

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA – UNIFOR-MG
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
HENRIQUE BARBOSA FARIA

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CBUQ COM DIFERENTES AGREGADOS
COMBINADOS AO CIMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL E POLIMÉRICO**

FORMIGA – MG

2015

HENRIQUE BARBOSA FARIA

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CBUQ COM DIFERENTES AGREGADOS
COMBINADOS AO CIMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL E POLIMÉRICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Paulo José Silva

FORMIGA – MG

2015

F224 Faria, Henrique Barbosa.
Análise do comportamento do CBUQ com diferentes agregados
combinados ao cimento asfáltico convencional e polimérico / Henrique
Barbosa Faria. – 2015.
44 f.

Orientador: Paulo José Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR-MG, Formiga, 2015.

1. Pavimentos flexíveis. 2. Asfalto. 3. Agregados. I. Título.

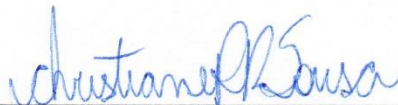
CDD 625.8

HENRIQUE BARBOSA FARIA

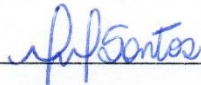
ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DO CBUQ COM DIFERENTES AGREGADOS
COMBINADOS AO CIMENTO ASFÁLTICO CONVENCIONAL E POLIMÉRICO

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-
MG, como requisito parcial para obtenção do
título de bacharel em Engenharia Civil.
Orientador: Prof. Dr. Paulo José Silva

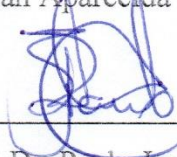
BANCA EXAMINADORA



Prof. Ma. Christiane Pereira Rocha Sousa



Prof. Dra. Mirian Aparecida Isidro dos Santos



Prof. Dr. Paulo José Silva

Formiga, 11 de novembro de 2015

RESUMO

Devido à grande variedade de produtos asfálticos disponíveis no ramo da pavimentação no mercado brasileiro e a diversidade de agregados minerais na região da cidade de Campo Belo no estado de Minas Gerais, foi proposta a análise do concreto betuminoso usinado a quente com agregados de gnaiss e CAP 30/45 convencional, agregados de gnaiss com CAP 60/85 com adição de polímeros SBS (estireno-butadieno-estireno), agregados de calcário com CAP 30/45 e agregados de calcário com CAP 60/85, sendo feita a comparação dos resultados e identificados os materiais mais vantajosos com relação à estabilidade Marshall, fluência, volume de vazios, vazios cheios de betume, vazios do agregado mineral, relação de vazios betume, densidade máxima teórica e densidade aparente pelo ensaio de Marshall, sendo que o CAP 60/85 obteve estabilidade e fluência maiores, com 32,09% e 42,09% respectivamente entre os CAPs e entre os agregados, o gnaiss se comportou melhor com relação à estabilidade com 7,91% acima e o calcário obteve fluência 10,08% maior.

Palavras-chave: Pavimentos flexíveis. Asfalto. Agregados.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CAMADAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO	13
FIGURA 2 - PROCESSO DE DESTILAÇÃO DO PETRÓLEO BRUTO	14
FIGURA 3 - USINA DE ASFALTO VOLUMÉTRICA DE CONTRA-FLUXO	19
FIGURA 4 - USINA DE ASFALTO VOLUMÉTRICA DE CONTRA-FLUXO	19
FIGURA 5 - BRITA GNÁISSICA DE CAMPO BELO/MG.....	23
FIGURA 6 - PÓ DE PEDRA GNÁISSICO DE CAMPO BELO/MG	24
FIGURA 7 - BRITA CALCÁRIA DE CAMPO BELO/MG	24
FIGURA 8 - PÓ DE PEDRA CALCÁRIO DE CAMPO BELO/MG.....	25
FIGURA 9 - ENSAIO GRANULOMÉTRICO.....	26
FIGURA 10 - ESTUFA PARA SECAGEM DOS AGREGADOS E AQUECIMENTO DO CAP	27
FIGURA 14 - COMPACTAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	28
FIGURA 15 - CORPOS DE PROVA COMPACTADOS	28
FIGURA 16 - APARELHO BANHO MARIA PARA AQUECIMENTO DOS CORPOS DE PROVA	31
FIGURA 17 - PRENSA PARA DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE MARSHALL	32
GRÁFICO 1 - CURVA GRANULOMÉTRICA DOS AGREGADOS UTILIZADOS NO ENSAIO	33
GRÁFICO 2 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA ESTABILIDADE OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL	39
GRÁFICO 3 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA FLUÊNCIA OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL	40
GRÁFICO 4 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA ESTABILIDADE OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL	41
GRÁFICO 5 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA FLUÊNCIA OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL	42

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESPECIFICAÇÕES DOS CIMENTOS ASFÁLTICOS DE PETRÓLEO (CAP) - CLASSIFICAÇÃO POR PENETRAÇÃO	15
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO MODIFICADO POR POLÍMERO ELASTOMÉRICO.....	17
TABELA 3 - FAIXAS GRANULOMÉTRICAS E REQUISITOS PARA CONCRETO ASFÁLTICO	20
TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS PARA EXECUÇÃO DE CBUQ	20
TABELA 5 - GRANULOMETRIA UTILIZADA	34
TABELA 6 - RESULTADOS OBTIDOS - CAP 60/85 E AGREGADO DE GNAISSE.....	35
TABELA 7 - RESULTADOS OBTIDOS - CAP 30/45 E AGREGADO DE GNAISSE.....	36
TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS - CAP 60/85 E AGREGADO DE CALCÁRIO.....	37
TABELA 9 - RESULTADOS OBTIDOS - CAP 30/45 E AGREGADO DE CALCÁRIO.....	38
TABELA 10 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA ESTABILIDADE OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL.....	39
TABELA 11 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA FLUÊNCIA OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL.....	40
TABELA 12 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA ESTABILIDADE OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL.....	41
TABELA 13 - MÉDIA DOS RESULTADOS DA FLUÊNCIA OBTIDOS NO ENSAIO MARSHALL.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS

API	American Petroleum Institute
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAP	Cimento asfáltico de petróleo
CBUQ	Concreto betuminoso usinado a quente
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
CS ₂	Dissulfeto de Carbono
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EM	Especificação de Material
ES	Especificação de Serviço
g	Grama
kg	Quilograma
kgf	Quilograma-força
Kn	Quilo Newton
ME	Método de Ensaio
ml	Mililitro
mm	Milímetro
MPa	Megapascal
N	Newton
°C	Grau Celsius
PRO	Procedimento
SBR	Estireno-Butadieno-Rubber
SBS	Estireno-Butadieno-Estireno
V	Volume
ρ	Densidade

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
2 JUSTIFICATIVA	10
3 OBJETIVOS.....	11
3.1 OBJETIVO GERAL.....	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
4.1 PAVIMENTAÇÃO	12
4.1.1 ASFALTO	13
4.1.2 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP).....	14
4.1.3 CAP MODIFICADO POR POLÍMERO	16
4.1.4 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ).....	17
4.2 AGREGADOS	21
4.2.1 GNAISSE	21
4.2.2 CALCÁRIO.....	21
4.2.3 GRANULOMETRIA	21
4.2.3.1 AGREGADOS GRAÚDOS	22
4.2.3.2 AGREGADOS MIÚDOS.....	22
4.2.3.3 FÍLER.....	22
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
5.1 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS.....	23
5.1.1 AGREGADOS.....	23
5.1.1.1 ENSAIO GRANULOMÉTRICO	25
5.1.2 ENSAIO MARSHALL.....	26
6.1.2.1 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE MARSHALL E DA FLUÊNCIA	31
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	33
7.1 GRANULOMETRIA	33
7.2 ENSAIO MARSHALL	34
7.2.1 COMPARATIVO ENTRE CAP 30/45 E CAP 60/85.....	38
7.2.2 COMPARATIVO ENTRE AGREGADOS DE CALCÁRIO E AGREGADOS DE GNAISSE	40
8 CONCLUSÃO.....	43
9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

1 INTRODUÇÃO

O início da pavimentação asfáltica no Brasil é datado do final do século XVIII, quando, sob a supervisão dos engenheiros da Escola de Engenharia de Lisboa, foi construída a estrada ligando o Planalto Paulista ao porto de Santos, recebendo o nome de Calçada de Lorena, em homenagem ao seu idealizador, o Governador da Capitania de São Paulo, Bernardo José de Lorena.

A função do pavimento asfáltico é dar uma superfície regular, aderente e com baixo ruído diante da ação dos pneus dos veículos, garantindo assim, uma redução de custos de operação em manutenção mecânica, maior velocidade nos deslocamentos e principalmente a segurança e conforto dos seus usuários.

Conforme Pesquisa Confederação Nacional dos Transportes (CNT) de Rodovias 2014, dos 98.475 quilômetros de rodovias estaduais e federais pesquisados, 49,90%, ou seja, 49.139 quilômetros apresentam algum tipo de deficiência no pavimento, como buracos, trincas, ondulações, afundamentos ou remendos.

Estes resultados são provocados pelo desgaste natural do pavimento, além do mau uso das vias, como: veículos de carga acima do peso, derramamento de óleo diesel dos caminhões, projetos mal dimensionados e fluxo crescente de usuários das vias.

Para que suporte os esforços sofridos, a tecnologia de pavimentos sofre melhorias contínuas em suas matérias-primas, como: testes com agregados não convencionais; aditivos diversos para o cimento asfáltico de petróleo (CAP), que conferem inúmeras características a ele; e modernização do processo de produção, com equipamentos com controle de dosagem automático.

No município de Campo Belo/MG, como são exploradas jazidas de rocha calcária e rocha gnáissica, além da recente implantação de uma usina de asfalto por uma construtora da cidade, viu-se a necessidade de estudar a mistura asfáltica utilizando os materiais das duas pedreiras.

2 JUSTIFICATIVA

A pavimentação asfáltica é um serviço de extrema importância no Brasil, país que possui extensa malha rodoviária e centraliza a maioria do fluxo de transportes para as rodovias.

Para ganhar tempo, obter mais lucros e transportar mais material, os usuários das rodovias tendem sempre a andar com peso acima do especificado para seu veículo, desobedecendo as leis federais e estaduais e tentando burlar a fiscalização que ainda é pequena em comparação com a extensão das pistas pavimentadas, fazendo com que haja uma deterioração precoce do pavimento, gerando buracos, trincas e colocando em risco os veículos e principalmente as vidas de todos envolvidos.

Devido à grande diversidade de materiais pétreos no entorno de Campo Belo/MG, pretende-se comparar dois tipos diferentes de agregados e CAP, obtendo-se então, parâmetros para futuras obras viárias na região.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar os resultados do Ensaio Marshall do CBUQ com tipos diferentes de agregados minerais combinados com tipos diferentes de CAP.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Executar o Ensaio Marshall e analisar os resultados do CBUQ com agregado calcário e agregado gnáissico com a utilização do CAP 30/45.
2. Executar o Ensaio Marshall e analisar os resultados do CBUQ com agregado calcário e agregado gnáissico com a utilização do CAP 60/85.
3. Comparar os resultados obtidos nos ensaios.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

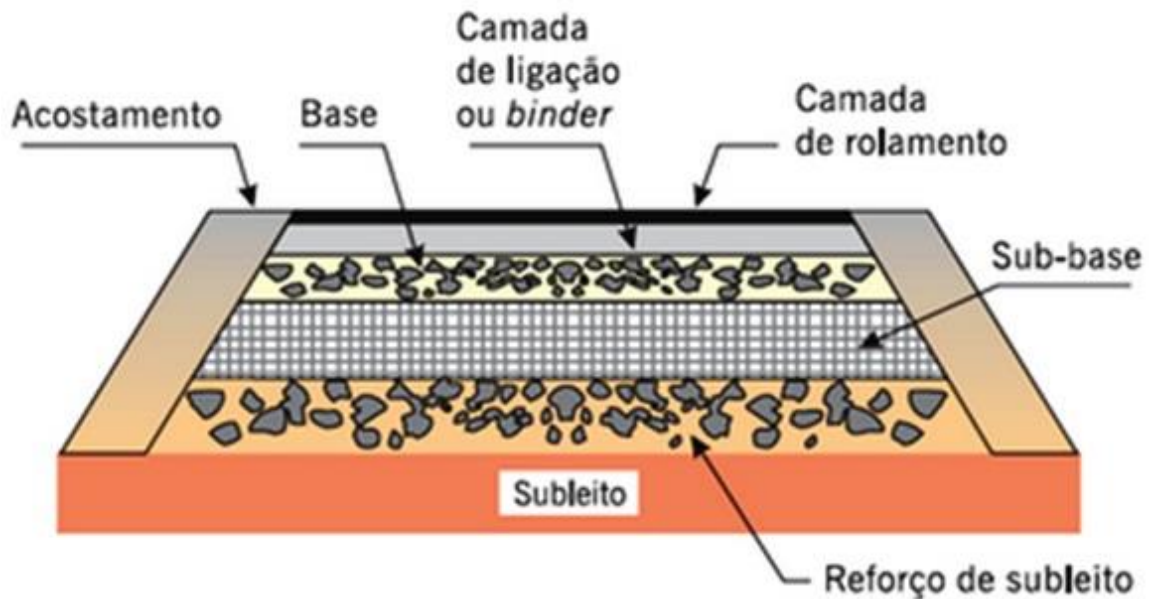
4.1 PAVIMENTAÇÃO

Senço (2007) classifica o pavimento como uma estrutura construída com diversas camadas com espessuras determinadas por projeto, com a função de resistir aos esforços verticais dos veículos e distribuí-los, dar condições de conforto e segurança aos usuários e suportar os esforços horizontais, como o atrito dos pneus, aumentando sua vida útil.

Segundo Balbo (2007), as camadas do pavimento são por ordem de execução (FIG. 1):

- Subleito, constituído de material natural compactado, com a função de regularizar o substrato onde será construído o pavimento e absorver os esforços impostos pelas camadas superiores.
- O reforço do subleito tem a função de diminuir os esforços sofridos pelo subleito, por isso deve ser feito com solo de maior resistência. Esta camada não é obrigatória, sendo necessária ou não, de acordo com o projeto.
- A sub-base e a base devem ser uma camada mais resistente e estável, pois são as camadas que recebem as solicitações de esforço mais fortes e podem ser constituídas de solo estabilizado naturalmente, mistura de solo e agregados (solo-brita), brita graduada, brita graduada tratada com cimento, solo estabilizado com ligante hidráulico ou asfáltico, concreto, ou outro material que consiga desempenho melhor ou igual.
- Camada de ligação é feita com a aplicação de emulsões asfálticas que farão a impermeabilização da base e a ligação da mesma com a camada de CBUQ.
- O revestimento é constituído de massa asfáltica, com materiais bem aglutinados, impermeável para a água não afetar as camadas inferiores do pavimento e tem a função de receber as cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação de agregados ou perda de compactação. Também deve oferecer ao usuário da via, segurança e conforto. É a camada que recebe diretamente a ação do tráfego.

Figura 1 - Camadas do pavimento asfáltico



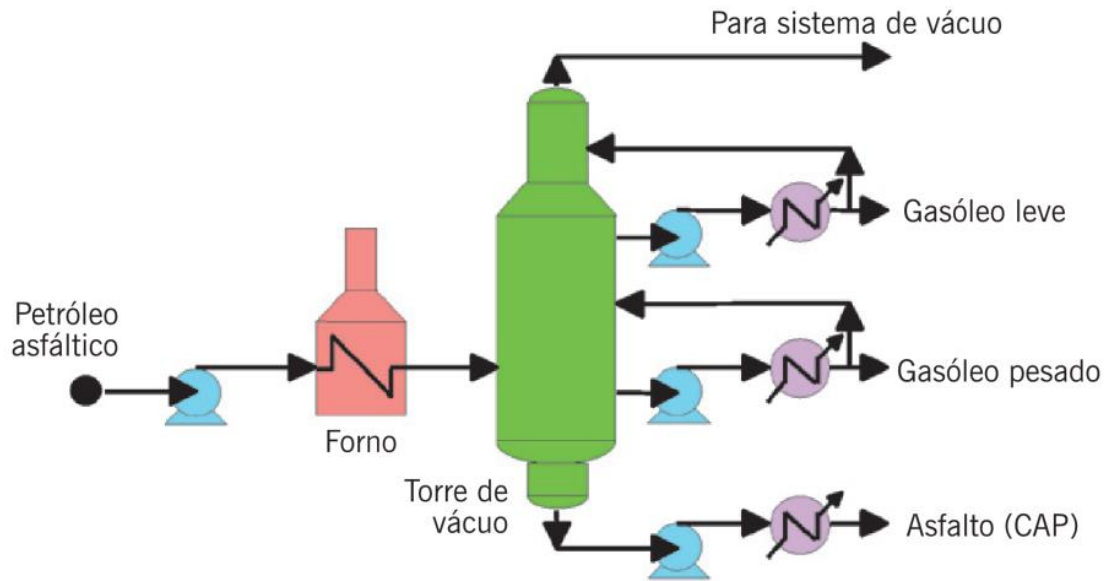
Fonte: Manual básico de emulsões asfálticas, 2010, p. 10

4.1.1 ASFALTO

Segundo Senço (2007, p. 320) "Asfaltos são materiais aglutinantes de consistência variável, cor pardo-escura ou negra e nos quais o constituinte predominante é o betume, podendo ocorrer na natureza em jazidas ou ser obtido pela refinação do petróleo."

Por ser um material extremamente versátil e encontrado também na superfície, como nos lagos de asfalto natural em Trinidad, são utilizados desde a antiguidade em diversos fins, como ligante e impermeabilizante. No início do século XX, começou a ser utilizado o processo de refino do petróleo, onde o mesmo é destilado e tem suas frações leves, como a querosene, o óleo diesel e a gasolina, separados por vaporização, fracionamento e condensação (FIG. 2). Sua concentração varia de 10% a 80% do volume total, dependendo principalmente do grau API, considerando que quanto maior o grau API, maior a densidade relativa e menor o teor de asfalto no petróleo extraído. (MANUAL BÁSICO DE EMULSÕES ASFÁLTICAS, 2010).

Figura 2 - Processo de destilação do petróleo bruto



Fonte: Manual básico de emulsões asfálticas, 2010, p. 41

Senço (2007), caracteriza o asfalto, quanto à natureza, em três tipos:

- Rochas asfálticas, como a gilsonita e o xisto, que possuem em seus vazios gotículas de asfalto, dando às mesmas, flexibilidade e impermeabilidade;
- Asfaltos naturais, que são encontrados dissolvidos em depósitos naturais, com resíduos de minerais, como as areias e argilas, sendo necessário para utilização, uma purificação adequada;
- Asfaltos de petróleo, obtidos pela refinação do petróleo com características asfálticas, com alta pureza, podendo ser produzido em grande escala.

Na pavimentação, é o mais utilizado entre os recursos disponíveis no mundo, por proporcionar forte união dos agregados sem perder a flexibilidade, tem alta durabilidade, é resistente à maioria dos ácidos, álcalis e sais e também impermeabiliza as camadas inferiores do pavimento, aumentando assim sua vida útil. (BERNUCCI, 2006).

4.1.2 CIMENTO ASFÁLTICO DE PETRÓLEO (CAP)

A norma DNIT 095/2006 - EM define os CAPs como asfaltos obtidos especificamente para apresentarem a qualidade e consistência ideais para a aplicação direta na construção de pavimentos, tendo uma penetração a 25°C entre 5 e 300 mm sob uma carga de 100 g, aplicada

durante 5 segundos. Este material deve ser homogêneo e não deve espumar quando aquecido a 175°C.

Segundo Balbo, 2007, são obtidos por processo de refino do petróleo cru, possuindo grande quantidade de betume, cor marrom escura ou negra, com viscosidade elevada e consistência semissólida em temperaturas ambientes. Têm por características também boa aderência aos agregados em geral, propriedades impermeabilizantes, o que torna extensa suas aplicações na construção civil em geral, e é resistente à maioria dos ácidos sais e álcalis, além de ser insolúvel em água.

Inicialmente, os CAPs apresentavam 10 classificações quanto à penetração, 30-40, 40-50, 50-60, 60-70, 70-85, 85-100, 100-120, 120-150, 150-200 e 200-300, mas com a prática e o clima brasileiro, essa classificação passou por modificações, selecionando apenas os cimentos asfálticos que obtinham melhores resultados, sendo então selecionados os CAPs 30-45, 50-70, 85-100 e 150-200 com as características conforme TAB 1.

Tabela 1 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES			
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200
Penetração (100 g, 5 s, 25°C)	0,1mm	30-45	50-70	85-100	150-200
Ponto de amolecimento, mínimo	°C	52	46	43	37
Viscosidade Saybolt Furol	s				
a 135°C, mínimo		192	141	110	80
a 150°C, mínimo		90	50	43	36
a 177°C		40-150	30-150	15-60	15-60
OU					
Viscosidade Brookfield	cP				
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mínimo		374	274	214	155
a 150°C, SP 21, mínimo		203	112	97	81
a 177°C, SP 21		76-285	57-285	28-114	28-114
Índice de susceptibilidade térmica		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)
Ponto de fulgor mínimo	°C	235	235	235	235
Solubilidade em tricloroetileno, mínimo	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5

Ductilidade a 25°C, mínimo	cm	60	60	100	100
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 mínimo					
Variação em massa, máximo	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5
Ductilidade a 25°C, mínimo	cm	10	20	50	50
Aumento do ponto de amolecimento, máximo	°C	8	8	8	8
Penetração retida, mínimo	%	60	55	55	50

Fonte: NORMA DNIT 095/2006 - EM, 2006, p. 5

4.1.3 CAP MODIFICADO POR POLÍMERO

Na busca por melhorias nas características físico-químicas do CAP, em meados de 1960 na França, começaram as tentativas de incorporação de materiais como a borracha, tentando elevar a coesão do material, reduzir a suscetibilidade térmica do CAP, diminuir a viscosidade à temperatura de aplicação, garantir boa adesividade, resistência ao envelhecimento e elevar sua resistência à deformação plástica, fissuração e fadiga. (BALBO, 2007)

Balbo (2007 apud DNER 1998), define os polímeros como:

- Termofixos - Quando submetidos ao calor, endurecem de maneira irreversível, como o poliuretano e a resina epóxi;
- Termoplásticos - que amolecem quando submetidos ao calor e endurecem quando resfriados, como o polietileno, o polipropileno e o EVA (Etileno Acetato de Vinila);
- Elastômeros - possuem propriedades elásticas semelhantes às borrachas, que ao receberem calor, decompõem-se antes mesmo de amolecer, como o SBR (Estireno-Butadieno-Rubber);
- Elastômeros termoplásticos - que apresentam comportamento de termoplástico quando são aquecidos e continuam elásticos quando resfriados, como o SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) e a borracha vulcanizada.

Os polímeros termofixos resultam em ligantes com excelente qualidade e desempenho, mas possuem custo alto e necessitam de um catalisador para ativação, o que ocasiona um endurecimento rápido da mistura asfáltica.

Os termoplásticos não modificam o CAP, dando simplesmente mais consistência à massa asfáltica, como o fíler.

Os polímeros elastômeros não podem ser misturados ao CAP devido ao segundo precisar de aquecimento. Por isso são emulsificados em fase aquosa para então serem juntados.

Já os elastômeros termoplásticos (TAB. 2), por exemplo o SBS, suporta bem as temperaturas de aquecimento do CAP, trabalhando como molas elásticas, melhorando sua recuperação elástica, aumentando sua viscosidade, consistência e ponto de amolecimento. Em climas quentes como no Brasil, quando ocorrem aumentos de temperaturas na mistura asfáltica, ultrapassando o ponto de amolecimento do cimento asfáltico, o polímero consegue reter o aumento de fluxo viscoso, causando assim, uma maior estabilidade do pavimento.

Tabela 2 - Características do cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES		
		CAP 55/75	CAP 60/85	CAP 65/90
Penetração (100 g, 5 s, 25°C)	0,1mm	40-70	40-70	40-70
Ponto de amolecimento, mínimo	°C	55	60	65
Viscosidade Brookfield	cP			
a 135°C, SP 21, 20 rpm, máximo		3000	3000	3000
a 150°C, SP 21, 50 rpm, máximo		2000	2000	2000
a 177°C, SP 21, 100rpm, máximo		1000	1000	1000
Ensaio de separação de fase, máximo	°C	5	5	5
Ponto de fulgor mínimo	°C	235	235	235
Recuperação elástica a 25 °C, 20 cm, mínimo	%	75	85	90
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 mínimo				
Varição em massa, máximo	% massa	1,0	1,0	1,0
Varição do PA, máximo	°C	-5 a +7	-5 a +7	-5 a +7
Porcentagem de penetração original, mínimo	%	60	60	60
Porcentagem de recuperação elástica original a 25°C, mínimo	%	80	80	80

Fonte: NORMA DNIT 129/2011 - EM, 2011, p. 3

4.1.4 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)

O CBUQ é a mais utilizada e tradicional mistura asfáltica utilizada no Brasil, compondo cerca de 95% de toda a malha rodoviária do país segundo a Pesquisa CNT de Rodovias (2014). De acordo com Senço (2007), o concreto betuminoso consiste na mistura íntima entre agregados e betume com rigoroso controle de dosagem, granulometria e temperatura.

4.1.4.1 FABRICAÇÃO DO CBUQ

Para a produção do CBUQ, Balbo (2007) diz que, os agregados primeiramente deverão ser dosados e corretamente classificados de acordo com sua composição e granulometria, estando com baixa umidade, para sua completa secagem no tambor de aquecimento da usina. Além de secos, os agregados devem estar, no fim do tambor de aquecimento, com uma temperatura de em média 175°C, sendo respeitados sempre 10°C acima da temperatura do CAP.

Os agregados devem ser estocados próximos aos silos de carga da usina, em locais protegidos de contaminação pelo solo e de chuvas, cuidando para que a umidade do material não aumente em períodos chuvosos.

O CAP é estocado em tanques térmicos com aquecimento, visto que sua temperatura média de utilização é de 150°C para CAP 30/45 e de 175°C para CAP polimérico.

Na usina de asfalto volumétrica (FIG. 3 e 4), os agregados são inseridos através de silos, onde cada material é pesado individualmente e transportado para o tambor de aquecimento, que consiste em um cilindro giratório com aletas que misturam os agregados e joga-os na chama do maçarico, encarregado de fazer a secagem e o aquecimento do material. Após este processo, o agregado é levado para o misturador, onde ocorre a dosagem do CAP e a mistura dos materiais, gerando assim o concreto betuminoso usinado a quente. Seguido do misturador, está o elevador de material e o silo de descarga, que fazem o transporte da massa asfáltica do misturador para o caminhão, e dele para a pista.

Figura 3 - Usina de asfalto volumétrica de contra fluxo



Fonte: Autor 2015

Figura 4 - Usina de asfalto volumétrica de contra fluxo



Fonte: Autor 2015

4.1.4.2 FAIXAS GRANULOMÉTRICAS

As faixas granulométricas foram definidas para melhor identificação da mistura asfáltica, sendo a Faixa A mais aberta, ou seja, com maior índice de vazios, grãos maiores e utilizada em camadas de regularização ou de ligação, a Faixa B intermediária, utilizada em camadas de ligação ou de rolamento e a Faixa C, possuindo menor índice de vazios e utilizada em camadas de rolamento (TAB.3).

Tabela 3 - Faixas granulométricas e requisitos para concreto asfáltico

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

Fonte: NORMA DNIT 031/2006 - ES, 2006, p. 5

A norma DNIT 031/2006 - ES (2006) também estabelece alguns parâmetros mínimos para a fabricação do CBUQ (TAB. 4).

Tabela 4 - Características mínimas para execução de CBUQ

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 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138	0,65	0,65

Fonte: NORMA DNIT 031/2006 - ES, 2006, p. 5

4.2 AGREGADOS

Produzidos por britagem mecânica da rocha bruta ou por processos naturais, os agregados tem função indispensável na pavimentação em geral, podendo constituir todas as camadas do pavimento, e em especial o CBUQ, formando a base e dando resistência e volume a mistura.

4.2.1 GNAISSE

São rochas metamórficas formadas por tectonismo intenso e temperaturas muito elevadas, de granulação grosseira e dura, apresentando acidez elevada e uma orientação nítida dos minerais presentes, formando bandas alternadas em tons claros e escuros. Constituída principalmente de Quartzo, Feldspato e Mica. Ocorrem em áreas onde existem grandes cadeias montanhosas. Sua brita possui formas angulares esféricas. (POPP, 2012; NOGAMI, 1976 apud BALBO, 2007)¹.

4.2.2 CALCÁRIO

São rochas sedimentares, ricas em carbonatos de cálcio e magnésio, formadas a partir da erosão de rochas, recifes de corais, algas calcárias e outros organismos de carapaça calcária, que foram transportados e depositados nos ambientes de sedimentação. Apresentam facilidade de britagem, com britas angulares alongadas, boa adesividade e finos de boa qualidade, mas podem ser muito porosos. Normalmente têm cor cinza, amarela ou preta. (LEINZ; AMARAL, 2003; NOGAMI, 1976 apud BALBO, 2007; VARGAS, 1986 apud BALBO, 2007).

4.2.3 GRANULOMETRIA

¹NOGAMI, J. S. **A importância da suplementação dos resultados de ensaios geotécnicos para finalidades rodoviárias com dados geológicos e correlatos.** Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias: Conselho Nacional de Pesquisas, 1971. Publicação 516.

Os agregados são formados por uma mistura de grãos de diversos tamanhos. Para a determinação da granulometria, são utilizadas peneiras normatizadas, com caixilhos circulares e tela metálica, com aberturas quadradas e crescentes geometricamente, sendo que cada uma é o dobro da anterior e a metade da subsequente.

Uma amostra de material é colocada em um conjunto de peneiras com aberturas decrescentes e depois agitado por agitador mecânico, sendo os agregados retidos em cada malha aferido para a montagem da curva granulométrica. (BAUER, 2000; BERNUCCI, 2006).

4.2.3.1 AGREGADOS GRAÚDOS

Conforme a norma DNER-ME 083/98, os agregados graúdos são definidos como material com dimensões maiores que 9,5 mm.

São as britas e as pedras marroadas.

4.2.3.2 AGREGADOS MIÚDOS

Conforme a norma DNER-ME 083/98, são considerados agregados miúdos as areias diversas e pedriscos com diâmetro entre 9,5 mm e 0,425 mm.

4.2.3.3 FÍLER

Balbo (2007) classifica o filer como sendo a fração fina proveniente da britagem de rocha e pedregulhos, com diâmetro abaixo de 0,425 mm. Este material é utilizado para o preenchimento parcial dos vazios que são formados na mistura de materiais graúdos e miúdos, além de aumentar a viscosidade do CAP, incremento do ponto de amolecimento, na estabilidade, no módulo de resiliência e na resistência da mistura asfáltica. O excesso deste material pode causar patologias e aumento do consumo de cimento asfáltico na fabricação do CBUQ.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de um traço existente, para a determinação da estabilidade e da fluência da massa asfáltica, foram executados dois ensaios. Granulometria para enquadramento dos agregados no traço e o Ensaio de estabilidade Marshall para definição da estabilidade, volume de vazios, densidade, vazios cheios de betume, vazios do agregado mineral, relação de betume vazios e fluência do material. O CBUQ foi composto por agregados gnáissicos da Mineradora C ou calcários da Mineradora V com cimento asfáltico fornecido pela Empresa D.

5.1 PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

5.1.1 AGREGADOS

Neste estudo foram utilizados agregados de rochas metamórficas gnáissicas (FIG. 5 e 6) extraídas de uma mineradora às margens da rodovia BR-369 no km 2 e rochas sedimentares calcárias (FIG. 7 e 8) extraídas de outra mineradora localizada na estrada vicinal Campo Belo – Martins, no km 10,1, todas na cidade de Campo Belo/MG.

Figura 5 - Brita gnáissica de Campo Belo/MG



Fonte: Autor 2015

Figura 6 - Pó de pedra gnáissico de Campo Belo/MG



Fonte: Autor 2015

Figura 7 - Brita calcária de Campo Belo/MG



Fonte: Autor 2015

Figura 8 - Pó de pedra calcário de Campo Belo/MG



Fonte: Autor 2015

As amostras foram coletadas nos estoques existentes das mineradoras em vários pontos do monte, utilizando concha de cereal, sacos plásticos e etiquetas para a correta identificação das mesmas, com a intenção de demonstrar a real condição e natureza dos materiais, conforme DNER-PRO 120/97.

Após a coleta, os materiais foram reduzidos por quarteamento conforme norma DNER-PRO 199/96, utilizando uma concha para misturar o material e uma colher de pedreiro para fazer as divisões até a obtenção de 131 g de brita 1, 524 g de brita 0 e 486 g de pó de pedra para cada corpo de prova.

5.1.1.1 ENSAIO GRANULOMÉTRICO

Para o enquadramento dos agregados no traço existente, foram utilizadas, segundo norma DNER-ME 083/98:

Peneiras redondas de malha quadrada metálica com aberturas: 19,1 mm, 12,7 mm, 9,5 mm, 4,8 mm, 2,0 mm, 0,42 mm, 0,18 mm e 0,075 mm; Agitador mecânico de peneiras com capacidade para até seis peneiras, tampa e fundo; Balança com capacidade para 20 kg e precisão de 0,1 g; Escova para limpeza de peneiras; Tabuleiros metálicos; Concha de cereal; Fogão a gás; Frigideira; e colher.

Os materiais foram secos na frigideira, pesados e peneirados utilizando uma sequência decrescente de abertura das peneiras com a ajuda do agitador mecânico por 15 minutos em

média. Logo após foram reservados em sacos plásticos para posterior pesagem nas quantidades estabelecidas do traço.

As misturas asfálticas foram compostas por brita 1 (19 mm), brita 0 (12,5 mm) e pó de pedra (4,8 mm), com materiais de natureza gnáissica e calcária nas mesmas proporções e granulometrias similares (FIG.9).

Figura 9 - Ensaio granulométrico



Fonte: Autor 2015

5.1.2 ENSAIO MARSHALL

O ensaio Marshall tem por finalidade determinar a estabilidade do CBUQ, que é a carga radial máxima suportada por um corpo de prova cilíndrico com dimensões conhecidas e expressa em Newton (N), o volume de vazios, a densidade, os vazios cheios de betume, os vazios do agregado mineral, a relação de betume vazios e a fluência, sendo a deformação total sofrida pelo mesmo e expressa em décimos de milímetro.

Foram utilizados os seguintes materiais, segundo a norma DNER-ME 043/95:

Prensa com capacidade para aplicar cargas de até 39,2 kN com erro inferior a 24,5 N mecânica ou manual, com êmbolo movimentando a uma velocidade de 5 cm por minuto, equipada com um anel dinamométrico com capacidade de 22,2 kN e defletômetro com graduação de 0,0025 mm, para medir encurtamentos e avaliação de carga; Molde de compactação em aço, constituído de anel superior, anel inferior e placa base; Estufa com capacidade de manter a amostra em temperaturas de até 200°C; Repartidores de amostra de 1,3 cm e de 2,5 cm de abertura; Balança com capacidade de 20 kg e precisão de 0,1 g; Bandejas metálicas; Extrator de corpo de prova hidráulico, em aço e em forma de disco;

Colher de metal tipo jardineiro; Aparelhagem para mistura que produza um material homogêneo, sem perda; Recipiente em aço estampado, cilíndrico, com bico vertedor e capacidade para 500 ml; Termômetro de vidro ou haste metálica, com graduação e 10 a 200°C, para medir temperatura dos agregados, betume, banho d'água e mistura betuminosa; Espátula de aço com ponta arredondada, com lâmina de 18 cm de comprimento e 3 cm de largura; Base de compactação em madeira; Soquete de compactação, de aço, com 4.540 g de massa e altura de queda de 45,72 cm; Medidor de fluência, com graduações de 0,25 mm; Paquímetro com exatidão de 0,1 mm; Banho maria com capacidade para 9 corpos de prova, equipado com grade a 50 mm acima do fundo; Pinça para manipulação dos corpos de prova; Pincel, papel filtro e parafina, e; Molde de compressão de aço.

Na preparação dos corpos de prova, o CAP foi aquecido até aproximadamente 150°C e os agregados de 10 a 15°C acima da temperatura do ligante (FIG.10).

Figura 10 - Estufa para secagem dos agregados e aquecimento do CAP



Fonte: Autor 2015

Foram moldados três corpos de prova com em média 1.200 g e 63,5 mm de altura.

Após a pesagem, os agregados foram misturados, aquecidos e então foi adicionado o cimento asfáltico, misturando rapidamente por 2 a 3 minutos, até a completa cobertura dos agregados.

Em seguida, o material foi colocado no molde, aquecido de 90 a 150°C e então procedida a compactação com 75 golpes de cada lado do corpo de prova.

Figura 11 - Compactação dos corpos de prova



Fonte: Autor 2015

Procedido da compactação, o corpo de prova é colocado suavemente sobre uma superfície lisa e plana, onde permaneceu à temperatura ambiente por no mínimo 12 horas para seu completo resfriamento.

Figura 12 - Corpos de prova compactados



Fonte: Autor 2015

Sempre deve ser preparada quantidade de material para um molde apenas por vez.

Para a determinação da altura do corpo de prova, foram feitas quatro medidas com o paquímetro em quatro posições opostas, adotando-se a média aritmética dos quatro resultados.

Além da estabilidade, outros valores limite devem ser levados em consideração no ensaio.

Deve-se primeiramente calcular o volume do corpo de prova de massa asfáltica pela equação (1):

$$V = \frac{(Par - Psub)}{\rho a} \quad (1)$$

Onde:

V = volume do corpo de prova de massa asfáltica [cm³];

Par = peso do corpo de prova ao ar [g];

Psub = peso do corpo de prova imerso na água [g];

ρa = densidade específica da água $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$.

Após tal cálculo, procede-se com a determinação da densidade aparente do corpo de prova (EQ. 2):

$$\rho ap = \frac{Par}{V} \quad (2)$$

Onde:

ρap = densidade aparente do corpo de prova $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$;

Par = peso do corpo de prova ao ar [g];

V = volume do corpo de prova de massa asfáltica [cm³];

Para a densidade máxima teórica, deve-se utilizar da seguinte equação (EQ. 3):

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%CAP}{\rho CAP} + \frac{100-\%CAP}{\rho agr}} \quad (3)$$

Onde:

DMT = densidade máxima teórica $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$;

%CAP = percentual de CAP utilizado na mistura asfáltica em relação ao peso total do corpo de prova [%];

ρCAP = densidade do CAP $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$;

ρ_{agr} = densidade real dos agregados $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$.

Com todos os resultados em mãos, procede-se com os cálculos de volume de vazios, que consiste na porcentagem de vazios presentes na massa asfáltica após compactação (EQ. 4):

$$Vv = 100 - \left(\frac{\rho_{ap}}{DMT} \times 100\right) \quad (4)$$

Onde:

Vv = volume de vazios da massa asfáltica [%];

ρ_{ap} = densidade aparente do corpo de prova $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$;

DMT = densidade máxima teórica $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$.

Vazios cheios de betume (VCB), que são os vazios que foram preenchidos por asfalto (EQ. 5):

$$VCB = \frac{\%CAP}{\rho_{CAP}} \times \rho_{ap} \quad (5)$$

Onde:

VCB = Vazios cheios de betume [%];

$\%CAP$ = percentual de CAP utilizado na mistura asfáltica em relação ao peso total do corpo de prova [%];

ρ_{CAP} = densidade do CAP $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$;

ρ_{ap} = densidade aparente do corpo de prova $\left[\frac{g}{cm^3}\right]$.

Vazios do agregado mineral (VAM), sendo os vazios preenchidos pelo agregado na mistura (EQ. 6):

$$VAM = Vv + VCB \quad (6)$$

Onde:

VAM = Vazios do agregado mineral [%];

Vv = Volume de vazios [%];

VCB = Vazios cheios de betume [%].

e por fim, a relação betume vazios (RBV), identificados pela equação abaixo (EQ. 7):

$$RBV = \frac{VCB}{VAM} \times 100 \quad (7)$$

Onde:

RBV = Relação betume vazios [%];

VCB = Vazios cheios de betume [%];

VAM = Vazios do agregado mineral [%].

Após a conclusão de todos os ensaios, deve ser feita a comparação com a Tabela 4 para certificação de que todos os resultados se enquadram nos valores limites.

6.1.2.1 DETERMINAÇÃO DA ESTABILIDADE MARSHALL E DA FLUÊNCIA

Para a execução do ensaio, os corpos de prova foram colocados em banho maria por 30 minutos a 60°C ou em estufa por duas horas, na mesma temperatura e após esse tempo, foi colocado imediatamente no molde de compressão, lubrificado e tendo o medidor de fluência ajustado na posição para o ensaio.

Figura 13 - Aparelho banho maria para aquecimento dos corpos de prova



Fonte: Autor 2015

A prensa deve comprimir o êmbolo com uma velocidade constante de 50mm por minuto, até o rompimento do corpo de prova, onde foi observada no defletômetro a leitura máxima, que foi convertida em N, pelo gráfico de calibração do anel dinamométrico.

A carga encontrada é tida como a estabilidade da mistura asfáltica, mas ainda deve ser corrigida por um fator em função da altura do corpo de prova pela equação:

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

onde:

f = fator;

h = espessura do corpo de prova.

A estabilidade Marshall foi então encontrada pela média aritmética de no mínimo três corpos de prova e a fluência pela média dos valores lidos no medidor ao fim do ensaio.

Figura 14 - Prensa para determinação da estabilidade Marshall



Fonte: Autor 2015

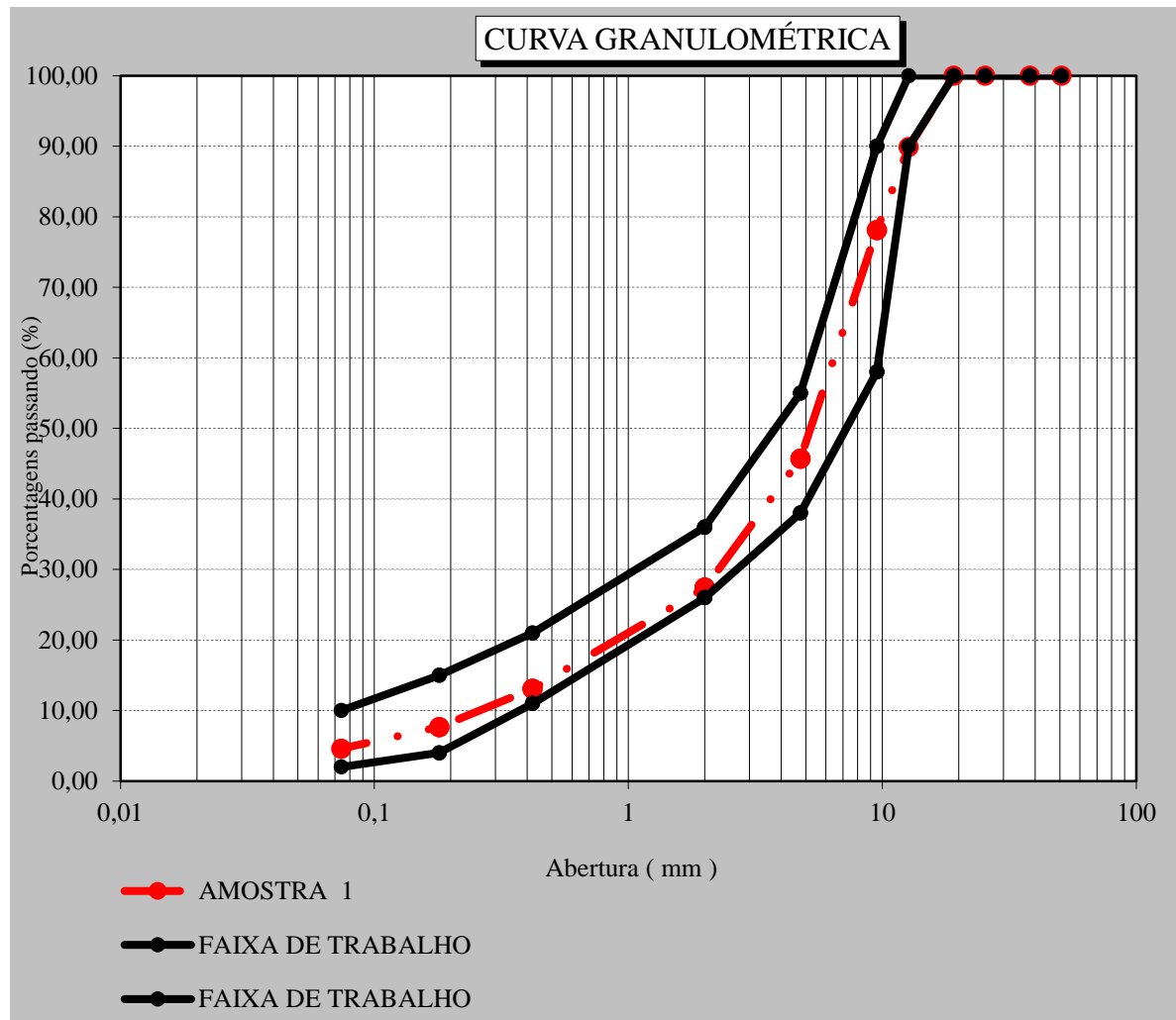
7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 GRANULOMETRIA

Para um resultado preciso, todos os corpos de prova foram moldados utilizando o mesmo traço enquadrado na Faixa-C do DNIT sendo, 11,50% de brita 1, 46,00% de brita 0, 42,50% de pó de pedra e 4,90% de CAP, totalizando aproximadamente 1200 g.

A granulometria utilizada na massa asfáltica do ensaio segue abaixo conforme GRAF. 1 e TAB. 5.

Gráfico 1 - Curva granulométrica dos agregados utilizados no ensaio



Fonte: Autor 2015

Tabela 5 - Granulometria utilizada

Especificação DNER-ES 031/2006 - Faixa C			
Peneiras	Traço utilizado [% de material passante]	Limite Máximo [% de material passante]	Limite Mínimo [% de material passante]
3/4"	100,0	100,0	100,0
1/2"	89,9	80,0	100,0
3/8"	78,1	70,0	90,0
Nº 4	45,7	44,0	72,0
Nº 10	27,4	22,0	50,0
Nº 40	13,1	8,0	26,0
Nº 80	7,6	4,0	16,0
Nº 200	4,6	2,0	10,0

Fonte: Autor 2015

De acordo com a tabela acima, o traço utilizado se enquadra com todas as peneiras na Faixa-C do DNIT, tendo como material passante na peneira 3/4", 100% do material, na peneira 1/2", 89,9%, na peneira 3/8", 78,1%, na nº 4, 45,7%, na nº10, 27,4% de material passante, na nº 40, 13,1%, na nº 80, 7,6% e na peneira nº 200, 4,6% passante.

7.2 ENSAIO MARSHALL

Na execução do ensaio Marshall, foi utilizada a norma DNIT 031/2006 para a determinação dos parâmetros e método de ensaio, visando encontrar resultados que simulem o comportamento real da mistura asfáltica

Tabela 6 - Resultados obtidos - CAP 60/85 e agregado de gnaisse

ENSAIO MARSHALL - DNER-ME 043/95					
CAP 60/85 COM POLÍMERO SBS E AGREGADO DE GNAISSE					
	Nº C.P.	1	2	3	Limites
	AO AR	1149,20	1186,60	1167,90	
	IMERSO	664,20	683,70	673,95	
(1)	Peso do C.P. [g]				
(1)	Volume (V) [cm ³]	485,00	502,90	493,95	
(2)	Densidade Aparente (ρ_{ap}) [g/cm ³]	2,37	2,36	2,36	
(3)	Densidade Máxima Teórica (DMT) [g/cm ³]	2,45	2,45	2,45	
(4)	Volume de Vazios (V _v) [%]	3,30	3,70	3,50	3 a 5
(5)	Vazios Cheios de Betume (VCB) [%]	11,50	11,40	11,50	
(6)	Vazios do Agregado Mineral (VAM) [%]	14,80	15,20	15,00	
(7)	Relação Vazios Betume (RBV) [%]	77,50	75,30	76,40	75 a 82
	Leitura	749,00	819,00	784,00	
	Fator de Correção da altura dos C.P.	1,11	1,04	1,07	
	Estabilidade Marshall				
	Leitura Corrigida	828,06	849,93	839,49	
	Fator de Correção da Prensa	1,9351	1,9351	1,9351	
	Estabilidade [N]	1602,39	1644,71	1624,50	>500
	Fluência [mm]	4,76	5,56	4,76	

Fonte: Autor 2015

A mistura asfáltica com CAP 60/85 e agregado de gnaisse resultou em uma densidade aparente de 2,36 g/cm³, densidade máxima teórica de 2,45 g/cm³, volume de vazios 3,50%, vazios cheios de betume 11,47%, vazios do agregado mineral 15,00% e relação betume vazios de 76,40%, além de uma estabilidade Marshall de 1623,87 N e fluência de 5,03 mm, estando assim todos os resultados em conformidade com a norma DNIT 031/2006 descrita na tabela 4 deste trabalho.

Tabela 7 - Resultados obtidos - CAP 30/45 e agregado de gnaisse

ENSAIO MARSHALL - DNER-ME 043/95					
CAP 30/45 CONVENCIONAL E AGREGADO DE GNAISSE					
	Nº C.P.	1	2	3	Limites
	AO AR	1195,10	1183,50	1187,60	
	IMERSO	686,60	683,20	685,90	
(1)	PESO DO C.P. [g]				
	Volume (V) [cm ³]	508,50	500,30	501,70	
(2)	Densidade Aparente (ρ_{ap}) [g/cm ³]	2,35	2,37	2,37	
(3)	Densidade Máxima Teórica (DMT) [g/cm ³]	2,45	2,45	2,45	
(4)	Volume de Vazios (Vv) [%]	4,10	3,50	3,40	3 a 5
(5)	Vazios Cheios de Betume (VCB) [%]	11,40	11,50	11,50	
(6)	Vazios do Agregado Mineral (VAM) [%]	15,50	15,00	14,90	
(7)	Relação Vazios Betume (RBV) [%]	73,40	76,60	77,00	75 a 82
	Leitura	584,00	569,00	577,00	
	Fator de Correção da altura dos C.P.	1,02	1,05	1,04	
	Leitura Corrigida	594,52	595,84	601,29	
	Fator de Correção da Prensa	1,9351	1,9351	1,9351	
	Estabilidade Marshall				
	Estabilidade [N]	1150,45	1153,02	1163,55	>500
	Fluência [mm]	2,38	3,97	3,18	

Fonte: Autor 2015

A mistura asfáltica com CAP 30/45 e agregado de gnaisse resultou em uma densidade aparente de 2,36 g/cm³, densidade máxima teórica de 2,45 g/cm³, volume de vazios 3,67%, vazios cheios de betume 11,47%, vazios do agregado mineral 15,13% e relação betume vazios de 75,67%, além de uma estabilidade Marshall de 1155,67 N e fluência de 3,71 mm, estando assim todos os resultados em conformidade com a norma DNIT 031/2006 descrita na tabela 4.

Tabela 8 - Resultados obtidos - CAP 60/85 e agregado de calcário

ENSAIO MARSHALL - DNER-ME 043/95						
CAP 60/85 COM POLÍMERO SBS E AGREGADO DE CALCÁRIO						
	Nº C.P.	1	2	3	Limites	
	AO AR	1161,20	1156,20	1158,70		
	IMERSO	673,00	666,20	669,60		
(1)	PESO DO C.P. [g]					
	Volume (V) [cm ³]	488,20	490,00	489,10		
(2)	Densidade Aparente (ρ_{ap}) [g/cm ³]	2,38	2,36	2,37		
(3)	Densidade Máxima Teórica (DMT) [g/cm ³]	2,45	2,45	2,45		
(4)	Volume de Vazios (Vv) [%]	3,00	3,70	3,36	3 a 5	
(5)	Vazios Cheios de Betume (VCB) [%]	11,50	11,40	11,49		
(6)	Vazios do Agregado Mineral (VAM) [%]	14,50	15,20	14,85		
(7)	Relação Vazios Betume (RBV) [%]	79,50	75,30	77,41	75 a 82	
	Leitura	685,00	666,00	675,50		
	Fator de Correção da altura dos C.P.	1,09	1,09	1,09		
	Estabilidade Marshall	Leitura Corrigida	748,65	723,22	735,90	
		Fator de Correção da Prensa	1,9351	1,9351	1,9351	
		Estabilidade [N]	1448,72	1399,50	1424,03	>500
	Fluência [mm]	5,56	4,76	4,76		

Fonte: Autor 2015

A mistura asfáltica com CAP 60/85 e agregado de calcário resultou em uma densidade aparente de 2,37 g/cm³, densidade máxima teórica de 2,45 g/cm³, volume de vazios 3,35%, vazios cheios de betume 11,46%, vazios do agregado mineral 14,85% e relação betume vazios de 77,40%, além de uma estabilidade Marshall de 1424,03 N e fluência de 5,03 mm, estando assim todos os resultados em conformidade com a norma DNIT 031/2006 descrita na tabela 4 deste trabalho.

Para essa relação, foram utilizados os dados encontrados no ensaio Marshall conforme TAB.9, TAB.10, GRAF.2 e GRAF. 3.

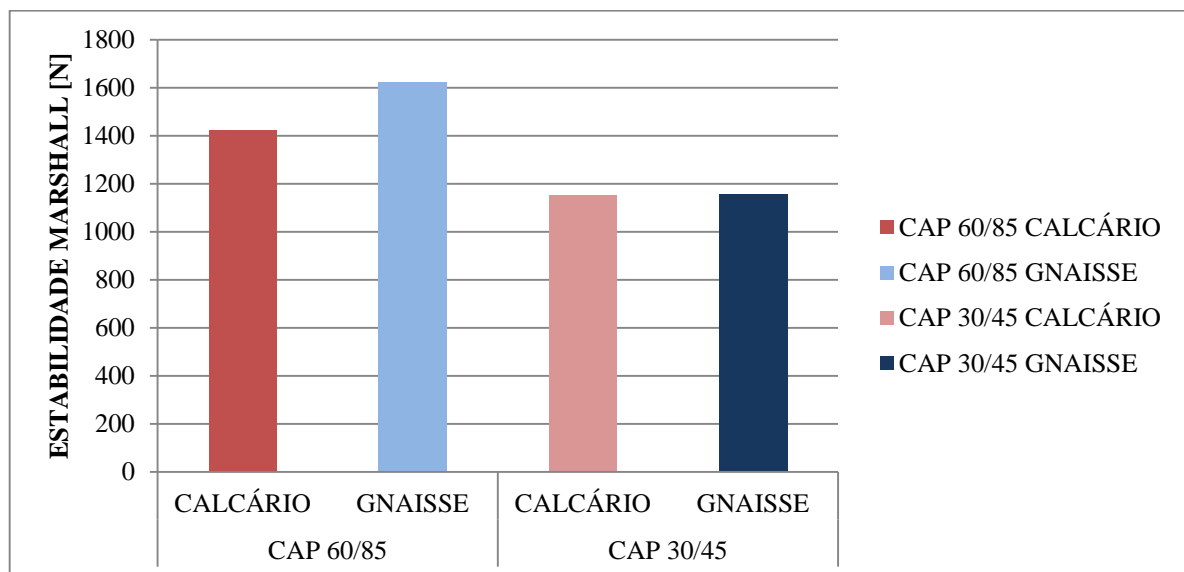
Tabela 10 - Média dos resultados da estabilidade obtidos no ensaio Marshall

ESTABILIDADE MARSHALL				
	CAP 60/85		CAP 30/45	
	CALCÁRIO	GNAISSE	CALCÁRIO	GNAISSE
Estabilidade [N]	1424,08	1623,87	1151,74	1155,67

Fonte: Autor 2015

Conforme tabela 9, a estabilidade do CBUQ para a mistura betuminosa com CAP 60/85 e agregado calcário foi de 1424,08 N; para a mistura do mesmo CAP e agregado gnaisse foi de 1623,87 N. Já para a mistura CAP 30/45 e agregado calcário, a estabilidade foi de 1151,71 N e a mistura com o mesmo CAP e agregado de gnaisse, foi de 1155,67 N.

Gráfico 2 - Média dos resultados da estabilidade obtidos no ensaio Marshall



Fonte: Autor 2015

Observando o gráfico, percebe-se que a estabilidade Marshall da mistura com o CAP 60/85 é consideravelmente maior que a mesma mistura com o CAP 30/45, produzindo assim, uma massa asfáltica mais estável e resistente.

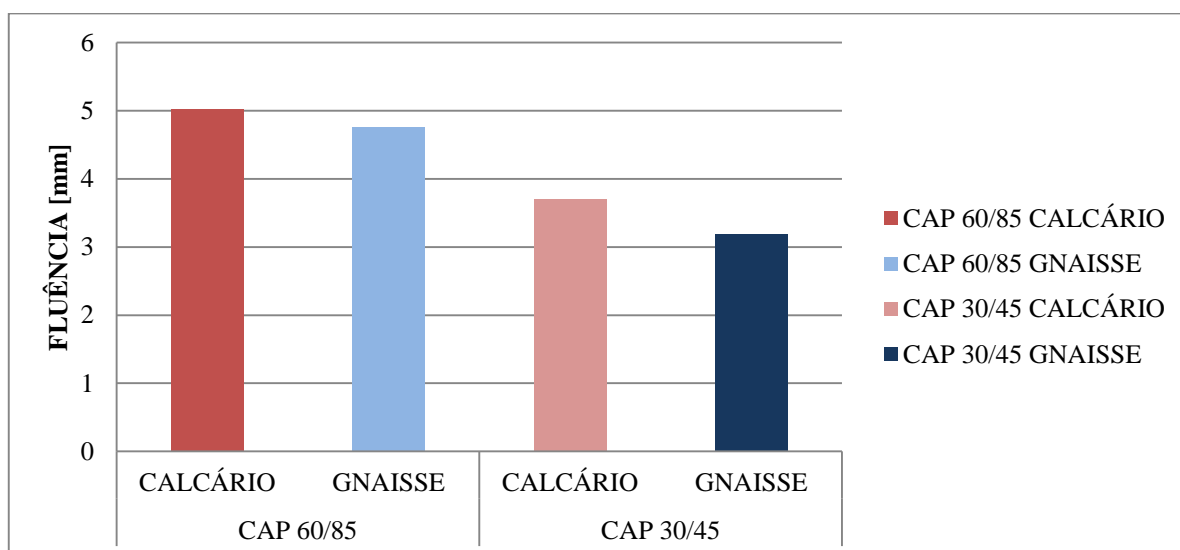
Tabela 11 - Média dos resultados da fluência obtidos no ensaio Marshall

FLUÊNCIA				
FLUÊNCIA [mm]	CAP 60/85		CAP 30/45	
	CALCÁRIO	GNAISSE	CALCÁRIO	GNAISSE
	5,03	4,76	3,71	3,18

Fonte: Autor 2015

Conforme tabela 11, a fluência da mistura betuminosa com CAP 60/85 e agregado de calcário foi de 5,03 mm; para a mistura com o mesmo CAP e agregado de gnaisse, foi de 4,76 mm. No CBUQ feito com CAP 30/45 e agregados de calcário, a fluência foi de 3,71 mm e o mesmo CAP com agregado de gnaisse, obteve 3,18 mm.

Gráfico 3 - Média dos resultados da fluência obtidos no ensaio Marshall



Fonte: Autor 2015

Conforme gráficos 2 e 3 e tabelas 10 e 11, foi encontrado um aumento de 32,09% na estabilidade Marshall e 42,09% de aumento na fluência da mistura asfáltica com CAP 60/85 com polímero SBS com relação ao CAP 30/45 convencional.

7.2.2 COMPARATIVO ENTRE AGREGADOS DE CALCÁRIO E AGREGADOS DE GNAISSE

Para a análise deste comparativo, foi feita uma média dos valores encontrados com o agregado de calcário e os CAPs 30/45 convencional e 60/85 com polímero SBS e uma média com o agregado de gnaïsse e os mesmos CAPs citados acima.

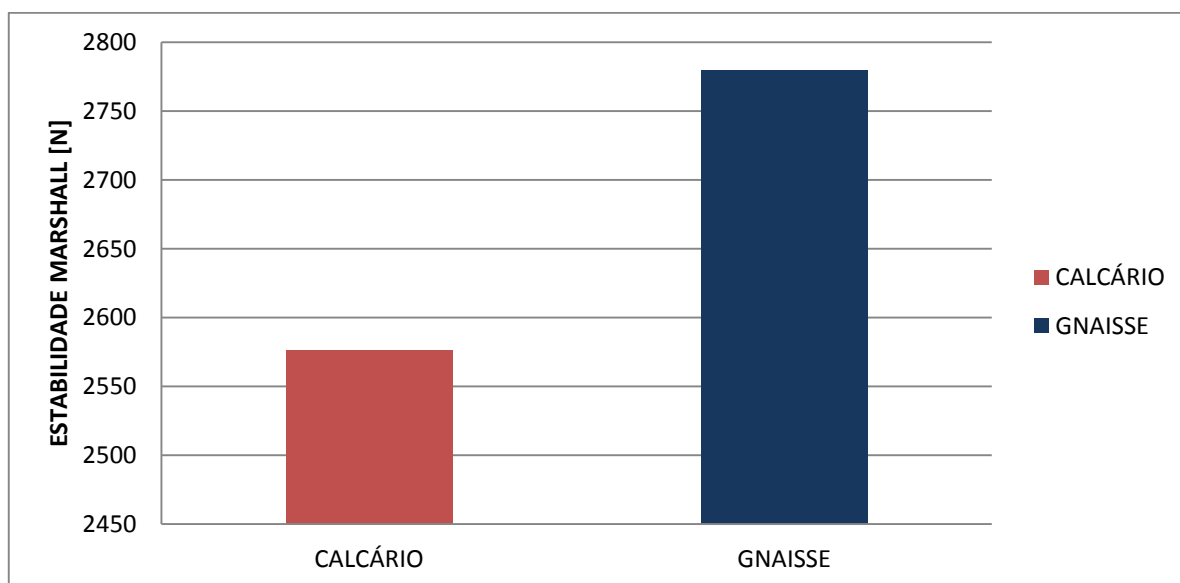
Tabela 12 - Média dos resultados da estabilidade obtidos no ensaio Marshall

ESTABILIDADE MARSHALL		
	CALCÁRIO	GNAISSE
ESTABILIDADE [N]	2575,82	2779,54

Fonte: Autor 2015

De acordo com a tabela 12, a estabilidade da massa asfáltica apenas com os agregados de gnaïsse foi de 2779,54 N, enquanto a mesma massa com agregados de calcário obteve uma estabilidade de 2575,82 N.

Gráfico 4 - Média dos resultados da estabilidade obtidos no ensaio Marshall



Fonte: Autor 2015

Conforme gráfico 4, o CBUQ com agregados de gnaïsse obteve 203,72 N a mais de estabilidade que a massa com agregados de calcário.

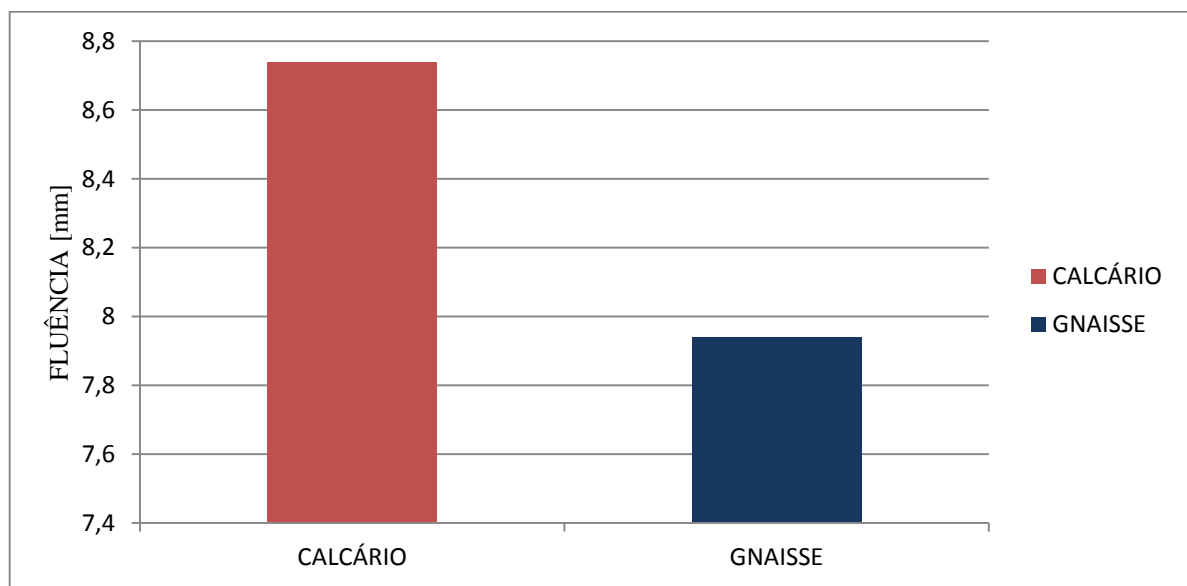
Tabela 13 - Média dos resultados da fluência obtidos no ensaio Marshall

FLUÊNCIA		
	CALCÁRIO	GNAISSE
FLUÊNCIA [mm]	8,74	7,94

Fonte: Autor 2015

Na tabela 13, observa-se que nas misturas feitas com agregados de calcário, obtiveram uma fluência de 8,74 mm e com agregados de gnaisse, 7,94 mm.

Gráfico 5 - Média dos resultados da fluência obtidos no ensaio Marshall



Fonte: Autor 2015

O CBUQ com agregado de calcário obteve fluência 0,80 mm maior que o mesmo com agregado de gnaisse.

Na comparação entre os agregados utilizados no ensaio, o gnaisse obteve uma estabilidade Marshall 7,91% maior que o calcário. Quanto à fluência, o calcário apresentou desempenho 10,08% melhor que o gnaisse.

8 CONCLUSÃO

Com este estudo pôde-se concluir que, com relação aos agregados de calcário e gnaisse, os gnáissicos se comportam melhor na massa asfáltica, conferindo ao CBUQ maior resistência a compressão devido à sua formação metamórfica e sua maior dureza.

Quanto ao comparativo de CAP, o CBUQ que utilizou o 60/85 com polímero SBS obteve resultados muito superiores, tanto de estabilidade Marshall quanto de fluência em relação à mesma mistura utilizando o CAP 30/45 convencional, devido às suas características, aumentando sua viscosidade, sua recuperação elástica e sua consistência, produzindo assim uma mistura mais estável e durável.

Os resultados foram favoráveis à utilização do CAP com polímeros SBS, por suas diversas características superiores ao CAP convencional, dando ao CBUQ maior estabilidade e durabilidade.

Já nos agregados, para uma conclusão precisa, deve-se observar a jazida na qual o material foi retirado, a contaminação que o mesmo possa ter, a formação rochosa, pois cada afloramento de rocha possui suas próprias características, sendo que dois gnaises extraídos de locais diferentes, podem apresentar características distintas. Neste caso, o gnaisse teve um comportamento superior ao calcário.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- _____.DNER – EM 129/2011: Cimento asfáltico de petróleo modificado por polímero elastomérico – Especificação de material. P. 01/04.
- _____.DNER – EM 396/99: Cimento asfáltico modificado por polímero - Especificação de material. P. 01/04.
- _____.DNER – ME 043/95: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall – Método de ensaio. P. 01/11.
- _____.DNER – ME 083/98: Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio. P. 01/05.
- _____.DNER – PRO 120/97: Coleta de amostras de agregados – Procedimento. P 01/05.
- _____.DNIT 031/2006 – ES: Pavimentos flexíveis - Concreto Asfáltico - Especificação de serviço. P 01/14.
- _____.DNIT 095/2006 – EM: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. P 01/06.
- BALBO, J.T. **Pavimentação asfáltica: materiais, projetos e restauração.** São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BAUER, L.A.F. (Coord.). **Materiais de construção 1.** 5. ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- BERNUCCI, L.B. et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros,** 1. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2008.
- LEINZ, V.; AMARAL, S.E. **Geologia geral.** 14. ed. rev. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 2003.
- MANUAL BÁSICO DE EMULSÕES ASFÁLTICAS. 2. ed. rev. amp. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.
- NEGRÃO, D.P. **Estudo de asfaltos modificados por polímeros do tipo RET para aplicação em pavimentos.** 2006. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia)-Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- PESQUISA CNT DE RODOVIAS 2014: RELATÓRIO GERENCIAL. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2014.
- POPP, J.H. **Geologia geral.** 6. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.
- SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1,** 2. ed. ampl. São Paulo: Pini, 2007.
- SENÇO, W. **Manual de técnicas de pavimentação: volume 2,** 1. ed. São Paulo: Pini, 2001.