

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

PATRÍCIA GRAZIELA CIBULSKI

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE DO CBUQ EM FUNÇÃO
DAS EXIGÊNCIAS DA ESPECIFICAÇÃO FI.02/105.92/004827/00**

**CASCABEL - PR
2017**

CENTRO UNIVERSITÁRIO ASSIS GURGACZ

PATRÍCIA GRAZIELA CIBULSKI

**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE DO CBUQ EM FUNÇÃO
DAS EXIGÊNCIAS DA ESPECIFICAÇÃO FI.02/105.92/004827/00**

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

Professor Pré-Orientador: Eng. Civil Esp.
Lincoln Salgado

**CASCADEL - PR
2017**

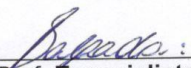
CENTRO UNIVERSITÁRIO FAG

PATRÍCIA GRAZIELA CIBULSKI

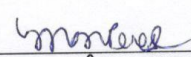
**COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DE ESTABILIDADE DO CBUQ EM FUNÇÃO
DAS EXIGÊNCIAS DA ESPECIFICAÇÃO FI.02/105.92/004827/00**

Trabalho apresentado no Curso de Engenharia Civil, do Centro Universitário Assis Gurgacz, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Professor **Engenheiro Civil Especialista LINCOLN SALGADO**.

BANCA EXAMINADORA


Orientador Prof. **Especialista LINCOLN SALGADO**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheiro Civil


Professora **Mestre ANDREA RESENDE SOUZA**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil


Professora **Mestre MARIA VÂNIA NOGUEIRA DO NASCIMENTO PERES**
Centro Universitário Assis Gurgacz
Engenheira Civil

Cascavel, 23 de Novembro de 2017.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio prestado durante a minha formação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

A meu pai Antonio Cibulski, a minha mãe Marli Bonifácio Cibulski e a minha irmã Heloisa Giovana Cibulski, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

A meu namorado, Anderson Hackbarth, que compartilhou comigo deste momento, me ajudando sempre que possível e sendo paciente em minhas ausências.

Ao professor Lincoln Salgado, pela paciência nas orientações e por todo o suporte prestado para a conclusão deste trabalho.

À Construtora de Obras SAMP, por proporcionar a coleta de dados necessária para o desenvolvimento do trabalho.

Ao laboratorista Augusto, da Construtora de Obras SAMP, pelo auxílio prestado para a realização dos ensaios.

Aos amigos e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, que torceram por mim e me apoiaram no decorrer da faculdade.

EPÍGRAFE

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo.
Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas
admiráveis. ”

José de Alencar.

RESUMO

Tendo em vista que os projetos de dosagem têm seus resultados de estabilidade determinados pela curva característica da tendência relativa de comportamento do material para diferentes teores de CAP, verificou se esta curva relativa proporciona valores condizentes com os resultados que foram obtidos em laboratório. Para tanto, foi adotada a Metodologia Marshall (DNER-ME 043/95), a qual orientou o trabalho e consistiu em moldar corpos de prova para teores de asfalto diferentes e ensaiá-los à tração por compressão diametral. Foram moldados três corpos de prova com diferentes teores de vazios. Os dados obtidos foram analisados através de gráficos e tabelas que foram elaborados de acordo com os resultados coletados. Com os resultados, demonstrou-se que a curva de tendência do comportamento é adequada ao cálculo de teores ótimos, contribuindo com a metodologia por comprovar sua análise estatística.

Palavras-chave: CBUQ. Estabilidade. CAP. Teor ótimo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação dos agregados segundo o DNIT.	17
Figura 2: Esquema representativo das camadas de pavimentos flexíveis.....	22
Figura 3: Esquema representativo das camadas de pavimentos rígidos.....	23
Figura 4: Extração do betume através do Rotarex	30
Figura 5: Secagem das britas.....	31
Figura 6: Peneiras utilizadas para granulometria	32
Figura 7: Aquecimento da mistura betuminosa.....	33
Figura 8: Compactação do corpos de prova	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características do CAP 50/70.....	21
Tabela 2: Composição da mistura granulométrica.	29
Tabela 3: Fator de correção da estabilidade em função da espessura do corpo de prova.	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Volume de vazios.....	36
Gráfico 2: Vazios cheio de betume	37
Gráfico 3: Volume de vazios dos agregados minerais	38
Gráfico 4: Relação betume/vazios.....	39
Gráfico 5: Estabilidade corrigida.....	40

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1: Determinação do Teor de Betume.....	31
Equação 2: Determinação do Volume de Vazios.....	34

LISTA DE ABREVIações E SIGLAS

ANP - Agência Nacional do Petróleo

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CAN – Cimento Asfáltico Natural

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado à Quente

CNT – Confederação Nacional do Transporte

DER/PR – Departamento de Estradas de Rodagens do Estado do Paraná

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ES-P – Especificação de Serviços Rodoviários

INFRAERO - Empresa Brasileira de Infraestrutura de Aeroportos

ME – Método de Ensaio

NBR – Norma Brasileira

RBV – Relação betume/vazios

VAM – Volume de vazios dos agregados minerais

VCB – Vazios cheio de betume

VV – Volume de vazios

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.....	14
1.1 INTRODUÇÃO	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	15
1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	16
1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE	16
1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	16
CAPÍTULO 2.....	17
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1.1 Agregados para pavimento	17
2.1.2 Materiais betuminosos.....	19
2.1.2.1 Cimento asfáltico.....	20
2.1.2.2 CAP 50/70	20
2.1.3 Pavimentos	21
2.1.3.1 Pavimentos flexíveis.....	22
2.1.3.2 Pavimentos rígidos	22
2.1.4 CBUQs	23
2.1.4.1 Resistência à tração	23
2.1.4.2 Resistência à fluência	24
2.1.4.3 Volume de vazios	24
2.1.4.4 Teor ótimo de asfalto em misturas betuminosas	24
2.1.5 Revestimentos asfálticos	24
2.1.6 Dosagem de misturas asfálticas	25
2.1.7 Produção de misturas asfálticas	25
2.1.8 Características Marshall	26
CAPÍTULO 3.....	28
3.1 METODOLOGIA.....	28
3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa	28
3.1.2 Materiais	28

3.1.2.1 Material asfáltico	28
3.1.2.2 Agregados	29
3.1.2.3 Composição da mistura	29
3.1.3 Métodos	29
3.1.3.1 Determinação do Teor de Betume	30
3.1.3.2 Análise granulométrica.....	32
3.1.3.3 Preparação dos corpos de prova	32
3.1.3.4 Determinação do índice de vazios	34
3.1.3.5 Determinação da estabilidade dos corpos de prova.....	34
3.1.4 Análise dos dados	35
CAPÍTULO 4.....	36
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1.1 Volume de vazios	36
4.1.2 Vazios cheios de betume	37
4.1.3 Volume de vazios dos agregados minerais.....	38
4.1.4 Relação betume/vazios	38
4.1.5 Estabilidade	39
CAPÍTULO 5.....	41
5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
CAPÍTULO 6.....	42
6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	42
REFERÊNCIAS	43
APÊNDICE A – ENSAIO DE DENSIDADE E CARACTERÍSTICAS MARSHALL ...	45
APÊNDICE B – ENSAIO DE EXTRAÇÃO DE BETUME PELO MÉTODO ROTAREX	46
APÊNDICE C – ENSAIO DE GRANULOMETRIA.....	47

CAPÍTULO 1

1.1 INTRODUÇÃO

Infraestrutura pode ser conceituada como um conjunto de equipamentos e serviços que são essenciais para o desenvolvimento das funções urbanas, podendo ser social, econômico e institucional (ANGELIS, 1997).

O sistema de infraestrutura urbana se subdivide em vários subsistemas, segundo sua função: sistema viário, sistema sanitário, sistema energético e sistema de comunicação (MASCARÓ, 2005). Dessa forma, dentro do sistema viário, inclui-se a pavimentação asfáltica, assunto que será tratado no presente trabalho. Essa é de grande importância para a população, visto que oferece qualidade de vida e garante o direito do cidadão de ir e vir.

Define-se pavimento como uma estrutura de várias camadas de espessuras finitas, que possui como objetivo suportar esforços do tráfego de veículos e do clima. Além disso, é primordial que possua conforto, economia e segurança para o tráfego dos usuários (BERNUCCI *et al*, 2008).

Consoante a pesquisas realizadas em 2016 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT), 48,3% dos trechos analisados mostraram falhas em relação à pavimentação. Esses dados demonstram que é necessário rever a importância da infraestrutura rodoviária, dando ênfase em projetos.

Sendo assim, é necessária a realização de ensaios para se obter o teor ótimo de ligantes que se enquadre nas especificações, pois se a mistura tiver ligante insuficiente, haverá nesse revestimento, uma desagregação prematura da superfície. E se tiver excesso de ligante, a superfície ficará escorregadia e deformável (CHAGAS *et al*, 2015).

Logo, sabendo que o CBUQ (Concreto Betuminoso Usinado à Quente) possui uma vasta heterogeneidade de suas propriedades, encontra-se a necessidade de realizar uma pesquisa, com o intuito de apresentar uma comparação da estabilidade do CBUQ para diferentes teores de asfalto, utilizando a Faixa de Trabalho 3 da especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero (Empresa Brasileira de Infraestrutura de Aeroportos), referente ao Aeroporto Internacional de Foz do Iguaçu/Cataratas. Para isso, foi utilizada a norma DNER-ME 043/93 (Misturas betuminosas usinadas à quente – Ensaio Marshall).

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Comparar o resultado de resistência à tração considerando os volumes de vazios máximos e mínimos descritos na especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Elaborar a dosagem do traço de CBUQ para a Faixa 3 da especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero;
- b) Determinar a resistência à tração dos corpos de prova com diferentes teores de CAP;
- c) Verificar as quantidades de CAP na mistura que atendem à especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero.

1.3 JUSTIFICATIVA

Realizar uma dosagem de ligantes adequada é primordial para se ter um melhor desempenho e menores ocorrências de patologias nas vias. Dessa forma, se faz necessária a realização de ensaios para se obter o teor ótimo de ligantes que se enquadre nas especificações, pois se a mistura tiver ligante insuficiente, haverá nesse revestimento, uma desagregação prematura da superfície. Caso ocorra o oposto e a mistura tiver excesso de ligante, acontecerá a exsudação no revestimento, deixando a superfície escorregadia e deformável (CHAGAS *et al*, 2015).

Sendo o modal rodoviário o principal modal de transporte de cargas e pessoas no Brasil, é notável sua importância econômica, ainda considerando que a grande maioria das rodovias brasileiras são executadas com pavimentos flexíveis. Estes têm como material mais nobre em sua construção, os concretos betuminosos usinados à quente, materiais que são constituídos de cimentos asfálticos de petróleo e agregados estabilizados granulometricamente. Dada a importância destes materiais na construção e conservação das

rodovias, possuem uma grande heterogeneidade de propriedades e estas merecem ser estudadas com afinco. Esta abordagem tem como principal contribuição demonstrar que é possível utilizar estes materiais de forma mais racional, tendo em vista que são materiais naturais e de fontes esgotáveis (MARIA, 2015).

Visando a melhor utilização de um recurso natural esgotável e motivando-se pela possibilidade de aprimorar a utilização deste recurso, além de ampliar o horizonte científico inerente a princípios de razoabilidade e economicidade, esta pesquisa busca auxiliar os critérios de escolha ou determinação dos teores de CAP.

1.4 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

É possível garantir resistência à tração do CBUQ, considerando a utilização de teores de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo) dosados em função de volumes de vazios diferentes de 3,5%?

1.5 FORMULAÇÃO DA HIPÓTESE

Espera-se demonstrar que a simples utilização de volume de vazios em 3,5% para a determinação de teor ótimo de CAP nem sempre fornece a melhor hipótese de trabalho para as dosagens de CBUQ.

1.6 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa foi realizada no Laboratório da Construtora de Obras SAMP, localizada na Rodovia BR 277 - s/n, Km 687, São Miguel do Iguaçu - PR. Os dados foram extraídos através de ensaios laboratoriais à tração por compressão diametral de corpos de prova moldados para uma faixa de trabalho de CBUQ, utilizando teores de vazios de 4, 4,5 e 5%.

Os dados obtidos foram analisados através de gráficos e tabelas para demonstrar se a curva de tendência do comportamento é adequada ao cálculo de teores ótimos. Para o presente trabalho, foi utilizada a Metodologia Marshall (DNER-ME 043/95).

CAPÍTULO 2

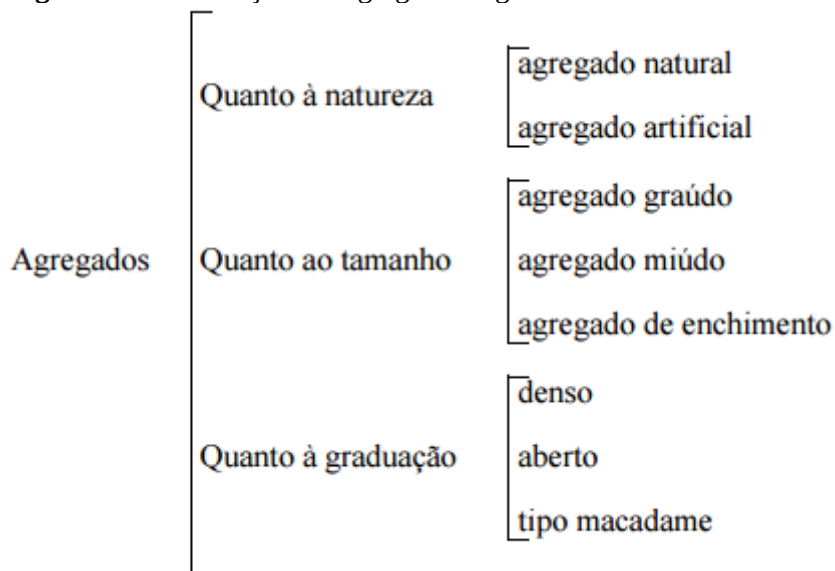
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 Agregados para pavimento

Segundo Senço (1997), agregados são materiais inertes, sem dimensão definida, granulares, que possuem como função a utilização para a composição de camadas ou misturas em diversos tipos de obra.

Consoante o DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - (2006), os agregados utilizados para a pavimentação podem ser classificados quanto à natureza, tamanho ou graduação. Na Figura 1 pode-se observar a divisão e subdivisão desta classificação.

Figura 1: Classificação dos agregados segundo o DNIT.



Fonte: DNIT, 2006.

Quanto à natureza, os agregados podem ser naturais, que são modificações de rochas, podendo ser causadas pelo intemperismo ou processos de britagem; ou artificiais, que são os que possuem algum processo industrial para a modificação química e/ou física do material de origem (DNIT, 2006).

Quanto ao tamanho, os agregados podem ser graúdos, miúdos ou de enchimento. Os agregados graúdos são os que ficam retidos na peneira número 10 (2mm). Os agregados miúdos são os que passam na peneira número 10 (2mm), porém ficam retidos na peneira número 200 (0,075mm). Os agregados de enchimento são os que passam, pelo menos, 65% na peneira número 200 (0,075mm) (DNIT, 2006).

Quanto à graduação, podem ser caracterizadas como densa, aberta ou tipo macadame. Os que possuem graduação densa têm curva granulométrica, apresentando materiais bem graduados e de forma contínua, tendo quantidade suficiente de material fino para preencher os vazios gerados pelas partículas de maior dimensão. Os agregados de graduação aberta possuem curva granulométrica, apresentando materiais bem graduados e de forma contínua, tendo quantidade insuficiente de material fino para preencher os vazios gerados pelas partículas de maior dimensão. O agregado tipo Macadame possui uniformidade granulométrica em suas partículas (DNIT, 2006).

Complementando as classificações impostas pelo DNIT, Senço (1997), considera importante classificar os agregados analisando o grau de esfericidade e de arredondamento.

O grau de arredondamento é referente à resistência mecânica e abrasão ligados à rocha mãe. Dessa forma, os agregados podem ser classificados como angulares, subangulares, subarredondados ou arredondados. Os angulares possuem todos os cantos vivos e não possuem indício de desgaste por abrasão. Os subangulares possuem os cantos levemente arredondados, indicando pouco desgaste por abrasão. Os subarredondados possuem os cantos bem arredondados, indicando pouco desgaste por abrasão. Os arredondados se aproximam de esferas, indicando muito desgaste por abrasão (SENÇO, 1997).

O grau de esfericidade é definido como a característica dos grãos de possuírem o formato aproximado de uma esfera. De acordo com o grau de esfericidade, os agregados podem ser esferoidais, achatados, prismáticos ou lamelares. Os esferoidais são os que mais se aproximam de uma esfera. Já os achatados são os que possuem um plano aproximadamente circular com pequenas espessuras. Os prismáticos possuem uma dimensão predominante às outras. E por último, os lamelares possuem a maior dimensão, seis vezes maior que a menor (SENÇO, 1997).

2.1.2 Materiais betuminosos

Segundo a norma brasileira NBR 7208/1990, betume é uma mistura de hidrocarbonetos, podendo ter consistência sólida, semissólida ou viscosa. Esse material pode ser obtido na natureza ou produzido artificialmente através do aquecimento do petróleo ou de outros materiais orgânicos.

De acordo com Bauer (1994), a utilização dos materiais betuminosos se dá principalmente no uso de obras rodoviárias para pavimentações e também é utilizado para impermeabilizações. Algumas características do betume são:

- a) Todos os componentes possuem solubilidade em dissulfeto de carbono (S_2C), e a maioria possui solubilidade em tetracloreto de carbono (Cl_4C);
- b) Por possuir poder ligante, podem ser utilizados como um aglomerante;
- c) É hidrófugo, ou seja, repele e não possui solubilidade à água;
- d) Possui baixo ponto de fusão, sendo sólido às temperaturas inferiores a $10^\circ C$ e viscoso até $50^\circ C$, quando fica totalmente fluido;
- e) Possui alta plasticidade;
- f) Possui baixa condutibilidade térmica, elétrica e de som;
- g) Incendeia-se com facilidade;
- h) Perde as propriedades características quando exposto ao ar livre ou ao calor.

Os materiais betuminosos podem ser divididos em dois grandes grupos: asfaltos e alcatrões. Os asfaltos são misturas de betumes minerais com solo, como silte, argila ou areia. Já o alcatrão, é um material betuminoso obtido através do aquecimento da hulha, madeira, turfa ou linhito e misturados com substâncias obtidas nos vegetais (BAUER, 1994).

Segundo a NBR 7208/1982, o asfalto betume pode ser classificado como:

- a) Betume: É uma mistura de hidrocarbonetos e possui um peso molecular elevado. Sua forma apresenta um corpo viscoso mais ou menos elástico;
- b) Ligante betuminoso: É uma mistura com base em betume e com propriedades aglomerantes;
- c) Asfalto: É um material que pode ser encontrado na natureza por jazidas ou por meio da destilação do petróleo material semissólido;
- d) Asfalto de petróleo: É o material obtido por meio da destilação do petróleo;
- e) Cimento asfáltico: É o material que oferece consistência ao pavimento; pode ser sólido ou semissólido.

2.1.2.1 Cimento asfáltico

Segundo o DNER (1996), o cimento asfáltico possui características adequadas para a realização de pavimentos. Ele pode ser cimento asfáltico de petróleo (CAP) ou cimento asfáltico natural (CAN).

Os cimentos asfálticos possuem como características: flexibilidade, durabilidade, aglutinação, impermeabilização e alta resistência à ácidos, sais e álcalis. São semissólidos à temperatura ambiente, dessa forma, é necessário aquecê-lo para o uso, para assim, possuir uma melhor consistência para a mistura com os agregados (DNER, 1996).

A classificação do cimento asfáltico de petróleo se dá pelo seu “grau de dureza”, medido pela penetração da agulha (DNER, 1996). Segundo Bauer (1994), o processo para obtenção da dureza é dado através da colocação de uma agulha-padrão, que possui diâmetro de 1,0 a 1,2mm, sobre uma amostra do material à 25°C, durante um período de cinco segundos, atuando uma carga de 100g. Portanto, o índice de penetração será o quanto a agulha penetrou na amostra em décimos de milímetros.

2.1.2.2 CAP 50/70

Um dos tipos de CAP é o CAP 50/70, cujas características são definidas pelo Regulamento Técnico da ANP (Agência Nacional do Petróleo) 03/2005, e podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1: Características do CAP 50/70.

Características	Unidade	Limites
		CAP 50-70
Penetração (100g, 5s, 25, °C)	0,1 mm	50 a 70
Viscosidade Saybolt-Furol	s	
a 135°C		141
a 150°C		50
a 177°C		30 a 150
Viscosidade Brookfield	cP	
a 135°C, SP 21, 20rpm min		274
a 150°C, SP 21, min		112
a 177°C, SP 21 min		57 a 285
Índice de susceptibilidade Térmica		(-1,5) a (+0,7)
Ponto de Fulgor mín	°C	235
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5
Ductilidade a 25°C, mín	cm	60
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163°C, 85 mín		
Varição em massa, máx	% massa	0,5
Ductilidade a 25°C	cm	20
Aumento do Ponto de Amolecimento	°C	8
Penetração retida	%	55

Fonte: Regulamento Técnico ANP nº 03, 2005 - Adaptada.

2.1.3 Pavimentos

Segundo o DNIT (2006), pavimento é o conjunto de camadas com espessuras finitas, assentes sobre um terreno denominado subleito. Segundo Senço (1996), subleito pode ser definido como a fundação do pavimento.

Consoante Balbo (2007), a função de se pavimentar uma via de circulação de veículos é melhorar a operacionalidade do tráfego, criando uma superfície mais regular, mais aderente e menos ruidosa, garantindo então maior segurança e conforto aos usuários.

Para Medina e Motta (2005), os pavimentos devem ter as seguintes características:

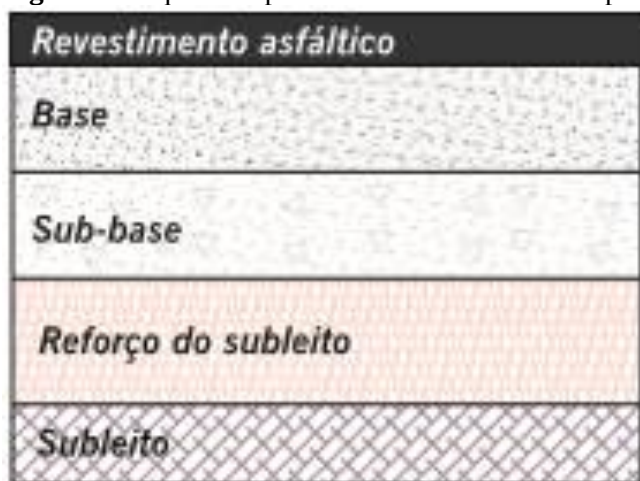
- Possuir resistência vertical e distribuir os esforços realizados pelo tráfego;
- Realizar um tráfego com conforto e segurança;
- Possuir resistência horizontal aos esforços atuantes, para garantir maior vida útil ao pavimento.

2.1.3.1 Pavimentos flexíveis

Segundo o DNIT (2006), pavimento flexível é aquele em que todas as camadas sofrem deformações elásticas. Logo, todas as camadas recebem variações de cargas semelhantes, de acordo com o carregamento.

Neste contexto, em Bernucci *et al* (2008), pavimentos flexíveis possuem uma camada superficial asfáltica, apoiada sobre camadas de base, sub-base e de subleito, realizadas com materiais granulares, solos ou misturas de solos, não possuindo em seus componentes agentes cimentantes. A Figura 2 representa as camadas de um pavimento flexível.

Figura 2: Esquema representativo das camadas de pavimentos flexíveis.



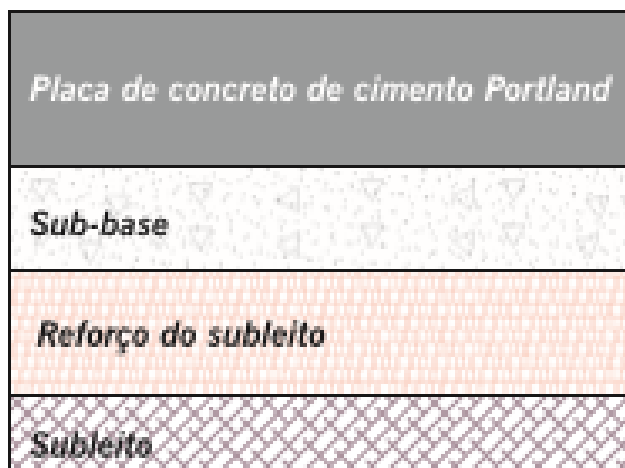
Fonte: Bernucci *et al*, 2008.

2.1.3.2 Pavimentos rígidos

Conforme o DNIT (2006), pavimentos rígidos são aqueles em que o revestimento possui maior rigidez em relação aos demais. Dessa forma, absorve praticamente toda a carga aplicada ao pavimento.

De acordo com Bernucci *et al* (2008), pavimentos rígidos são os que possuem uma camada de concreto de cimento Portland, apoiadas sobre a sub-base, realizada com material granular ou material ou material estabilizada com cimento, sobre o subleito ou reforço do subleito. A Figura 3 representa as camadas de um pavimento rígido.

Figura 3: Esquema representativo das camadas de pavimentos rígidos.



Fonte: Bernucci *et al*, 2008.

2.1.4 CBUQs

O concreto betuminoso usinado à quente é a mistura asfáltica mais empregada no país para a construção de pavimentos (BALBO, 2007). Consoante ao DER/PR (2005), o CBUQ é uma mistura asfáltica de agregados minerais e cimento asfáltico de petróleo, realizada em usina, e comprimida à quente.

O CBUQ é utilizado para construção de revestimento de pavimentos, assim como capas de rolamento e camadas de ligação subjacentes aos revestimentos. É realizado através de mistura de agregados, de material fino de enchimento e de cimento asfáltico de petróleo (BALBO, 2007).

2.1.4.1 Resistência à tração

Segundo Balbo (2007), resistência é o valor da força ou pressão que causa ruptura no material.

Bernucci *et al* (2007), afirmam que a resistência à tração é um parâmetro importante para caracterização de cimentos Portland e misturas asfálticas. Para a determinação desse parâmetro, utilizam-se ensaios aplicando duas forças concentradas em lados opostos, gerando tensões de tração uniformes perpendiculares ao diâmetro.

2.1.4.2 Resistência à fluência

Balbo (2007) define fluência como a deformação vertical que a amostra sofre imediatamente antes da ruptura e pode ser medida em centésimos de polegada ou em milímetros.

2.1.4.3 Volume de vazios

O volume de vazios é uma propriedade volumétrica que possui grande importância para o concreto asfáltico. A necessidade de se ter volumes de vazios dentro da mistura compactada se dá para permitir a expansão térmica de ligantes e suportar a leve compactação causada pelo tráfego. Volumes de vazios menores que 3%, comprometem o desempenho das misturas quanto ao afundamento em trilha de rodas, e maiores que 8% comprometem a durabilidade (INSTITUTO DO ASFALTO, 1998 *apud* THOMAS, 2014).

2.1.4.4 Teor ótimo de asfalto em misturas betuminosas

A dosagem de misturas asfálticas, baseia-se na escolha através de procedimentos laboratoriais de um teor ótimo de ligante. O teor ótimo pode considerar vários critérios, como por exemplo, pode variar em função dos parâmetros de energia de compactação, tipo de mistura ou temperatura a qual o pavimento será submetido (BERNUCCI *et al*, 2007).

2.1.5 Revestimentos asfálticos

O revestimento é a camada do pavimento que se destina a receber a carga dos veículos, e recebe diretamente a ação climática. Sendo assim, essa camada deve ser a mais impermeável e resistente possível aos esforços de contato entre o pneu e o pavimento (BERNUCCI *et al*, 2008).

De acordo com Senço (2001), revestimento é a camada mais nobre de um pavimento. Então, para sua execução devem-se realizar ensaios detalhados de dosagem e rigorosos ensaios de controle.

Segundo Bernucci *et al* (2008), a composição da maioria dos revestimentos de pavimentos brasileiros é realizada com uma mistura de agregados minerais, de diferentes

tamanhos. A qualidade do pavimento está relacionada com um projeto adequado da estrutura do pavimento, assim como com o projeto de dosagem da mistura compatível com as outras camadas escolhidas.

2.1.6 Dosagem de misturas asfálticas

Segundo Balbo (2008), os objetivos de se dosar uma mistura asfáltica são:

- a) Obter uma mistura que tenha boa trabalhabilidade com boa durabilidade, utilizando um teor adequado de asfalto e possuindo estabilidade relativa às ações de cargas estáticas ou móveis;
- b) Possuir quantidade de vazios adequados;
- c) Possuir uma mistura que possua baixa suscetibilidade às fissuras;
- d) Possuir baixa deformação permanente.

De acordo com Bernucci *et al* (2008), o método de dosagem mais utilizado no mundo é o Método Marshall, que é empregado para se definir a proporção de agregado e ligante. Consoante a Balbo (2007), o Método Marshall consiste na análise de algumas propriedades em laboratório, fixando a distribuição granulométrica, variando o teor do betume nos corpos de prova; e só pode ser utilizado para misturas asfálticas usinadas à quente.

Existe ainda a dosagem *Superpave*, que é largamente utilizada nos Estados Unidos desde 1993, e ainda está em fase de testes no Brasil. Nesta dosagem é determinado um teor provável de projeto, através da fixação do volume de vazios e conhecimento da granulometria dos agregados (BERNUCCI *et al*, 2008).

2.1.7 Produção de misturas asfálticas

De acordo com Senço (2001), a produção de misturas pode ser classificada como pré-misturada à quente ou pré-misturada à frio, diferenciando-as através da temperatura a qual o agregado é utilizado.

O pré-misturado à quente é resultante da mistura de agregados e cimento asfáltico de petróleo realizado à quente em usina, sendo espalhado e comprimido à quente e pode ser utilizado como base de pavimentação, camada de regularização ou revestimento. Necessita de grande rigorosidade, controle na dosagem e maior controle na execução (SENÇO, 2001).

Para a produção do concreto betuminoso usinado à quente, deve-se antes da usinagem, dosar corretamente os agregados e utilizar o tambor de aquecimento para garantir que os agregados estejam perfeitamente secos na produção. O tambor de aquecimento garante também que a temperatura se eleve de modo a ficar compatível com o da usinagem do CAP, para não ocasionar queda na temperatura da mistura (BALBO, 2007).

O pré-misturado à frio é o produto resultante da mistura dos agregados minerais e asfalto diluído ou emulsão asfáltica e comprimido à frio. Pode ser utilizado para as mesmas finalidades do pré-misturado à quente (SENÇO, 2001).

2.1.8 Características Marshall

Segundo a especificação de serviços ES-P 21/05 (Pavimentação: concreto asfáltico usinado à quente), para o Ensaio Marshall utiliza-se a dosagem de misturas betuminosas de acordo com a norma DNER-ME 043/95, para a verificação das condições de vazios, estabilidade e fluência da mistura betuminosa. Tendo a necessidade de complementar com ensaios de resistência à tração por compressão estática, através do método de ensaio DNER-ME 136/10 (Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência por compressão diametral – Método de ensaio).

As características Marshall são descritas:

- a) Estabilidade pode ser conceituada como a máxima força vertical a qual o corpo de prova é submetido quando ensaiado diametralmente. É a força que leva a amostra a ruptura (BALBO, 2007).
- b) Fluência é a deformação obtida pela amostra antes do corpo de prova romper (BALBO, 2007).
- c) Massa específica aparente é a razão entre a massa seca do corpo de prova compactado pelo somatório do volume de asfalto, o volume efetivo do agregado e o volume de ar. É facilmente determinado em laboratório pela diferença entre a massa do corpo de prova pesado em balança convencional e hidrostática (BERNUCCI *et al*, 2008).
- d) Densidade máxima teórica: É dada pela ponderação entre as massas dos constituintes da mistura asfáltica (BERNUCCI *et al*, 2008).
- e) Densidade máxima medida: é a razão entre a massa do agregado mais ligante asfáltico e a soma dos volumes dos agregados, vazios impermeáveis e permeáveis não preenchidos com asfalto e total de asfalto (BERNUCCI *et al*, 2008).

- f) Volume total de vazios: representa o volume de vazios na mistura asfáltica compactada (BERNUCCI *et al*, 2008).
- g) Volume de vazios nos agregados minerais: representa o que não é agregado na mistura (BERNUCCI *et al*, 2008).
- h) Volume de vazios cheios com betume: é o asfalto disponível para a mistura junto ao absorvido (BERNUCCI *et al*, 2008).
- i) Relação betume/vazios: relação entre o volume de vazios do agregado que são preenchidos com betume e o volume de vazios no agregado (BALBO, 2007).
- j) Densidade aparente: é a relação entre massa e volume (BALBO, 2007).
- k) Porcentagem de vazios: é a relação entre o volume de vazios e o volume total da amostra compactada (BALBO, 2007).

CAPÍTULO 3

3.1 METODOLOGIA

3.1.1 Tipo de estudo e local da pesquisa

O método de pesquisa utilizado foi a pesquisa aplicada, pois objetivou gerar conhecimentos para aplicação prática, e a exploratória, considerando buscar maior aprofundamento sobre o tema em questão.

A pesquisa foi realizada através de análises laboratoriais, nos laboratórios da Construtora de Obras SAMP, localizada em São Miguel do Iguaçu - PR.

Para isso foram realizadas as dosagens de traços de CBUQ, utilizando a composição granulométrica do traço de CBUQ da Faixa 3, conforme a especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero com CAP convencional.

Com as dosagens, foram feitas as caracterizações mecânicas, a fim de determinar os N teores para os quais sejam distintos do volume de vazios de 3,5% e que sejam passíveis de serem utilizados.

3.1.2 Materiais

Foram utilizados CAP 50/70 e materiais granulares graúdos e miúdos. Todos os materiais satisfizeram as diretrizes da especificação de serviços rodoviários ES-P 21/05.

3.1.2.1 Material asfáltico

A especificação de serviço ES-P 21/05 recomenda a utilização de cimentos asfálticos CAP 30-45, CAP 50-70 ou CAP 85-100. Dessa forma, foi utilizado como material asfáltico o CAP 50-70, pois é o material mais utilizado na região e de mais fácil obtenção de materiais para a realização dos ensaios.

3.1.2.2 Agregados

O agregado graúdo utilizado foi pedra britada. Já o agregado miúdo utilizado foi uma mistura de areia e pó de pedra. Tanto o agregado graúdo quanto o miúdo devem ser limpos e livres de torrões de argila e outras substâncias nocivas. O material de enchimento utilizado foi a cal hidratada. Os materiais utilizados foram fornecidos pela Mineradora SAMP, localizada no oeste do Paraná.

3.1.2.3 Composição da mistura

A mistura deve ter a composição granulométrica indicada na Tabela 2. A faixa de trabalho escolhida para ser utilizada foi a Faixa 3.

Tabela 2: Composição da mistura granulométrica.

ABERTURA DE PENEIRA	PORCENTAGEM QUE PASSA			
Polegadas	Faixa 1	Faixa 2	Faixa 3	Faixa 4
1 1/2	100	-	-	-
1	79-98	100	-	-
3/4	-	80-98	100	-
1/2	61-84	68-93	80-98	100
3/8	-	-	-	79-96
nº 4	42-66	45-75	55-80	59-85
nº 10	31-55	32-62	40-66	43-70
nº 40	16-34	16-37	22-40	23-42
nº 80	10-22	10-24	12-26	13-26
nº 200	3-7	3-8	3-8	4-8

Fonte: Infraero, 2011.

3.1.3 Métodos

O método utilizado para a moldagem dos corpos de prova e para o processo de determinação da resistência à tração destes foi o método Marshall, seguindo as prescrições da norma rodoviária DNER-ME 043/95.

3.1.3.1 Determinação do Teor de Betume

Primeiramente, pesou-se o recipiente junto ao filtro e zerou-se a balança. Após isso, pesou-se o material e anotou-se a massa.

Então, foi colocada a mistura em um recipiente com o filtro de proteção utilizado para evitar perda de material e levado ao equipamento Rotarex para realização da limpeza, com uma solução de tricloroetileno, como mostra a Figura 4.

Figura 4: Extração do betume através do Rotarex



Fonte: Autor, 2017.

Inicialmente, colocou-se em uma velocidade baixa e foi aumentando-se gradativamente para não ocorrer perda de material, por um período aproximado de 3 a 4 minutos. Repetiu-se o procedimento para completa lavagem. Em seguida, os agregados estavam separados do betume.

Então, colocou-se a mistura para secar, junto ao filtro utilizado, para evitar perda de material, conforme mostra a Figura 5. O filtro foi queimado junto com a mistura.

Figura 5: Secagem das britas



Fonte: Autor, 2017.

Após a realização de completa secagem das britas, foi novamente pesado, e anotado como massa sem asfalto.

Então, posterior a realização dos ensaios, foi utilizada a Equação 01 para determinação do teor de betume.

$$P = \frac{\text{peso do betume extraído}}{\text{peso da amostra total}} * 100 \quad (01)$$

Onde:

P – Teor de betume

3.1.3.2 Análise granulométrica

Com o material obtido através da extração do betume, foi realizada a granulometria manual do material, utilizando as peneiras 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", n.º 4, n.º 10, n.º 40, n.º 80 e n.º 200, conforme mostra a Figura 6.

Figura 6: Peneiras utilizadas para granulometria



Fonte: Autor, 2017.

Foi pesado e anotado o material que ficava retido em cada peneira, para realização da análise granulométrica.

3.1.3.3 Preparação dos corpos de prova

Foram moldados 3 (três) corpos de prova com um material pré-preparado utilizado para pavimentação e separado para realização de testes de granulometria e resistência.

Para isso, primeiramente foi aquecido o material, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7: Aquecimento da mistura betuminosa



Fonte: Autor, 2017.

Após o aquecimento, foi misturado e quarteado o material, de modo a ficar o mais homogêneo possível. Foi separado 1250g do material, colocado em uma base aquecida à 150°C em estufa, e realizado a compactação manual com 75 golpes de cada lado (Figura 8). Repetiu-se o procedimento para cada corpo de prova.

Figura 8: Compactação do corpos de prova



Fonte: Autor, 2017.

Após isso, foram reservados os corpos de prova até total resfriamento.

3.1.3.4 Determinação do índice de vazios

Para determinação do índice de vazios, foi realizada a pesagem de cada corpo de prova ao ar, e do corpo de prova submerso em água e anotadas as respectivas massas. Na sequência, foi utilizada a Equação 02, para definir o índice de vazios.

$$V_v = \frac{\text{Densidade teórica} - \text{Densidade aparente}}{\text{Densidade teórica}} \quad (02)$$

Onde:

V_v – Volume de vazios

3.1.3.5 Determinação da estabilidade dos corpos de prova

Para determinação da estabilidade, os referidos foram imersos em banho-maria a uma temperatura aproximada de 60°C por trinta minutos e em seguida, deixou-se os corpos de prova em descanso por 10 minutos.

Posteriormente, foi realizada a medida da altura dos corpos de prova em quatro posições equidistantes e colocados no molde de compressão para o rompimento. Em seguida, os moldes foram dispostos na prensa, para realizar a medida da estabilidade. A prensa deve operar em uma velocidade de cinco centímetros por minuto até ocorrer o rompimento do corpo de prova.

A carga necessária para produzir o rompimento do corpo de prova (convertida em N) é a estabilidade lida, sendo corrigida multiplicando-se pelo fator em função da espessura do corpo de prova, conforme a Tabela 3. Então, o resultado obtido é a Estabilidade Marshall.

Tabela 3: Fator de correção da estabilidade em função da espessura do corpo de prova.

ESPESSURA (mm)	FATOR	ESPESSURA (mm)	FATOR	ESPESSURA (mm)	FATOR
50,8	1,47	56,3	1,22	64,3	0,98
51	1,45	56,6	1,21	64,7	0,97
51,2	1,44	56,8	1,2	65,1	0,96
51,6	1,43	57,12	1,19	65,6	0,95
51,8	0,142	57,4	1,18	66,1	0,94
52	1,41	57,7	1,17	66,7	0,93
52,2	1,4	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	0,9
52,9	1,37	59	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	1,1	69,9	0,86
53,8	1,33	60,3	1,09	70,3	0,85
54	1,32	60,6	1,08	70,8	0,84
54,2	1,31	60,9	1,07	71,4	0,83
54,5	1,3	61,1	1,06	72,2	0,82
54,7	1,29	61,4	1,05	73	0,81
54,9	1,28	61,9	1,04	73,5	0,8
55,1	1,27	62,3	1,03	74	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	76,2	0,76
56,1	1,23	63,9	0,99		

Fonte: DNER, 1995.

3.1.4 Análise dos dados

A partir dos dados obtidos em laboratório com os ensaios, foi realizada a produção de gráficos e tabelas com o auxílio do software computacional *Microsoft Office Excel*.

CAPÍTULO 4

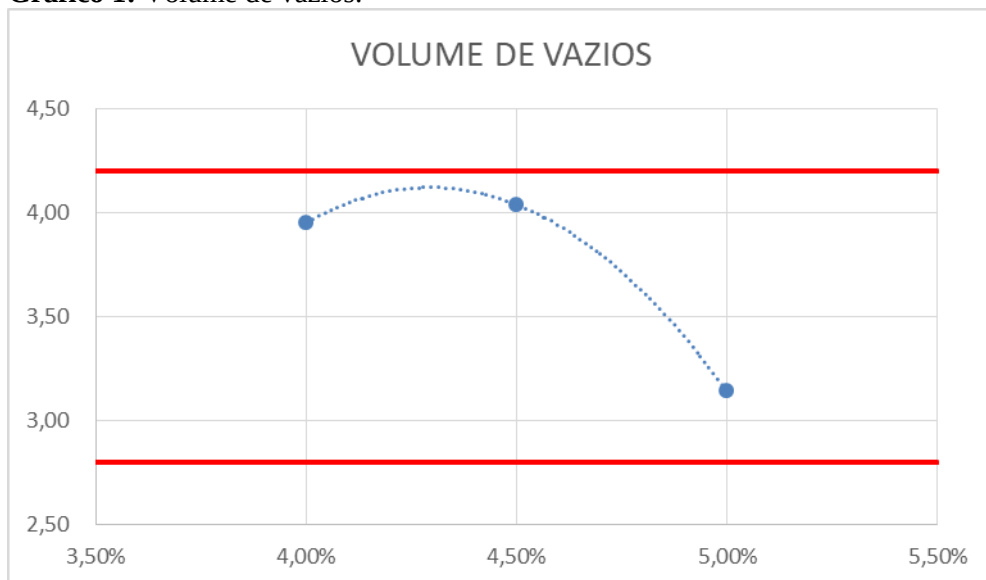
4.1 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização dos ensaios dos corpos de prova, foram obtidos os resultados conforme apêndices A, B e C e após isso, foram plotados gráficos para melhor visualização dos resultados. Foram realizadas dosagens com teores de CAP de 4, 4,5 e 5%.

4.1.1 Volume de vazios

O volume de vazios tem por objetivo verificar se foi realizada uma compactação adequada para permitir a expansão térmica e a compactação causada pelo tráfego. É necessário ter-se um volume de vazios adequado, pois se tiver um índice baixo, há afundamento em trilha de rodas; e com um índice muito alto compromete-se a durabilidade do pavimento. Dessa forma, os resultados obtidos são mostrados no Gráfico 1.

Gráfico 1: Volume de vazios.



Fonte: Autor, 2017.

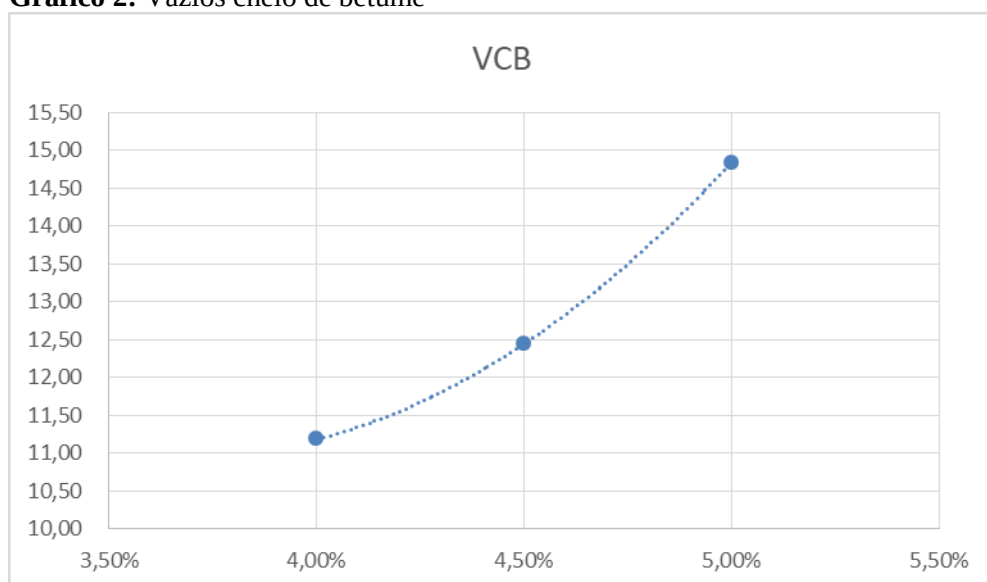
Ao analisar o gráfico de volume de vazios, pode-se perceber que este tem seu ponto de máximo em uma dosagem com 4,29% de CAP, possuindo um volume de vazios de 4,12%, e seu menor valor na dosagem realizada com 5% de CAP, possuindo 3,12% de volume de vazios. Segundo a especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero, o volume de vazios

pode variar de 2,8 a 4,2%. Dessa forma, todas as dosagens realizadas estão de acordo com a especificação para o volume de vazios.

4.1.2 Vazios cheios de betume

A relação vazios cheios de betume abrange tanto a camada que envolve o betume quanto aquela absorvida pelo agregado. Dessa forma, quanto maiores os vazios cheios de betume, a mistura ficará mais adequada, visto que se terá uma mistura com poucos vazios entre agregados e ligantes. O Gráfico 2, mostra os resultados obtidos em laboratório para a característica.

Gráfico 2: Vazios cheio de betume



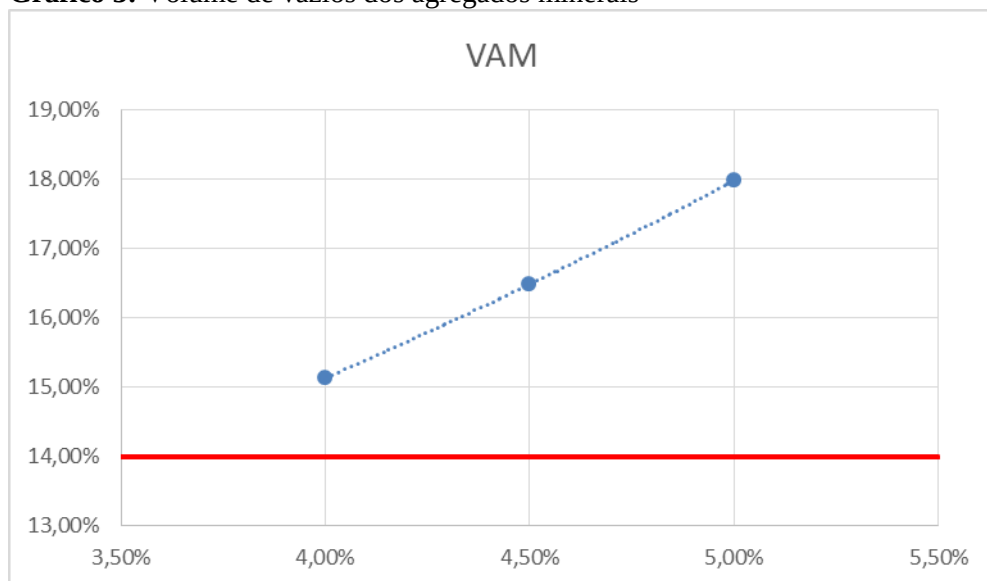
Fonte: Autor, 2017.

Analisando o Gráfico 2, é possível verificar que quanto maior a quantidade de CAP, maior os vazios cheio de betume, assim como, é constatável uma variação de 11,18% a 14,83% de vazios cheio de betume, para as porcentagens de CAP de 4% e 5%, respectivamente.

4.1.3 Volume de vazios dos agregados minerais

O volume de vazios dos agregados minerais representa o que não é agregado em uma mistura, equivalendo aos vazios com ar e asfalto efetivo. Os resultados obtidos com os ensaios para o volume de vazios dos agregados minerais podem ser observado no Gráfico 3.

Gráfico 3: Volume de vazios dos agregados minerais

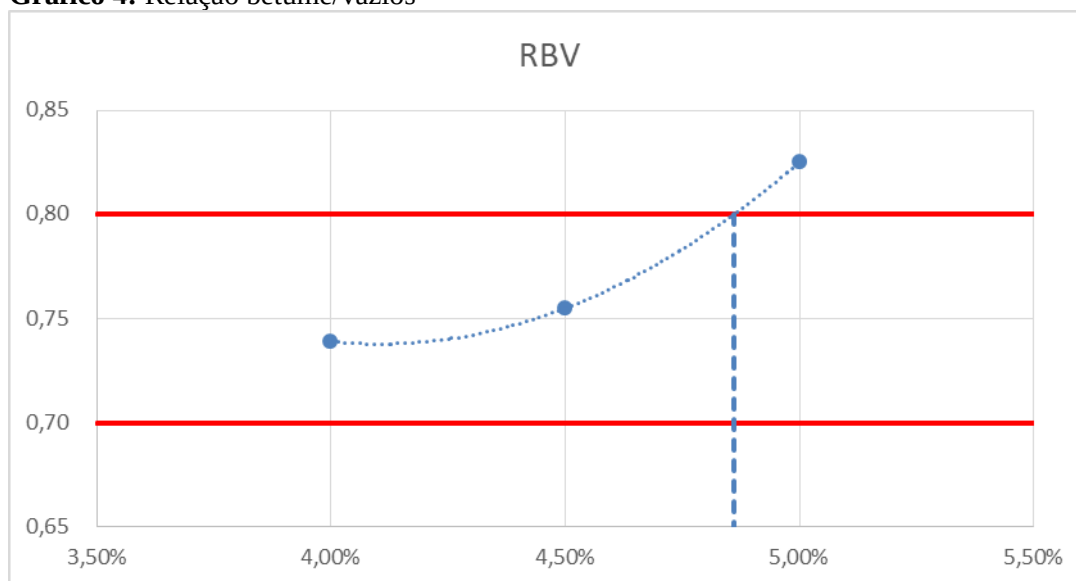


Fonte: Autor, 2017.

O limite mínimo do volume de agregados minerais, segundo a especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero, é dado pelo diâmetro máximo utilizado. Como o diâmetro máximo foi 19,1 mm, a porcentagem mínima aceitável para essa característica é de 14%. Como pode-se observar no Gráfico 3, o volume de vazios varia de 15,13% a 17,97%, atendendo dessa forma, a especificação.

4.1.4 Relação betume/vazios

A relação betume/vazios indica se a quantidade de CAP para a quantidade de agregados minerais está em conformidade com as quantidades, para que não aconteça desagregação por falta de ligante e nem exsudação por excesso. A relação betume/vazios possui um aumento crescente conforme aumenta a porcentagem de CAP, como é possível observar no Gráfico 4.

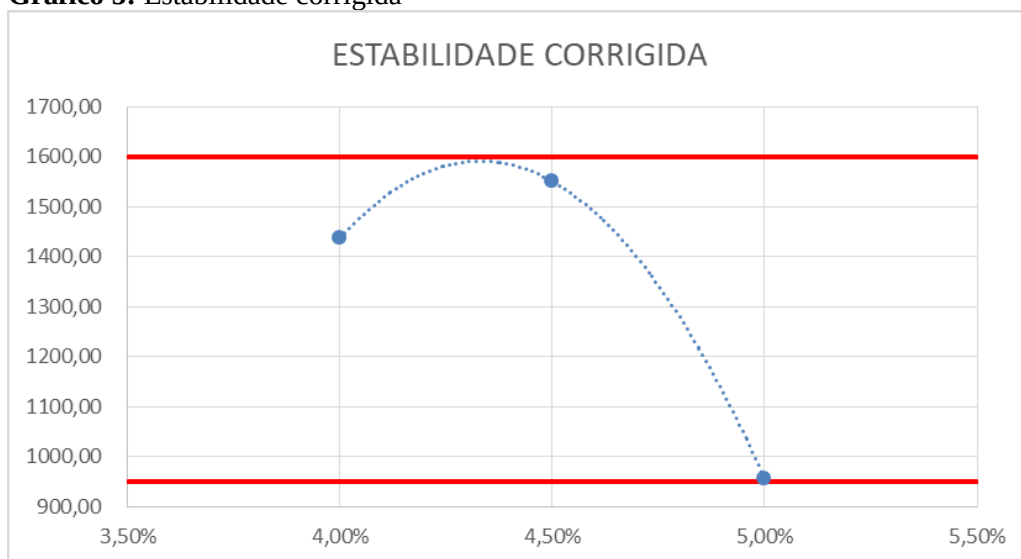
Gráfico 4: Relação betume/vazios

Fonte: Autor, 2017.

É possível observar, através do Gráfico 4, uma variação na relação betume/vazios de 0,74 a 0,83. Segundo a especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero, a relação betume/vazios pode variar de 0,7 a 0,8. Dessa forma, percebe-se que para teores de CAP superiores a 4,86%, o valor da relação betume/vazios ultrapassa os limites estabelecidos pela norma, sendo assim, o fator determinante para a escolha do teor ótimo.

4.1.5 Estabilidade

Estabilidade é a grandeza que mede a resistência da massa asfáltica devido a aplicação de uma carga, sendo essa a máxima carga que o corpo de prova pode suportar. Os resultados obtidos podem ser observados no Gráfico 5.

Gráfico 5: Estabilidade corrigida

Fonte: Autor, 2017.

Ao realizar a análise do Gráfico 5, pode-se perceber que houve uma variação de 955,85 kgf a 1599 kgf. Segundo a especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero, a estabilidade mínima para camadas de rolamento deve ser de 950 kgf e a máxima 1600 kgf. Dessa forma, todos os teores de CAP utilizados atendem a especificação.

CAPÍTULO 5

5.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante dos objetivos de se comprovar que há a possibilidade de serem utilizados diferentes teores de CAP, que atendam às especificações impostas pela Infraero, foram moldados corpos de prova com teores de 4, 4,5 e 5% de CAP.

Com os dados obtidos nos ensaios e apresentados neste trabalho, foi possível concluir que existe uma faixa de valores, os quais podem ser utilizados como teor de projeto, o que definirá se o teor é ou não adequado para o uso é efetivamente a especificação.

Assim, em relação aos resultados obtidos é prudente que a única característica deste material para a especificação utilizada, que limita a faixa de teores é a relação entre betumes e vazios, sendo que a partir de 0,80 não é admissível para aplicação, neste caso o teor fica limitado a 4,86%.

Dessa forma, o fator determinante para a escolha do teor ótimo, foi a relação betume/vazios, visto que teve uma faixa de valores de CAP que não atendeu à especificação FI.02/105.92/004827/00 da Infraero para essa característica.

Assim, pode-se concluir que nem sempre a utilização da média da especificação para volume de vazios para a determinação de teor ótimo de CAP fornece a melhor hipótese de trabalho para as dosagens de CBUQ. Neste caso, o teor seria de 4,79%, o que deixa o teor de CAP muito próximo da faixa de exclusão do material em função da relação entre betumes e vazios.

As dosagens realizadas com CAP entre 4 e 4,86% são, então, os teores de CAP que atendem a todas as especificações da Infraero. Sendo que os valores de vazios correspondem entre 3,49% a 4,12%.

Fica evidenciado que a utilização da média dos volumes de vazios da especificação nem sempre fornecem o melhor resultado na escolha do teor ótimo de CAP.

CAPÍTULO 6

6.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Buscando aprimorar os estudos de dosagem de CBUQ, sugerem-se os seguintes temas para pesquisas futuras:

- a) Repetir a abordagem utilizando faixas granulométricas diferentes;
- b) Comparar os resultados com resultados da Faixa C do DNIT;
- c) Verificar a superfície específica da mistura granulométrica e comparar o teor ótimo pela equação de Duriez com o teor ótimo escolhido.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7208: Materiais betuminosos para emprego em pavimentação**. Rio de Janeiro, 1990.

ANGELIS, Generoso de. ZMITROWICZ, Witold. **Infraestrutura Urbana**. Escola Politécnica da USP, São Paulo, 1997.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação Asfáltica**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BAUER, L. A. F. **Materiais de Construção**. Volume 2. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A, 1994.

BERNUCCI, L. B, CERATTI, J. A.P, MOTTA, L. M. G, SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica – Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro, 2008.

CHAGAS, M. B, CHAGAS, R. M. P, LIRA, Y.C, MENDONÇA, A. M. G. D, SEVERINO, R.R.F. **Análise de estabilidade Marshall em misturas asfálticas com adição de resíduo oleoso da indústria petrolífera**. Congresso Nacional Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC, Fortaleza, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT aponta 58,7% das rodovias com problemas**. Disponível em: <
<http://www.cnt.org.br/Imprensa/noticia/pesquisa-cnt-aponta-58-das-rodovias-com-problemas>> Acesso em: 18 de março de 2017.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Pavimentação: Concreto asfáltico usinado à quente**. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Pavimentação**. Rio de Janeiro, 1996.

_____. **Método de ensaio: Misturas betuminosas a quente – ensaio Marshall**. 1995.

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

_____. **Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE INFRA-ESTRUTURA AEROPORTUÁRIA. **Especificação técnica específica – ETE FI.02/105.92/004827/00**. Foz do Iguaçu, 2017.

_____. **Termo de Referência**. Brasília, 2011.

MARIA, Fabiano Eloi. **Melhorias expressivas apresentadas com a utilização de polímeros no comportamento mecânico do c.b.u.q. (concreto betuminoso usinado à quente)**. Faculdade Assis Gurgacz, 2015.

MASCARÓ, Juan Luís; YOSHINAGA, Mário. **Infraestrutura urbana**. Porto Alegre: Editora Mais Quatro, 2005.

MEDINA, Jacques de; MOTTA, Laura Maria Goretti da. **Mecânica dos Pavimentos**. Rio de Janeiro: Editora UFRJ, 2 eds. 2005.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 1, Ed. Pini, São Paulo, 1997.

_____. **Manual de técnicas de pavimentação**. Volume 2, Ed Pini, São Paulo, 2001.

THOMAS, Tailene. **Comparação do teor de ligante de projeto determinado pela DMT e DMM de diferentes misturas asfálticas**. Universidade Federal de Santa Maria: Santa Maria, RS, 2014. Disponível em:

<http://coral.ufsm.br/engcivil/images/PDF/1_2014/TCC_TAILENE%20THOMAS.pdf>

Acesso em: 19 de maio de 2017.

APÊNDICE A – ENSAIO DE DENSIDADE E CARACTERÍSTICAS MARSHALL

CONSTANTE DA PRENSA:					1,93100
CP	%	ESPESSURA	PESO		VOL. C.P.
Nº	CAP	cm	AO AR	IMERSO	
1	4,00%	59,8	1254,5	771,3	483,2
2	4,50%	60,0	1250,5	768,4	482,1
3	5,00%	60,0	1295,7	800,8	494,9
MÉDIA DOS RESULTADOS			1266,9	780,2	486,7

DENSIDADES		VOLUME DE VAZIOS	
APTE. C.P.	TEÓRICA	VAZIOS	% VCB.
2,596	2,703	3,9	11,18
2,594	2,703	4,0	12,44
2,618	2,703	3,1	14,83
2,603	2,703	3,7	12,82

ESTABILIDADE MARSHALL					
VAM	RBV	LEITURA kgf	CARGA daN	FC.	ESTABILIDADE CORRIGIDA daN
15,13%	73,90%	670,0	1294,8	1,11	1437
16,48%	75,50%	730	1410	1,10	1551
17,97%	82,53%	450	869	1,10	956
16,53%	77,31%	616,7	1191,1		1315

APÊNDICE B – ENSAIO DE EXTRAÇÃO DE BETUME PELO MÉTODO ROTAREX

ENSAIO DE EXTRAÇÃO PELO METODO ROTAREX				
PESO DA AMOSTRA COM ASFALTO	844,70			
PESO DA AMOSTRA SEM ASFALTO	807,00			
DIFERENÇA	37,70			
TEOR DE BETUME	4,46			
TEOR DE BETUME DO PROJETO				
DESVIO	4,5			
TOLERÂNCIA	± 0,3			

APÊNDICE C – ENSAIO DE GRANULOMETRIA

ENSAIO DE GRANULOMETRIA						
PENEIRA		PESO ACUMULADO	% DO MATERIAL		FAIXA DE TRABALHO	
Nº	mm		RETIDA	PASSANTE	MIN.	MÁX.
3/4"	19,1	0,0	0,00	100,00	93,0	100,0
1/2"	12,7	56,2	6,96	93,04	78,6	89,0
3/8"	9,5	82,8	10,26	89,74	65,1	79,1
4	4,76	304,5	37,73	62,27	43,4	53,4
10	2,0	521,4	64,61	35,39	26,1	36,1
40	0,42	675,3	83,68	16,32	13,0	23,0
80	0,18	721,4	89,39	10,61	4,9	10,9
200	0,07	748,9	92,80	7,20	3,5	7,5
PESO TOTAL DA AMOSTRA			807,0			

