA (cm)	FATOR
50,8	1,47	56,3	1,22	64,3	0,98
51,0	1,45	56,6	1,21	64,7	0,97
51,2	1,44	56,8	1,20	65,1	0,96
51,6	1,43	57,12	1,19	65,6	0,95
51,8	1,42	57,4	1,18	66,1	0,94
52,0	1,41	57,7	1,17	66,7	0,93
52,2	1,40	58,1	1,16	67,1	0,92
52,4	1,39	58,4	1,15	67,5	0,91
52,6	1,38	58,7	1,14	67,9	0,90
52,9	1,37	59,0	1,13	68,3	0,89
53,1	1,36	59,3	1,12	68,8	0,88
53,3	1,35	59,7	1,11	69,3	0,87
53,5	1,34	60,0	1,10	69,9	0,86
53,8	1,33	60,3	1,09	70,3	0,85
54,0	1,32	60,6	1,08	70,8	0,84
54,2	1,31	60,9	1,07	71,4	0,83
54,5	1,30	61,1	1,06	72,2	0,82
54,7	1,29	61,4	1,05	73,0	0,81
54,9	1,28	61,9	1,04	73,5	0,80
55,1	1,27	62,3	1,03	74,0	0,79
55,4	1,26	62,7	1,02	74,6	0,78
55,6	1,25	63,1	1,01	75,4	0,77
55,8	1,24	63,5	1,00	76,2	0,76
56,1	1,23	63,9	0,99		

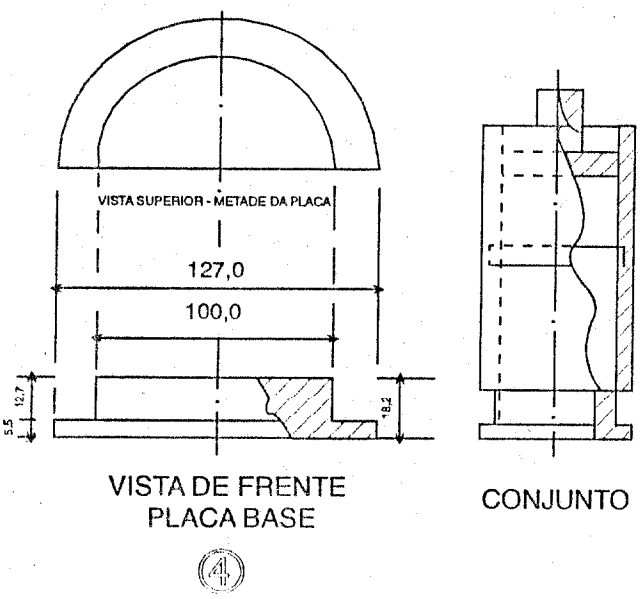
Figura 1

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte



UNIDADE DE MEDIDA: MILÍMETRO (mm)



RELAÇÃO DAS PEÇAS				
ITEM	QUANTIDADE	DESCRIÇÃO	MATERIAL	PESO
1	1	EXTRATOR DE AMOSTRAS	AÇO	1225g
2	1	ANEL SUPERIOR	"	950g
3	1	ANEL INFERIOR	"	1315g
4	1	PLACA BASE	"	1315g

ENSAIO DE ESTABILIDADE MARSHALL

Figura 1 - MOLDE DE COMPACTAÇÃO E EXTRATOR DE CORPOS - DE - PROVA

Figura 2

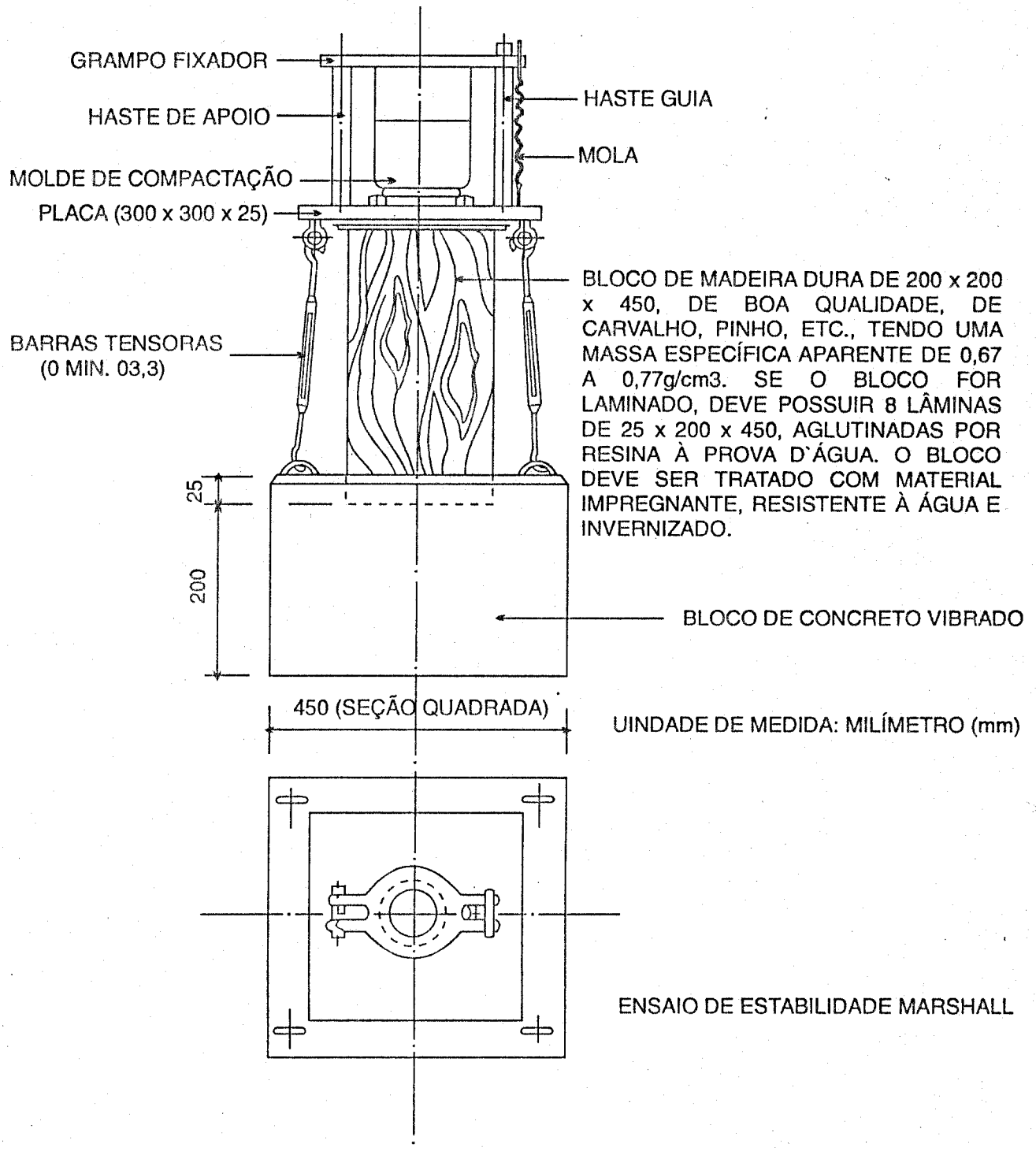
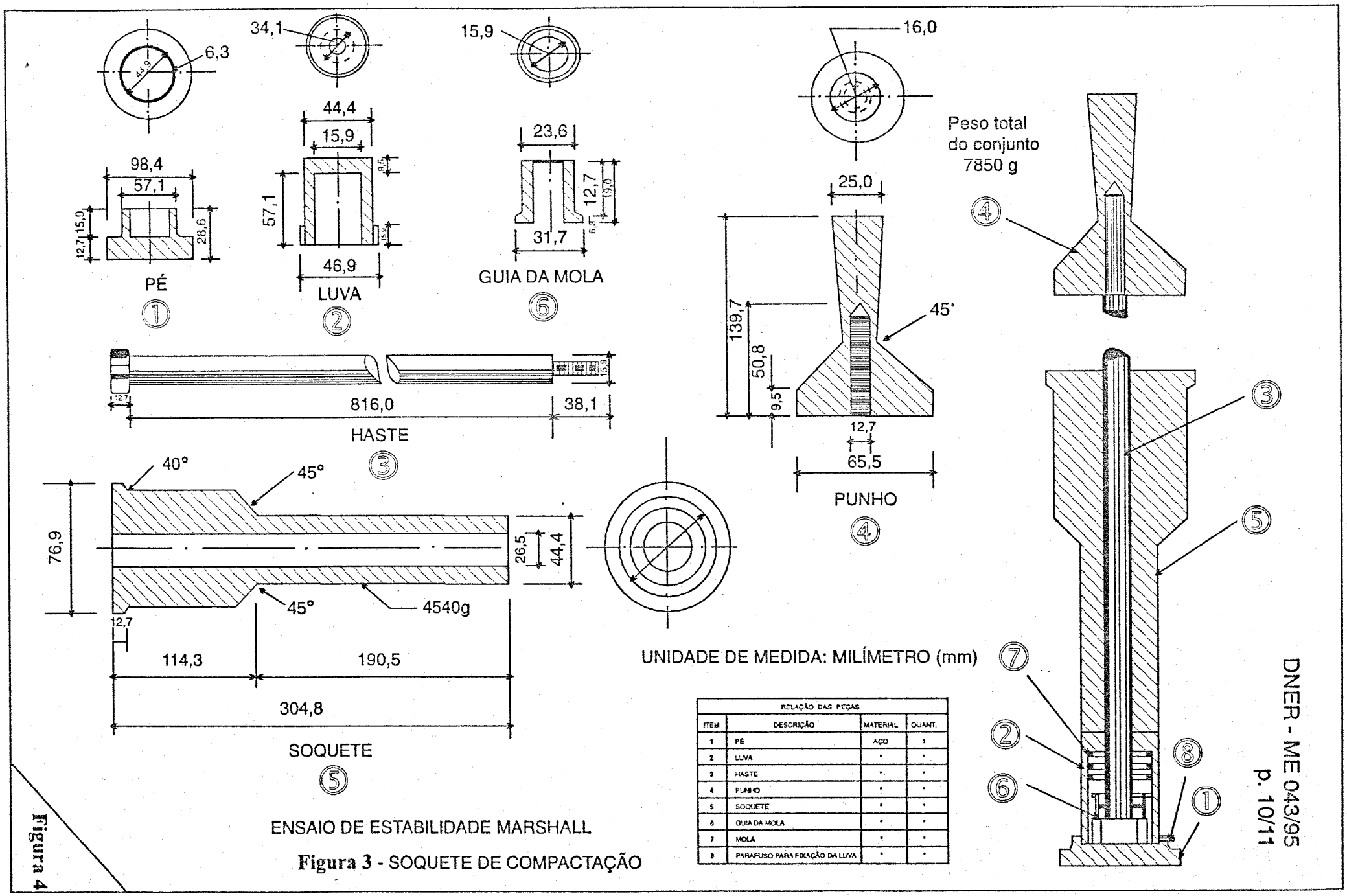


Figura 2 - BASE DE COMPACTAÇÃO

Figura 3

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte

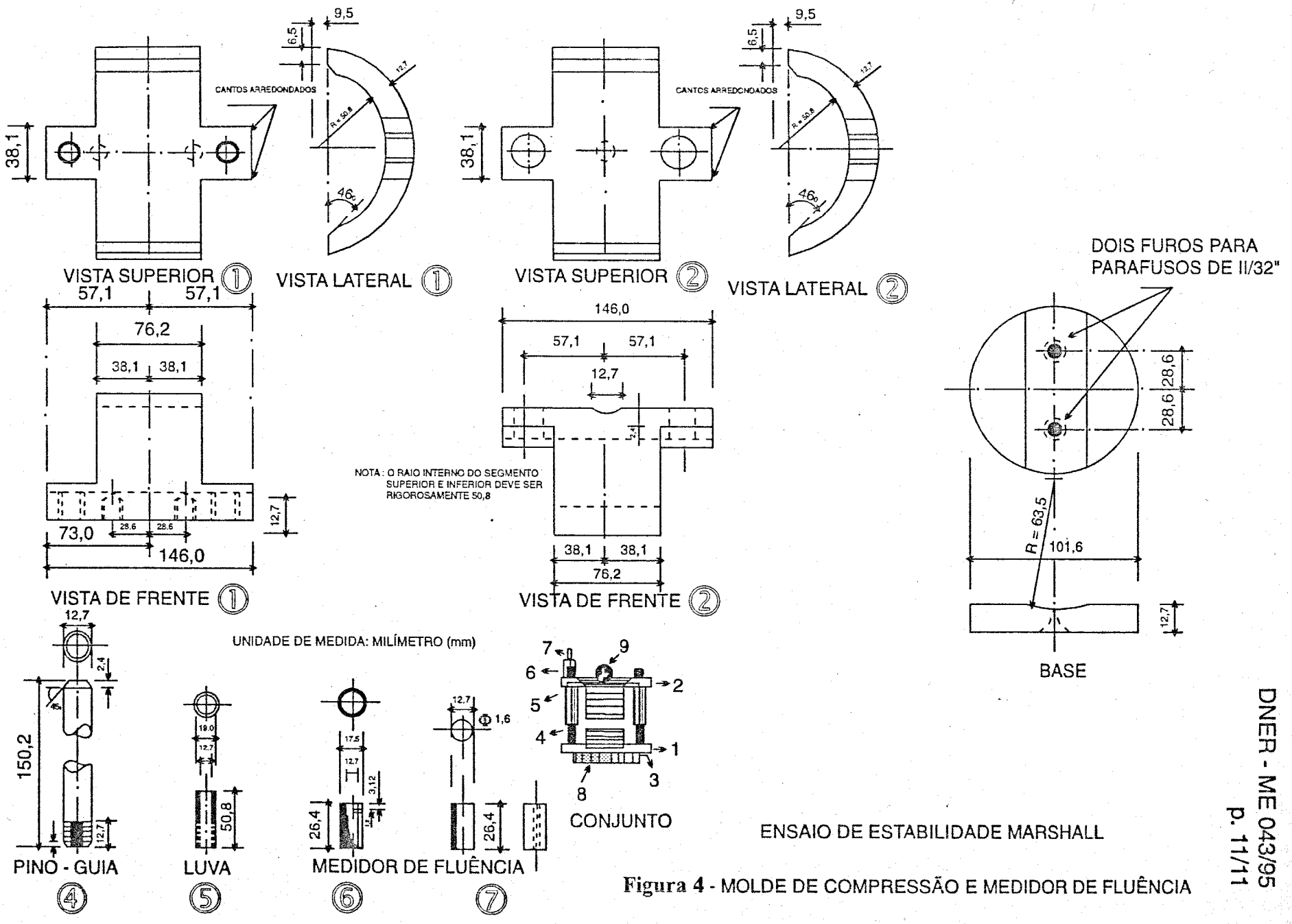
Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte



RELAÇÃO DAS PEÇAS			
ITEM	DESCRIÇÃO	MATERIAL	QUANT.
1	PÉ	AÇO	1
2	LUVA	•	•
3	HASTE	•	•
4	PUNHO	•	•
5	SOQUETE	•	•
6	GUIA DA MOLA	•	•
7	MOLA	•	•
8	PARAFUSO PARA FIXAÇÃO DA LUVA	•	•

Figura 3 - SOQUETE DE COMPACTAÇÃO

Reprodução permitida desde que citado o DNER como fonte



ENSAIO DE ESTABILIDADE MARSHALL

Figura 4 - MOLDE DE COMPRESSÃO E MEDIDOR DE FLUÊNCIA

Ao Eng.º Lincoln Salgado

Prezado senhor,

Conforme solicitado, foram realizados os ensaios de **MODULO DE RESILIENCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL CICLICA** conforme metodologia **DNIT 135/2010**, onde:

- Os corpos de prova foram recebidos em embalagem de papelão, removidos da embalagem e renomeados em razão do tipo de ligante, conforme padrão de procedimento interno:

Tipo de Ligante	**NUMERAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA**		
CAP – 50/70	CP – 1	CP – 2	CP – CR
CAP – SBS 65/90	CP – 1	CP – 2	CP – MR

- Posteriormente foram aferidas suas características físicas;

PARA A REALIZAÇÃO DO ENSAIO DE DETERMNAÇÃO DO MODULO DE RESILIENCIA POR COMPRESSÃO DIAMETRAL CICLICA:

O equipamento utilizado possui um sistema pneumático de carregamento que permite a aplicação de uma carga vertical repetida na amostra utilizando-se um temporizador eletrônico acoplado que controla o tempo atuação da pressão e a frequência da aplicação da carga. Os deslocamentos são medidos por *LVDT-linear variable diferencial transformer.* Vale ressaltar o controle de temperatura automatizado do equipamento.

PROCEDIMENTO:

- Posicionamento dos corpos de prova e fixação dos *LVDTs;*

- Assentamento do pistão de carga;

- Acondicionamento e aplicação dos ciclos de carregamento;

- Anotação dos resultados encontrados para cálculo.

RESULTADOS

Conforme cálculos os resultados obtidos foram:

MATERIAL	**CAP**	**RESISTENCIA À TRAÇÃO (RT)**		**MODULO DE RESILIENCIA (MR)**		**MR/RT**
		MPa	**Kgf/cm²**	**MPa**	**Kgf/cm²**	
CBUQ	50/70	1,13	11,30	3650,00	36500,00	3230,09
CBUQ	65/90	1,27	12,70	4840,00	48400,00	3811,02

Sendo o que tínhamos para o momento firmamos votos de apreço.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA EXECUTIVA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3545-4600

Novembro/2010	NORMA DNIT 136/2010 - ME

Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR
Processo: 50607.000138/2009-02

Origem: Revisão da Norma DNER - ME 138/94.

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 17/11/2010.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Misturas asfálticas, Resistência, Tração	6

Resumo

Este documento estabelece os procedimentos metodológicos para determinar a resistência à tração por compressão diametral de misturas asfálticas.

Abstract

This document presents the procedure for determination of the splitting tensile strength of cylindrical specimens of asphaltics mixtures.

Sumário

Prefácio 1
1 Objetivo 1
2 Referência normativa 1
3 Aparelhagem 1
4 Amostra 2
5 Execução do ensaio 2
6 Resultado 2
Anexo A (Normativo) Figura 1 3
Anexo B (Normativo) Figura 2 4
Anexo C (Informativo) Bibliografia 5
Índice geral 6

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DIREX, para servir como documento base, visando estabelecer os procedimentos para a realização de ensaio para a determinação da resistência à tração por compressão diametral. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO, cancela e substitui a Norma DNER-ME 138/94.

1 Objetivo

Este método prescreve o modo pelo qual se determina a resistência à tração de corpos-de-prova cilíndricos de misturas asfálticas, através do ensaio de compressão diametral.

2 Referência normativa

O documento a seguir foi utilizado na formatação da presente Norma:

DNIT 001/2009-PRO: Elaboração e apresentação de normas do DNIT – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

3 Aparelhagem

A aparelhagem necessária é a seguinte:

a) Prensa mecânica, com sensibilidade inferior ou igual a 19,60 N (ou 2,0 kgf), com êmbolo movimentando-se a uma velocidade de 0,8 ± 0,1 mm/s;

b) Estufa capaz de manter a temperatura entre 25º C e 60º C;

c) Sistema de refrigeração capaz de manter a temperatura em torno de 25º C;

d) Paquímetro.

4 Amostra

O corpo-de-prova destinado ao ensaio pode ser obtido diretamente na pista por extração, por meio de sonda rotativa, ou moldado em laboratório (Marshall), de forma cilíndrica, com altura entre 3,50 cm e 6,50 cm e diâmetro de 10 ± 0,2 cm.

5 Execução do ensaio

a) Medir a altura (H) do corpo-de-prova com paquímetro, em quatro posições equidistantes. Adotar como altura o valor da média aritmética das quatro leituras;

b) Medir o diâmetro (D) do corpo-de-prova com o paquímetro, em três posições paralelas. Adotar como diâmetro o valor da média aritmética das três leituras;

c) Colocar o corpo-de-prova na estufa ou sistema de refrigeração, por um período de 2 (duas) horas, de modo a se obter a temperatura específica de 25ºC ± 0,1ºC.

Após esse período, o corpo de prova é colocado com sua superfície cilíndrica entre dois frisos metálicos, curvos em uma das faces, com comprimento igual ao do corpo-de-prova, conforme ilustra a Figura 1, do Anexo A e Figura 2, do Anexo B. Ajustar os pratos da prensa até que seja obtida uma leve compressão, capaz de manter a posição do corpo-de-prova;

d) Aplicar a carga progressivamente, com uma velocidade de deformação de 0,8 ± 0,1 mm/s, até que se dê a ruptura, por separação das duas metades do corpo-de-prova, segundo o plano diametral vertical;

e) Anotar o valor da carga de ruptura (F).

6 Resultado

Com o valor obtido é calculada a resistência à tração do corpo-de-prova rompido por compressão diametral, através da expressão:

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi D H}$$

Onde:

σ_R – resistência à tração, em kgf/cm^2;

F – carga de ruptura, em kgf;

D – diâmetro de corpo-de-prova, em cm;

H – altura do corpo-de-prova, em cm.

Ou da expressão:

$$\sigma_R = \frac{2F}{100\,\pi D H}$$

Onde:

σ_R – resistência à tração, em MPa;

F – carga de ruptura, em N;

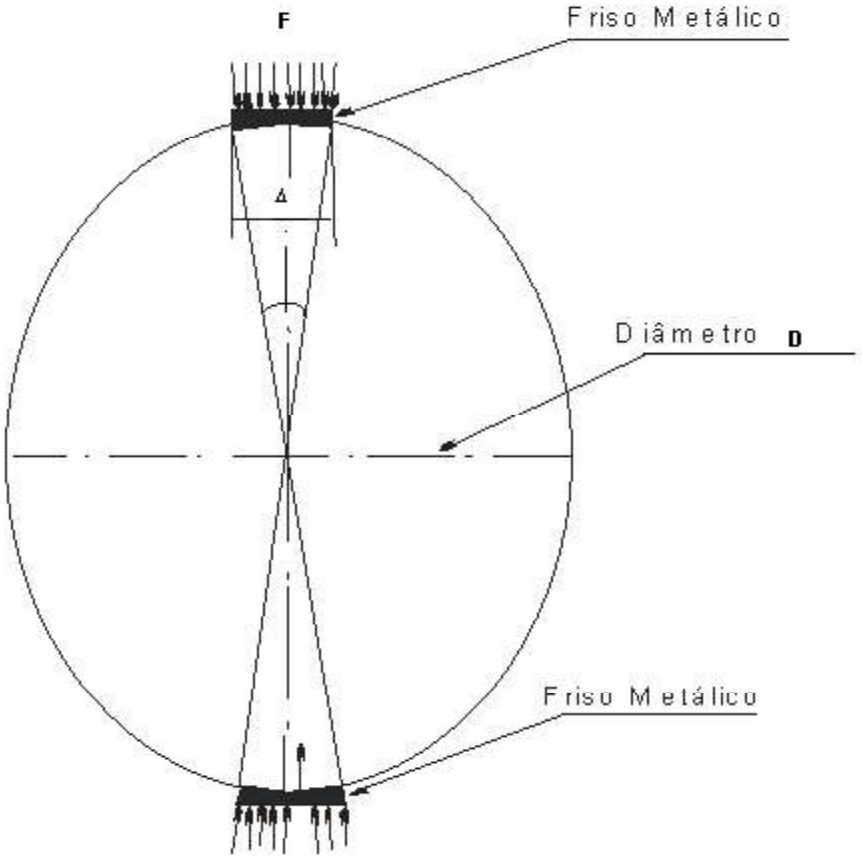
D – diâmetro de corpo-de-prova, em cm;

H – altura do corpo-de-prova, em cm.

/Anexo A

Anexo A (Normativo)

Figura 1 – Ensaio de Compressão Diametral de Corpo-de-Prova Cilíndrico

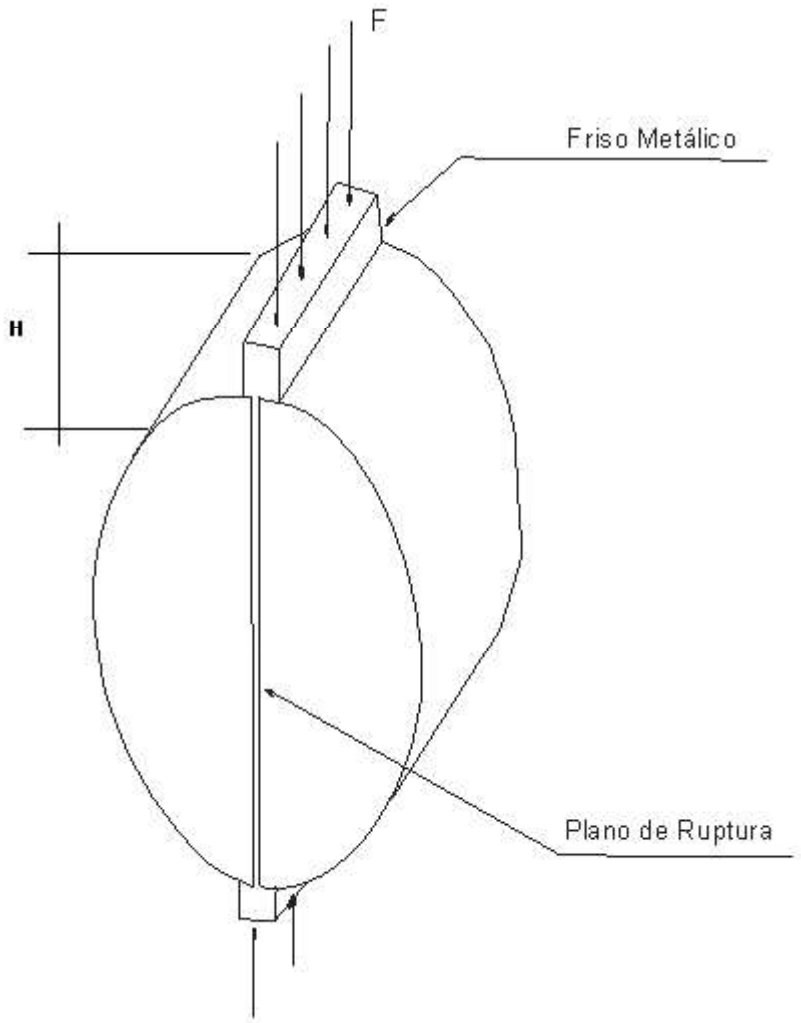


Δ - Corda do Friso (12,7 mm)
F - Carga Aplicada

_____/Anexo B

Anexo B (Normativo)

Figura 2 – Ensaio de Compressão Diametral de Corpo-de-Prova Cilíndrico



_____/Anexo C

Anexo C (Informativo)

Bibliografia

a) PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. *Módulos resilientes de concretos asfálticos*. Rio de Janeiro: IPR, 1980.

b) PREUSSLER, E. S.; PINTO, S. *Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis considerando a resiliência*. Rio de Janeiro: IPR, 1982.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract		1
Amostra	4	2
Anexo A (Normativo) –		
Figura 1		3
Anexo B (Normativo)		
Figura 2		4
Anexo C (Informativo) Bibliografia		5
Aparelhagem	3	1
Execução do Ensaio	5	2
Índice geral		6
Objetivo	1	1
Prefácio		1
Referência normativa	2	1
Resultado	6	2
Resumo		1
Sumário		1

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES

DIRETORIA-GERAL

DIRETORIA EXECUTIVA

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS
Rodovia Presidente Dutra, km 163
Centro Rodoviário – Vigário Geral
Rio de Janeiro – RJ – CEP 21240-000
Tel/fax: (21) 3545-4600

Novembro/2010	NORMA DNIT 135/2010 - ME

Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas - Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio

Autor: Instituto de Pesquisas Rodoviárias - IPR
Processo: 50607.000138/2009-02

Origem: Revisão da Norma DNER - ME 133/94.

Aprovação pela Diretoria Colegiada do DNIT na reunião de 17/11/2010.

Direitos autorais exclusivos do DNIT, sendo permitida reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte (DNIT), mantido o texto original e não acrescentado nenhum tipo de propaganda comercial.

Palavras-chave:	Nº total de páginas
Misturas asfálticas, Módulo de resiliência	6

Resumo

Este documento estabelece os procedimentos metodológicos para determinar o módulo de resiliência de misturas asfálticas, de utilidade para projeto de pavimentos asfálticos. Prescreve a aparelhagem usada e condições para obtenção do resultado.

Abstract

This document presents the procedure for determination of the resilient modulus of asphalt mixtures for asphaltic pavement design. It prescribes the apparatus and conditions for the obtention of result.

Sumário

Prefácio 1

1 Objetivo 1

2 Referência normativa 1

3 Definição 1

4 Aparelhagem 2

5 Amostra 2

6 Ensaio 2

7 Resultados 2

Anexo A (Normativo) Figura 4

Anexo B (Informativo) Bibliografia 5

Índice geral 6

Prefácio

A presente Norma foi preparada pelo Instituto de Pesquisas Rodoviárias – IPR/DIREX, para servir de documento base, visando estabelecer os procedimentos para a realização de ensaio para determinação do módulo de resiliência de misturas asfálticas. Está formatada de acordo com a Norma DNIT 001/2009-PRO, cancela e substitui a Norma DNER-ME 133/94.

1 Objetivo

Este método prescreve o modo pelo qual se determina o módulo de resiliência de misturas asfálticas, a 25 ºC, utilizando o equipamento de compressão diametral de carga repetida.

2 Referência normativa

O documento relacionado a seguir foi utilizado na formatação desta Norma:

DNIT 001/2009-PRO: Elaboração e apresentação de normas do DNIT – Procedimento. Rio de Janeiro: IPR, 2009.

3 Definição

O módulo de resiliência (MR) de misturas asfálticas é a relação entre a tensão de tração (σ_τ) aplicada

repetidamente no plano diametral vertical de uma amostra cilíndrica de mistura asfáltica e a deformação específica recuperável (ε_τ) correspondente à tensão aplicada.

$$MR = \left(\frac{\sigma_\tau}{\varepsilon_\tau}\right)$$

4 Aparelhagem

Está esquematizada na Figura 1 do anexo A, sendo constituída de:

a) Prensa – montantes, base e cabeça, com calha de apoio e frisos de aplicação de carga;

b) Sistema pneumático de carregamento, composto de:

- Regulador de pressão a ar comprimido, para aplicação da carga vertical repetida (F);
- Válvula de três vias de transmissão da carga vertical;
- Cilindro de pressão, pistão de carga e friso;
- Temporizador eletrônico, para controle do tempo de abertura (ou carregamento) da válvula e freqüência de aplicação da carga vertical.

c) Sistema de medição de deformação (deslocamento diametral horizontal) do corpo-de-prova, constituído de:

- Um ou dois transdutores mecano-eletromagnéticos tipo LVDT ("linear variable differential transformer") de contato;
- Quadro-suporte para fixação dos LVDT, preso por garras, ao longo dos diâmetros horizontais das faces do corpo-de-prova cilíndrico;
- Microcomputador para registro do sinal do (s) LVDT.

O princípio de funcionamento dos transdutores LVDT consiste em transformar as deformações, durante o carregamento repetido, em potencial elétrico, cujo valor é registrado no microcomputador. Uma pré-calibração é necessária, a fim de correlacionar as deformações com os valores dos registros;

d) Sistema automático de refrigeração e aquecimento, com termostato, constituído de câmara de isopor, lâmpadas incandescentes, termopares elétricos, fonte de frio com serpentinas e ventilador de insuflação de ar frio da câmara.

5 Amostra

O corpo-de-prova destinado ao ensaio pode ser retirado diretamente da pista por extração, por meio de sonda rotativa ou moldado em laboratório, de forma cilíndrica, com altura entre 3,50 cm e 6,50 cm e diâmetro de 10 ± 0,2 cm.

6 Ensaio

a) Prender o quadro-suporte, por meio de duas garras, nas faces extremas do corpo-de-prova cilíndrico, que deve estar apoiado em sua superfície cilíndrica segundo uma geratriz;

b) Colocar o corpo-de-prova na base da prensa, apoiado no friso côncavo inferior;

c) Assentar o pistão de carga com o friso superior em contato com o corpo-de-prova, diametralmente oposto ao friso inferior;

d) Fixar e ajustar os transdutores LVDT, de modo a obter o registro no microcomputador, no início da escala linear dos mesmos.

7 Resultados

Com os valores obtidos, são calculados os módulos de resiliência, através da expressão:

$$MR = \frac{F}{\Delta H} \qquad (0{,}9976\,\mu + 0{,}2692)$$

Onde:

MR- módulo de resiliência, em kgf/ cm^2;

F - carga vertical repetida aplicada diametralmente no corpo-de-prova, em kgf;

Δ - deformação elástica ou resiliente registrada no microcomputador, para aplicações da carga (F), em cm;

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

μ - coeficiente de Poisson;

Ou, para F em Newton:

$$MR = \frac{F}{100\,\Delta H} \qquad (0{,}9976\,\mu + 0{,}2692)$$

MR - módulo de resiliência, em MPa;

F - carga vertical repetida aplicada diametralmente no corpo-de-prova, em N;

Δ - deformação elástica ou resiliente registrada no microcomputador, para aplicações da carga (F), em cm;

H - altura do corpo-de-prova, em cm;

μ - coeficiente de Poisson.

Notas:

1 Recomenda-se valor de 0,30 para o coeficiente de Poisson;

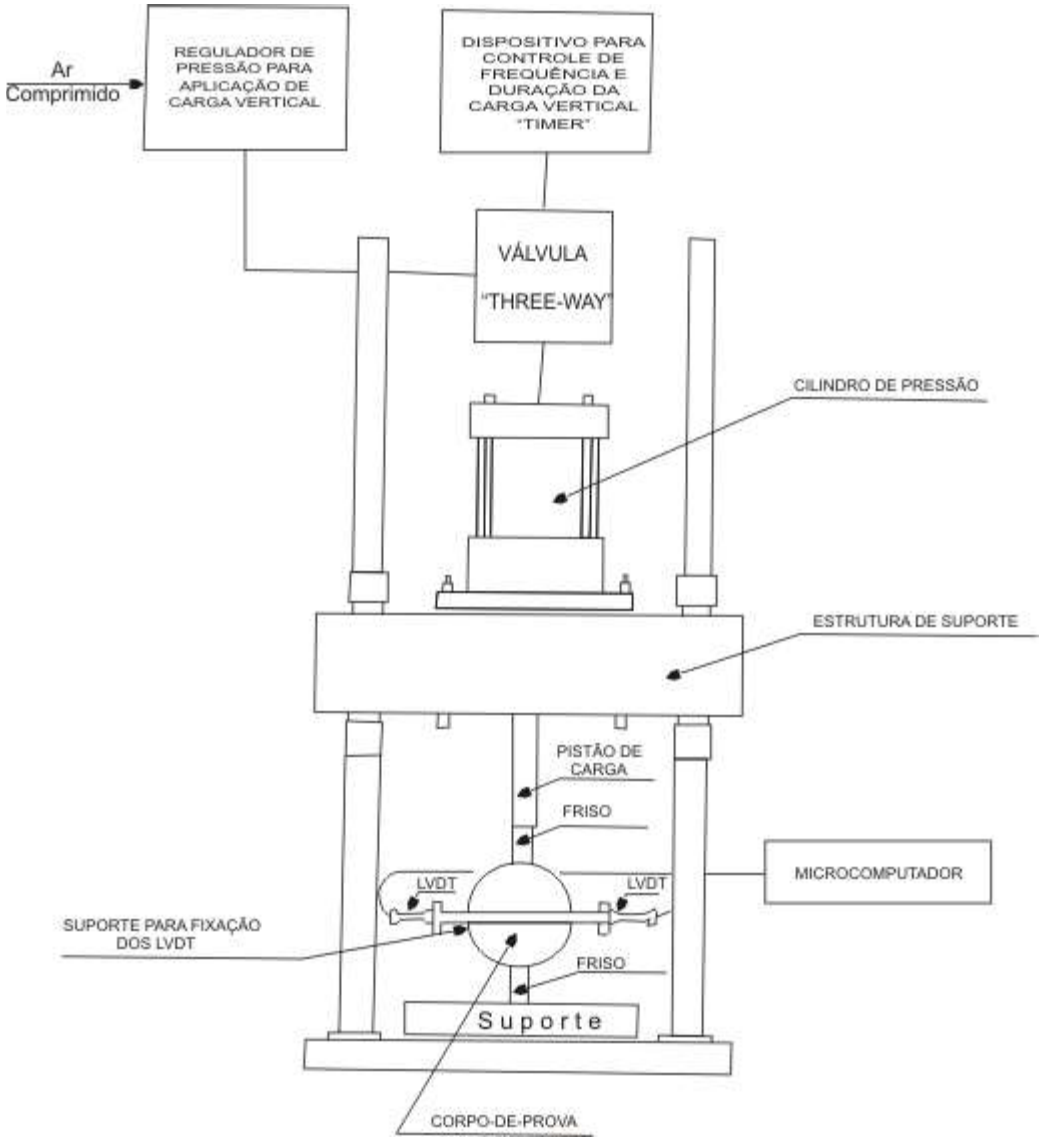
2 O módulo de resiliência do corpo-de-prova ensaiado deve ser a média aritmética dos valores determinados para aplicações de carga (F);

3 Quando a temperatura de ensaio não for especificada, o módulo de resiliência deve ser determinado na temperatura de 25 ºC ± 1 ºC.

_____/ Anexo A

Anexo A (Normativo)

Figura 1 - Aparelhagem para Determinação do Módulo de Resiliência de Misturas Asfálticas



_____/Anexo B

Anexo B (Informativo)

Bibliografia

a) PINTO, S.; PREUSSLER, E. S. *Módulos resilientes de concretos asfálticos*. Rio de Janeiro: IPR, 1980.

b) PREUSSLER, E. S.; PINTO, S. *Proposição de método para projeto de reforço de pavimentos flexíveis considerando a resiliência*. Rio de Janeiro: IPR, 1982.

_____/Índice geral

Índice geral

Abstract		1
Amostra	5	2
Anexo A (Normativo)		
Figura 1		4
Anexo B (Informativo)		
Bibliografia		5
Aparelhagem	4	2
Definição	3	1
Ensaio	6	2
Índice geral		6
Objetivo	1	1
Prefácio		1
Referência normativa	2	1
Resultados	7	2
Resumo		1
Sumário		1