

INFLUÊNCIA DA GRANULOMETRIA NA PERMEABILIDADE DE MISTURAS ASFÁLTICAS CPA

Fernanda Zanatta Cararo (1), Luiz Renato Steiner (2), Joe Arnaldo Villena Del Carpio (3).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)fernandazanattacararo@hotmail.com (2)luizsteiner@yahoo.com.br (3)joevillena@gmail.com

RESUMO

As misturas com graduação aberta estão sendo amplamente utilizadas no mundo, em função das suas propriedades, que proporcionam maior segurança e conforto aos usuários (OLIVEIRA, 2003), diminuindo aquaplanagem e spray, aumentando a visibilidade, respectivamente. Neste contexto a presente pesquisa analisou as propriedades físicas e mecânicas de misturas asfálticas abertas tipo CPA (Camada Porosa de Atrito), tendo em vista avaliar a permeabilidade em misturas asfálticas com mesmo volume de vazios e diferentes curvas granulométricas. Inicialmente foram escolhidas duas faixas granulométricas para a execução das misturas e posterior análise, sendo adotada a faixa V especificada pela norma DNER-ES 386/99 e a faixa semelhante à aplicada na pista principal do Aeroporto Santos Dumont/RJ, determinada pela DIRENG (Diretoria de Engenharia da Aeronáutica). Para a determinação do teor ótimo de ligante, foi utilizado como parâmetro a igualdade de volume de vazios. Após a determinação do teor ótimo foram realizados nas misturas os ensaios de estabilidade Marshall por meio da Resistência à Tração por Compressão Diametral, ensaio de Cântabro, para avaliar a resistência à desagregação, e ensaio de permeabilidade, para avaliar a capacidade de percolação da água pela mistura. Aplicando a metodologia Marshall foi encontrado um volume de vazios de 21,5% em ambas as misturas, com teor de ligante de 4% para a Faixa V e 4,5% para a Faixa da DIRENG. A Faixa V apresentou valores superiores de Resistência à Tração por Compressão Diametral e menor quantidade de Vazios Ineficazes, a Faixa da DIRENG apresentou maior resistência a desagregação e maior capacidade de percolação de água. Sendo assim, com os resultados obtidos verificou-se que as misturas com volume de vazios semelhantes apresentaram características distintas em função da diferença de teor de ligante e granulometria do esqueleto pétreo.

Palavras-Chave: Camada Porosa de Atrito. Permeabilidade. Volume de Vazios. Granulometria.

1 INTRODUÇÃO

O revestimento asfáltico é composto basicamente por agregados e ligantes asfálticos. É a camada com a função de resistir as cargas dos veículos e recebe diretamente as ações climáticas. No Brasil a maioria dos revestimentos asfálticos

possui uma mistura de agregados de diversas tipologias e ligantes asfálticos, que garantem ao pavimento executado certa impermeabilidade e resistência, de acordo com o tráfego e clima local (BERNUCCI, 2008).

A camada de revestimento de base asfáltica pode ser classificada de acordo com a sua fabricação e também quanto ao tipo de ligante. Na fabricação é dividida em dois tipos: misturas usinadas, fabricada em usinas e; tratamentos superficiais, preparada na própria pista. E quanto ao tipo de ligante pode ser à quente, utilizando cimento asfáltico de petróleo (CAP) e a frio, usando emulsão asfáltica de petróleo (EAP). As misturas fabricadas em usinas podem ser subdivididas, pela graduação dos agregados, em: densas, abertas, contínuas e descontínuas (BERNUCCI, 2008).

As misturas com graduação tipo aberta, geralmente possuem uma granulometria do mesmo tamanho, proporcionando uma estrutura mineral com um alto volume de vazios de ar interconectados, devido à ausência ou pequena quantidade de agregados miúdos, ou seja, com granulometria inferior a 0,075mm. Esses vazios proporcionam uma percolação de água no interior da estrutura, tornando essa mistura drenante. Um exemplo de mistura asfáltica aberta é a Camada Porosa De Atrito (CPA), também conhecida como mistura asfáltica drenante (BERNUCCI, 2008).

A aplicação de misturas asfálticas drenantes como camada de revestimento em pavimentos iniciou-se na década de 60, em países europeus. Desde então, têm sido aplicadas de forma crescente devido às vantagens oferecidas nos aspectos de segurança e conforto, em relação aos tradicionais revestimentos betuminosos. (OLIVEIRA, 2003, p. 1).

A CPA é uma mistura asfáltica à quente que possui um considerável teor de vazios, entre 18 % a 25 % - DNER 386/99, pois em sua composição a quantidade de fíler, agregados finos e ligantes é baixa. A aplicação desse tipo de material é indicada principalmente para drenagem de água pluvial, diminuindo os empoçamentos que causam aquaplanagem e “spray”; para diminuir as nuvens de água geradas pelos veículos, aumentando assim a visibilidade (BERNUCCI, 2008).

Para que a estrutura do pavimento seja conservada e assim prevenir a entrada de água, a camada inferior ao revestimento CPA deve ser impermeável. A

concepção clássica de um revestimento asfáltico é que esse seja impermeável, sendo assim, o CPA aplicado sobre uma camada impermeável, evita o escoamento superficial da água da chuva e veda a estrutura do pavimento (SILVA, 2012).

Na década de 80, iniciou-se as experiências com misturas drenantes no Brasil, com a aplicação em aeroportos, um dos principais locais de aplicação das misturas CPA. Em 1987, foi aplicado no aeroporto de Santos Dumont/RJ, um revestimento drenante utilizando-se cimento asfáltico modificado por polímero (PETROBRÁS, 2001 *apud* OLIVEIRA, 2003, p. 17).

Apesar do asfalto poroso ser uma boa solução para dias de chuva, ele também pode apresentar algumas desvantagens, como: risco de contaminação do aquífero, é recomendado apenas para tráfego leve, pode ocorrer desagregação do material e a colmatção, possui uma manutenção com o custo elevado e poucas usinas trabalham com esse tipo de mistura asfáltica (PULITI, 2012).

A composição da curva granulométrica determina as características de permeabilidade de uma mistura asfáltica porosa, que podem ser alteradas em função de diversos fatores, por exemplo: dimensões do agregado, volume de vazios, inclinação transversal e espessura do revestimento. A permeabilidade de uma mistura CPA pode ser calculada de diversas maneiras, mas geralmente se obtém seu valor através de um permeâmetro (DUNKE, 2005).

Deste modo o presente estudo analisou os parâmetros mecânicos de resistência, desagregação e permeabilidade de misturas asfálticas CPA com diferentes granulometrias e mesmo volume de vazios.

2 MATERIAIS

2.1 AGREGADOS

Os agregados utilizados foram coletados na jazida da empresa Cedro LTDA, localizada no Município de Maracajá/SC. São de origem basáltica e apresentam características mostradas na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dos agregados utilizados na pesquisa.

Agregado	Procedimento	Massa específica real (g/cm ³)	Massa específica aparente (g/cm ³)	Absorção (%)
Graúdo		3,019	2,928	1,0
Médio		3,019	2,928	1,0
Fino	DNER ME 093/94	2,960	2,960	

Fonte: Do autor, 2016.

A forma das partículas dos agregados foi caracterizada segundo a norma ABNT NBR 7809:2006, definindo a forma do agregado utilizado na presente pesquisa como 87% cúbica, 12% lamelar e 1% alongada.

2.2 LIGANTE ASFÁLTICO

O ligante utilizado é do tipo asfalto-borracha, TYREFLEX AB8, fornecido pela SETEP CONSTRUÇÕES S.A. proveniente da refinaria da CBB ASFALTOS, Curitiba/SC. As propriedades físicas são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Ensaio de caracterização do ligante.

CARACTERIZAÇÃO	TYREFLEX AB8
Ponto de amolecimento [°C]	58,7
Penetração, 100g, 5 s, 25 °C [0,1 mm]	43
Recuperação Elástica, 20cm, 25 °C [%]	59
Viscosidade Brookfield 175 °C [cP]	1140
Ponto de fugor [°C]	280
Massa específica a 25 °C [kg/m ³]	1,026

Fonte: CBB Asfaltos, 2016.

3 MÉTODOS

3.1 DOSAGEM DA MISTURA ASFÁLTICA

3.1.1 CURVA GRANULOMÉTRICA

No presente estudo foram realizadas duas misturas com diferentes curvas granulométricas. A primeira mistura possui uma granulometria similar da mistura

utilizada na pista principal do Aeroporto Santos Dumont/RJ, especificada pela DIRENG (Diretoria de Engenharia da Aeronáutica) e a segunda está de acordo com a Faixa V estabelecida pela norma DNER-ES 386/99.

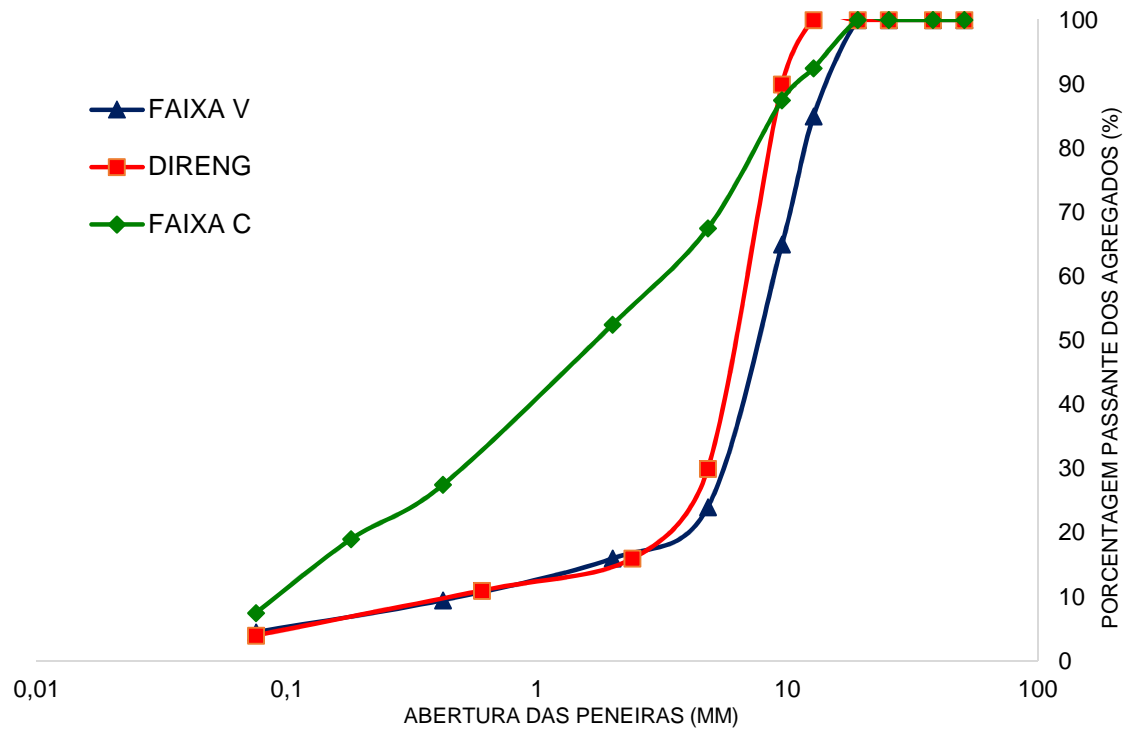
Na Tabela 3 e na Figura 1 estão apresentadas as duas faixas utilizadas, com granulometria aberta, e a Faixa C do DNER, de granulometria densa, como comparação. É possível observar que as misturas tipo CPA possuem uma curva granulométrica bem graduada e uniforme. Entretanto em comparação com a Faixa C do DNER, as misturas de graduação aberta possuem uma menor quantidade de material fino e devido a sua uniformidade, não há partículas de menor dimensão fechando os vazios deixados pelas partículas de maior tamanho. As diferenças na distribuição das partículas e nas quantidades, fazem com que as misturas CPA tenham uma maior porcentagem de volume de vazios e que esses estejam interconectados.

Tabela 3 – Faixas granulométricas das misturas asfálticas.

Peneira		FAIXAS		
Série ASTM	Abertura (mm)	Faixa DIRENG	Faixa V DNER	Faixa C DNER
2"	50,8	100	100	100
1 ½"	38,1	100	100	100
1"	25,4	100	100	100
¾"	19,1	100	100	100
½"	12,7	100	85	92,5
3/8"	9,5	90	65	87,5
Nº 4	4,8	30	24	67,5
Nº 8	2,4	16	-	-
Nº 10	2	-	16	52,5
Nº 30	0,6	11	-	-
Nº 40	0,42	-	9,5	27,5
Nº 80	0,18	-	-	19
Nº 200	0,075	4	4,5	7,5

Fonte: Do autor, 2016.

Figura 1 – Curvas granulométricas das misturas asfálticas.



Fonte: Do autor, 2016.

3.1.2 DEFINIÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE LIGANTE

A definição do teor ótimo de ligante de cada mistura foi realizada com o emprego da metodologia Marshall (DNER-ME 043/95). Antes da realização do ensaio trabalhou-se com a média de volume de vazios exigido na norma DNER-ES 386/99. Assim foram moldados alguns “corpos-de-prova teste” com teores alternados para analisar quais teores que se encaixariam nessa média. Os teores escolhidos para a FAIXA V foram 3,0%, 3,5%, 4,0%, 4,5% e 5,0% e, para faixa da DIRENG foram 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% e 6,5%. Para a realização do ensaio foram moldados 15 (quinze) corpos-de-prova de cada mistura, 3 (três) para cada teor. Os corpos-de-prova receberam uma energia de compactação de 50 golpes em cada face, de acordo com o que exige a mistura do tipo CPA. Nesta primeira etapa a finalidade foi definir o teor ótimo de ligante de cada mistura, em função da equivalência dos volumes de vazios das misturas e verificar o volume de vazios comunicantes.

3.1.2.1 Volume de Vazios

O ensaio para determinação dos volumes de vazios foi elaborado de acordo com a especificação da norma DNER-ME 117/94.

3.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

3.2.1 VAZIOS COMUNICANTES

A determinação dos vazios comunicantes tem por função analisar a interconectividade dos vazios da mistura no que diz respeito à permeabilidade, pois mede o índice de vazios dos poros contínuos que contribui para a percolação da água (OLIVEIRA, 2003).

O ensaio foi realizado de acordo com os procedimentos recomendados pela Associação de Rodovias do Japão (1996) *apud* OLIVEIRA (2003). Os procedimentos do ensaio estão descritos a seguir:

- Medir com paquímetro a altura e o diâmetro do corpo-de-prova;
- Determinar o volume (V) do corpo-de-prova;
- Pesquisar o corpo-de-prova ao ar (P);
- Pesquisar o corpo-de-prova na água (P') após mergulhá-lo por um minuto;
- Volume dos agregados e poros independentes (C), que é determinado pelo cálculo da Equação 1;
- Volume de vazios comunicantes (V_{vc}), calculado de acordo com a Equação 2.

$$C = \frac{P - P'}{\gamma_{\text{água}}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$V_{vc} = \frac{V - C}{V} \times 100 \quad \text{Equação (2)}$$

3.2.2 PERMEABILIDADE

Para a execução do ensaio de permeabilidade foi desenvolvido um sistema similar ao utilizado por TAKAHASHI E PARTL (1999) *apud* OLIVEIRA (2003). Para tanto elaborou-se um equipamento que permite a medição das permeabilidades horizontal e vertical num ensaio de carga variável. O equipamento, mostrado na Figura 2, foi desenvolvido no Laboratório de Mecânica dos Solos do Instituto de Desenvolvimento Tecnológico – IDT, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC.

Figura 2 – Permeômetro de carga variável para misturas asfálticas.



Fonte: Do autor, 2016

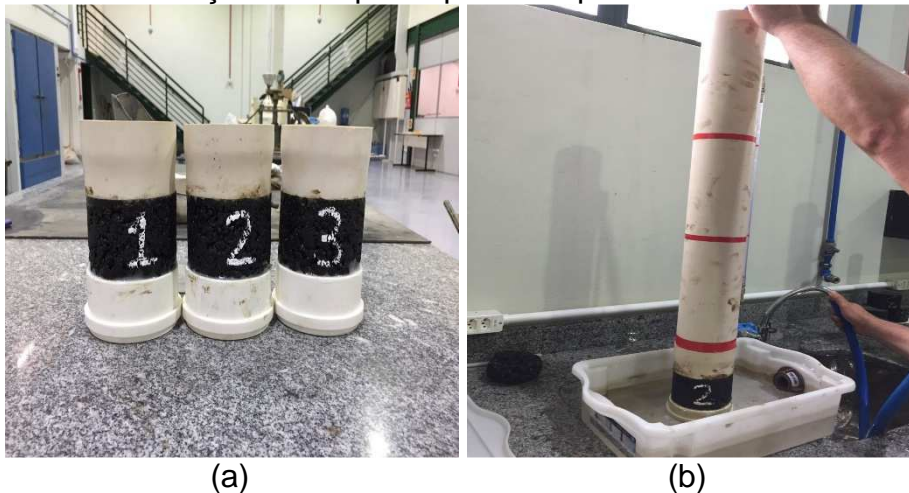
3.2.2.1 Permeabilidade Horizontal

O ensaio de permeabilidade horizontal tem o objetivo de medir a capacidade de percolação da água pela lateral do corpo-de-prova, impedindo a passagem de água na vertical pela base do mesmo. Para a realização do ensaio foram moldados 3 (três) corpos-de-prova e executadas as etapas descritas a seguir:

- Fixa-se o corpo-de-prova numa base impermeável de modo que o fluxo de água na direção vertical seja impedido, a ligação pode ser feita com silicone ou outro adesivo que garanta aderência e impermeabilidade, como pode-se observar na Figura 3;

- Fixa-se o corpo do permeâmetro à parte superior livre do corpo-de-prova com auxílio de um material adesivo e coloca-se o equipamento no interior do recipiente adaptado com uma saída de excesso do tipo extravasor e adiciona-se água até a imersão do corpo-de-prova, como demonstra a Figura 3;
- Após a imersão do corpo-de-prova, segue-se adicionando água pela parte superior do permeâmetro e faz-se um controle de água que entra com a água que sai pelo extravasor;
- O equilíbrio é atingido quando a coluna de água visualizada pelo tubo transparente ligado ao corpo do permeâmetro é estabilizada;
- Após a estabilização da coluna de água, interrompe-se o fluxo de água e observa-se o rebaixamento da coluna da mesma;
- O tubo transparente possui duas marcas distanciadas 20 cm uma da outra. Quando a coluna de água passa pela marca superior, inicia-se a coleta de água que sai pelo extravasor e mede-se o tempo com auxílio de um cronometro. Interrompe-se o processo quando a coluna de água atinge a marca inferior.

Figura 3 – (a) Preparação dos corpos-de-prova para realização do ensaio e (b) fixação do corpo de prova no permeâmetro.



(a)
Fonte: Do autor, 2016

(b)

O cálculo da permeabilidade horizontal é feito utilizando-se a Equação 3.

$$k = 2,3 \times \frac{aL}{At} \times \left[\log \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \right] \quad \text{Equação (3)}$$

Onde:

K = Permeabilidade (cm/s);

a = Área da seção transversal do tubo (cm²);

L = Altura da amostra (cm);

A = Área da seção transversal da amostra (cm²);

t = Tempo para o fluxo entre as duas marcas (s);

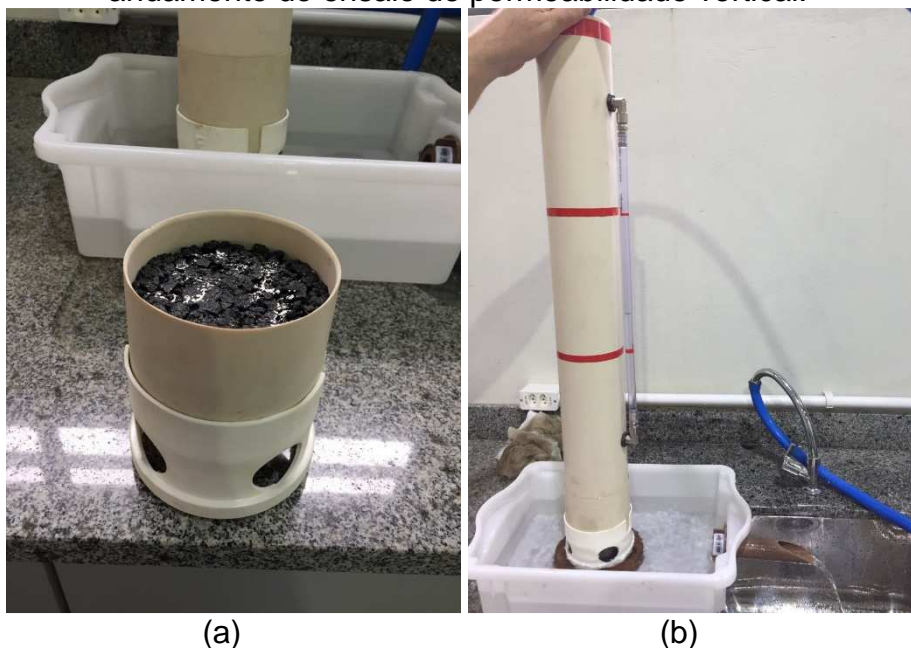
h_1 = Altura da água na marca superior do tubo (cm);

h_2 = Altura da água na marca inferior do tubo (cm);

3.2.2.2 Permeabilidade Vertical

O ensaio de permeabilidade vertical determina a capacidade de percolação de água na direção vertical, impedindo a passagem de água pela lateral do corpo-de-prova. As etapas do ensaio são similares ao de ensaio de Permeabilidade Horizontal, diferindo apenas na fixação para vedação do corpo-de-prova. Assim no ensaio de Permeabilidade Vertical fixa-se o corpo-de-prova vedado lateralmente numa base impermeável de fundo livre de modo que o fluxo de água na direção horizontal seja impedido, como demonstra a Figura 4.

Figura 4 – (a) Preparação do corpo-de-prova para realização do ensaio e (b) andamento do ensaio de permeabilidade vertical.



Fonte: Do autor, 2016.

Para o cálculo da permeabilidade vertical utiliza-se o mesmo método da permeabilidade horizontal.

3.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS MISTURAS ASFÁLTICAS

3.3.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Para a determinação da resistência à tração, os corpos-de-prova foram submetidos ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral, conforme a norma do DNIT 136/2010 – ME.

3.3.2 CÂNTABRO

Com o objetivo de analisar a perda por desgaste das misturas, foi realizado o ensaio cântabro de acordo com a norma DNER-ME 383/99. Em que três corpos-de-prova foram submetidos, separadamente, à 300 revoluções na máquina de Abrasão Los Angeles, com velocidade de 30 r.p.m a 33 r.p.m, à uma temperatura de 25°C. O desgaste dos corpos-de-prova foi obtido por meio da diferença do peso inicial e do peso ao final do ensaio. Para calcular o desgaste de cada mistura foi feito uma média aritmética dos três ensaios, com valor individual não diferindo de $\pm 20\%$ do valor médio. O desgaste dos corpos-de-prova pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – (a) corpo-de-prova da Faixa da DIRENG após o ensaio e (b) corpo-de-prova da Faixa V após o ensaio.



(a)

(b)

Fonte: Do autor, 2016.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para a realização do presente trabalho, buscou-se duas faixas granulométricas distintas e que apresentassem o mesmo volume de vazios, atendendo assim as exigências da norma DNER-ES 386/99, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 - Especificações exigidas para a camada porosa de atrito (DNER-ES 386/99).

CARACTERÍSTICAS	CPA
Volume de Vazios (%)	18 a 25
Desgaste à Abrasão Los Angeles máximo (%)	25
Resistência à tração por compressão diametral mínima (Kgf/cm ²)	5,5

Fonte: Do autor, 2016.

4.1 ENSAIO PARA DETERMINAÇÃO DO TEOR ÓTIMO DE LIGANTE

Por meio da metodologia Marshall (DNER-ME 043/95) foram determinados os volumes de vazios para cada teor de ligante em ambas as faixas (DNER-ME 117/94). Na Faixa V para o teor de 4,0% foi encontrado um volume de vazios de 21,5%, e na Faixa da DIRENG para o teor de 4,5% foi encontrado o mesmo volume de vazios, obtendo assim a definição do teor ótimo de ligante para cada mistura, como pode ser observado na Tabela 5. Essa diferença no teor de ligante entre as faixas é resultado da distinção na distribuição granulométrica das misturas, tendo a mistura na Faixa da DIRENG uma proporção maior de material passante de mesmo tamanho e de tamanho de partículas menor, necessitando assim de mais ligante para envolver seus agregados.

Tabela 5 – Variação dos volumes de vazios das misturas granulométricas através do teor de betume.

	Teor de Ligante (%)	Densidade Aparente (g/cm ³)	Densidade Máx Teórica (g/cm ³)	Volume de Vazios (%)
DIRENG	4,5	2,14	2,73	21,5
	5	2,17	2,71	19,9
	5,5	2,16	2,68	19,5
	6	2,16	2,66	19,0
	6,5	2,15	2,64	18,5
FAIXA V	3	2,10	2,80	24,9
	3,5	2,11	2,78	23,9
	4	2,16	2,75	21,5
	4,5	2,13	2,73	21,9
	5	2,16	2,71	20,2

Fonte: Do autor, 2016.

Após a definição do teor ótimo de ligante foram moldados novos corpos-de-prova para a realização dos demais ensaios.

4.2 VOLUME DE VAZIOS COMUNICANTES

Após a definição do volume de vazios, fez-se o ensaio de determinação de porcentagem de vazios comunicantes nas duas misturas. Com a finalidade de verificar a proporção de vazios eficazes (interconectados) e ineficazes (isolados), que contribuem ou não, respectivamente, para a passagem e armazenamento da água. Para a definição da porcentagem de vazios comunicantes de cada mistura, foi feito uma média entre três corpos-de-prova e os valores são apresentados na Tabela 6.

Por meio da diferença entre o valor médio de volume de vazios e o valor médio de vazios comunicantes, obtém-se os valores que representam a porcentagem média de vazios comunicantes e ineficazes nas misturas, como é possível analisar na Tabela 6.

Tabela 6– Relação entre os Volumes de Vazios e Vazios Comunicantes.

	Teor de Betume (%)	Volume de Vazios (%)	Vazios Comunicantes (%)	Vazios Ineficazes (%)
DIRENG	4,5	21,5	13,7	7,8
FAIXA V	4,0	21,5	14,4	7,1

Fonte: Do autor, 2016.

A Faixa da DIRENG apresentou um valor inferior de vazios comunicantes ao da Faixa V, e conseqüentemente um maior valor de vazios ineficazes. Apesar da pequena diferença, esse comportamento está relacionado principalmente à distribuição granulométrica mais fina da Faixa da DIRENG, que possui um tamanho máximo de partícula menor e conseqüentemente uma densidade aparente menor em relação a faixa V, disponibilizando assim uma quantidade menor de vazios interconectados em relação a mistura da Faixa V.

4.3 PERMEABILIDADE

A Tabela 7 apresenta os valores encontrados na permeabilidade horizontal e vertical das misturas estudadas.

Tabela 7– Resultados do ensaio de Resistência à tração por compressão diametral.

	Permeabilidade	K (cm/s)
DIRENG	Horizontal	0,47
FAIXA V	Horizontal	0,40
DIRENG	Vertical	0,37
FAIXA V	Vertical	0,28

Fonte: Do autor, 2016.

Como pode ser observado, os resultados da permeabilidade horizontal das misturas em ambas as faixas foram superiores aos de permeabilidade vertical. Esse resultado está relacionado ao fato de que 12% dos agregados graúdos possuem forma lamelar, ou seja, proporcionam uma tendência de acomodação na posição horizontal dos lados de maior dimensão dos agregados, fazendo com que a água percorra um menor caminho na posição horizontal, em comparação com a vertical, promovendo uma anisotropia na estrutura da mistura.

Pode-se observar também que apesar das misturas possuírem o mesmo volume de vazios apresentam valores de permeabilidade, tanto na vertical quanto na horizontal, distintos, sendo a Faixa da DIRENG 14,98% mais permeável na horizontal e 24,32% na vertical. Esse comportamento pode ser explicado devido à diferença na distribuição granulométrica, uma vez que a granulometria na mistura da Faixa da DIRENG é mais uniforme em relação a Faixa V. Outro fato também é que a Faixa da DIRENG apresenta por norma uma lacuna granulométrica (*gap*) maior nas peneiras nº 40 e 80 (0,42 e 0,18mm) em relação a Faixa V, que é mais bem distribuída, ou seja, os *gaps* são mais intercalados onde as partículas de tamanho menor fecham os vazios deixados pelas partículas de maior dimensão. Para tanto, na Faixa V apesar de apresentar na distribuição granulometria tamanho de partícula de maior dimensão, seu esqueleto pétreo é mais fechado, apresentando uma menor permeabilidade. Também com o objetivo de analisar a permeabilidade global das misturas, fez-se o cálculo da permeabilidade equivalente de acordo com a Equação 4. Os resultados encontrados para as duas misturas são apresentados na Tabela 8.

$$k_{eq} = \sqrt{k_v \times k_h} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Keq – Permeabilidade Equivalente;

Kv – Permeabilidade Vertical;

Kh – Permeabilidade Horizontal.

Tabela 8– Comparação entre as Permeabilidades.

	Kh (cm/s)	Kv (cm/s)	Ke (cm/s)
DIRENG	0,47	0,37	0,42
FAIXA V	0,40	0,28	0,34

Fonte: Do autor, 2016.

Pode-se perceber que os valores de permeabilidade equivalente são também superiores na Faixa da DIRENG, ou seja, a relação de percolação entre a vertical e horizontal é mais próxima do que na Faixa V, característica de uma estrutura menos isotrópica, devido a menor presença de agregado graúdo com dimensão superior a peneira nº 3/8" (9,5mm).

OLIVEIRA (2003) em seus estudos de permeabilidade em misturas CPA, obteve para a faixa IV do DNER, volume de vazios na ordem de 21,8% para um teor de ligante de 4,0%, resultados similares aos encontrados nas faixas da presente pesquisa. Com relação à permeabilidade equivalente, os valores encontrados por OLIVEIRA (2003) se mostraram superiores ao do presente estudo, como pode-se observar na Tabela 9. Possivelmente essa diferença está relacionada com o volume de vazios, que é superior na Faixa IV e a desigualdade na granulometria, em que é mais fina na Faixa IV.

Tabela 9– Comparativo de valores de Permeabilidade.

	Kh (cm/s)	Kv (cm/s)	Ke (cm/s)
DIRENG	0,47	0,37	0,42
FAIXA V	0,40	0,28	0,34
FAIXA IV (OLIVEIRA, 2003)	0,63	0,45	0,53

Fonte: Do autor, 2016.

4.4 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Os resultados encontrados no ensaio de resistência à tração por compressão diametral das misturas estudadas estão apresentados na Tabela 10. Pode-se observar que ambas as faixas estão de acordo com a especificação da norma DNER-ES 386/99, e que a Faixa V apresentou o maior desempenho relacionado a resistência. A menor resistência na mistura da Faixa da DIRENG se deve ao maior teor de ligante e a ausência de partículas com tamanho superior a peneira 3/8" (9,5mm), que proporcionaria um maior contato efetivo entre as partículas de maior dimensão, tornando esqueleto pétreo mais estável. Um outro fato é a distribuição da granulometria na Faixa V, que é um pouco mais densa em função de uma granulometria mais bem distribuída.

Tabela 10– Resultados do ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

	Teor de Betume	CP	Resistência Mín. (DNER-ES 386/99) (kgf/cm ²)	Resistência (Kgf/cm ²)	Média (Kgf/cm ²)
DIRENG	4,5%	1	5,5	6,5	6,3
		2		6,3	
		3		6,1	
FAIXA V	4,0%	1	5,5	8,0	8,4
		2		9,0	
		3		8,1	

Fonte: Do autor, 2016.

4.5 CÂNTABRO

O ensaio Cântabro fundamentou-se em determinar a desagregação dos corpos-de-prova. De acordo com os resultados do ensaio apresentados na Tabela 11 foi possível analisar que a mistura que apresentou o maior desgaste foi a Faixa V do DNER, possivelmente por essa mistura possuir tamanhos de partículas de maior dimensão e um teor de ligante asfáltico inferior, responsável pela aglutinação do esqueleto pétreo nas misturas analisadas.

As misturas apresentaram desgaste de acordo com a especificação da norma DNER-ES 386/99.

Tabela 11– Resultados do ensaio cântabro

	P (g)	P' (g)	Desgaste máx (DNER-ES 386/99) (%)	Desgaste (%)	Média (%)
DIRENG	1190,00	965,56	25,0	18,9	15,9
	1190,95	1023,50		14,1	
	1190,50	1013,71		14,9	
FAIXA V	1184,16	938,14	25,0	20,8	22,1
	1192,42	889,82		25,4	
	1189,95	950,50		20,1	

Fonte: Do autor, 2016.

5 CONCLUSÃO

- Verificou-se que as misturas asfálticas de faixas granulométricas diferentes e com o mesmo volume de vazios apresentaram diferentes características em relação a necessidade de teor de ligante. A faixa com maior quantidade de agregado miúdo necessitou de um maior teor de betume, pois quanto mais finos, maior a área específica a ser envolvida pelo ligante;
- Observou-se que o volume de vazios comunicantes não está relacionado somente ao percentual de ligante envolvido na mistura, mas também na composição granulométrica, pois a forma, tamanho e como estão distribuídas as partículas (gaps) dentro das faixas, interferem na estrutura dos vazios. Ambas as misturas analisadas apresentaram o mesmo volume de vazios e diferentes valores de vazios comunicantes. Sendo a Faixa V a que apresentou maior valor de vazios comunicantes e menor valor de vazios ineficazes.
- Com relação à Permeabilidade, os resultados alcançados mostram que as misturas CPA para a Faixa V e Faixa da DIRENG alcançaram valores satisfatórios em comparação a outros estudos realizados.
- As misturas analisadas apresentaram valores distintos de Permeabilidade, apesar possuírem o mesmo volume de vazios. A Faixa da DIRENG obteve valores superiores de Permeabilidade, o que já era esperado devido à Faixa da DIRENG ter a sua distribuição granulométrica mais uniforme e menos densa que a Faixa V.
- Os resultados de resistência à tração apresentaram-se superiores aos exigidos na norma DNER-ES 386/99, e a mistura na Faixa V obteve o melhor desempenho;
- Com relação ao desgaste, ambas as misturas apresentaram desempenhos superiores aos fixados pela norma, sendo a Faixa da DIRENG a que menor apresentou perda no ensaio de Cântabro.

6 SUGESTÕES DE TRABALHOS POSTERIORES

- Verificar a influência do teor de ligante nas características de misturas asfálticas CPA, utilizando o mesmo teor de CAP para diferentes faixas.
- Analisar a permeabilidade em misturas asfálticas abertas, utilizando a mesma faixa granulométrica, agregados de diferentes jazidas e mesmo volume de vazios.
- Comparar as características mecânicas e de permeabilidade de misturas asfálticas CPA de mesma granulometria, mesmo volume de vazios e diferentes tipos ligantes.
- Avaliar as características mecânicas e de permeabilidade de misturas tipo CPA, estabelecendo novas lacunas (gaps) em pontos diferentes na composição granulométrica.

7 REFERÊNCIAS

AASHTO T-11. **Materials Finer than No. 200 (75 µm) Sieve in Mineral Aggregates by Washing.** Washington, D. C, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7809: **Agregado graúdo – Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro.** Rio de Janeiro, 2006 – Versão corrigida: 2008.

BERNUCCI, Liedi Barian (Et al.). **Pavimentação asfáltica:** formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRÁS, 2008, p. 8-185.

CORREA, Afonso Luis. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias.** 2009. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil), Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil, Univ. de São Paulo, São Paulo.

DNER- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. DNER - ME 043/95: **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1995.

_____. DNER-ME 093/94: **Solos – determinação da densidade real.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1994.

_____. DNER-ME 117/94: **Mistura betuminosa – determinação da densidade aparente.** Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1994.

_____. DNER-ME 383/99: **Desgaste por abrasão de misturas betuminosas com asfalto polímero – ensaio Cântabro**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1999.

_____. DNER-ES 386/99: **Pavimentação – pré misturado a quente com asfalto polímero – camada porosa de atrito**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro, RJ. 1999.

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT 136/2010 - ES. **Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio**. Rio de Janeiro, 2010.

DUNKE, Marilan Pedro. **Concreto Asfáltico Drenante Com Fibras de Celulose, Ligante Modificado Por Polímero E Asfalto-Borracha**. 2005, p. 12-13. Dissertação (Mestrado em Eng. Civil), Curso de Pós-Graduação em Eng. Civil, Univ. Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MOREIRA, M. J.; **Seminario sobre Mantenimiento de Pavimentos de Aeropuertos y un Curso Rápido sobre la Interacción Aeronave / Pavimento**. 2002. ORGANIZACIÓN DE AVIACIÓN CIVIL INTERNACIONAL - OACI, Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

OLIVEIRA, C. G. M. **Estudo de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico**. 2003, p. 44. Dissertação (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, Brasília.

PULITI, D. T. C.; BOARETO, F. T.; COLTRO, F. E.; BARSAGLINI, P. P. **Pavimentos porosos e sua influência na drenagem urbana**. 2012. Relatório, Escola Politécnica, Univ. de São Paulo, São Paulo.

SILVA, C. E. D. B. D.; PAIVA, C. E. L. **Estudo de Permeabilidade de Misturas Betuminosas de Graduação Aberta**. Revista da ABPv, São Paulo, v.41, n.25, p. 41-42, jul-set 2012.