



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

*Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016*  
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Edeane Lopes Silva

**ESTUDO DE PATOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM EM  
RESVESTIMENTOS FLEXÍVEIS DO TIPO CPA, TST E CBUQ EM RODOVIAS.**

Palmas – TO

2018

Edeane Lopes Silva

ESTUDO DE PATOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM EM  
RESVESTIMENTOS FLEXÍVEIS DO TIPO CPA, TST E CBUQ EM RODOVIAS.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Palmas – TO

2018

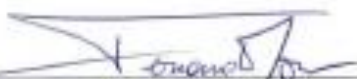
Edeane Lopes Silva  
ESTUDO DE PATOLOGIAS E CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM EM  
RESVESTIMENTOS FLEXÍVEIS DO TIPO CPA, TST E CBUQ EM RODOVIAS.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e  
apresentado como requisito parcial para obtenção do  
título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro  
Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior.

Aprovado em: 05/06/2018

BANCA EXAMINADORA



Prof. Fernando Moreno Suarte Júnior  
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc Edivaldo Alves dos Santos  
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP



Prof. Msc Luiz Chagas  
Avaliador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO

2018

Dedico primeiramente este trabalho a meus pais, por todo o esforço que fizeram durante a minha graduação. Obrigado pelo apoio incondicional nas horas difíceis, nunca medindo esforços, dando amor, carinho e motivação para que meus objetivos fossem concluídos. Sei que isso significa muito para vocês, juntos conseguimos.

Dedico também a meus amigos e colegas, por todo apoio, incentivo e conhecimentos compartilhados, vocês foram de grande importância para meu crescimento e conclusão dessa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente ao meu orientador e professor Fernando Moreno Suarte Júnior, pelos conhecimentos compartilhados ao longo deste trabalho de conclusão de graduação. Sou muito grata por toda aprendizagem que me proporcionou, pelos conselhos, pelos incentivos e por esperar sempre o máximo de mim. Tem importante parte na minha graduação e também minha admiração.

Agradeço também a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

## RESUMO

SILVA, Edeane Lopes. **Estudo de patologias e características de drenagem em revestimentos flexíveis do tipo CPA, TST e CBUQ em rodovias.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

Este estudo visou discutir sobre as características de materiais dos revestimentos como o CPA, TST e CBUQ, comparando suas propriedades e características referentes a problemáticas como a drenagem e patologias nas rodovias. Para atingir o objetivo, foi realizado uma pesquisa exploratória descritiva, por meio de revisão da bibliográfica. Em um primeiro momento, foram pesquisados publicações, livros e artigos que correspondam aos seguintes critérios de inclusão: ser artigo de pesquisa em periódico nacional ou internacional em inglês ou espanhol; indexados em bases de dados informatizados; teses e dissertações relacionadas às temáticas trabalhadas e literaturas que tratam dos assuntos e seus principais conceitos. Esta pesquisa se apresenta como qualitativa. Em relação aos resultados obtidos, foi feito um de comparativo de custo de materiais comparando os valores e índices de consumo do SINAPI e DNIT, tendo como resultado as diferenças de custos e de consumo mostrando qual revestimento sairia com menor custo que foi o TST e o de maior Custo o CPA, porém se levar em consideração o custo benefício dos mesmos o CPA apesar de mais caro para aplicação tem maiores benefícios futuros. Em pesquisa a granulometria dos revestimentos, o CPA é o que apresenta menor número de finos se comparado ao TST e CBUQ e o que possui maior índice de vazios se tornando um revestimento drenante. Em relação ao estudo da drenagem, sendo caracterizado pela total ausência de finos, produzindo uma estrutura potencialmente grande de porosidade, sendo permeável e resistente a depender de sua mistura o CPA traz os benefícios no que diz respeito a drenagem das rodovias por ser um revestimento drenante e não precisar de drenagem superficial como o TST e o CBUQ. Em estudo das manifestações patológicas o revestimento que apresenta menor número de manifestações patológicas é o CPA com apenas dois dos tipos de patologias, o segundo é o TST e o CBUQ é o que pode apresentar um maior número de manifestações patológicas. Através do estudo proposto das manifestações patológicas é possível definir soluções técnicas viáveis a ser utilizado na manutenção ou restauração dos pavimentos flexíveis. Sendo de grande importância no que diz respeito ao tempo de vida útil desses tipos de revestimentos.

Palavras-chave: Revestimentos flexíveis. Drenagem. Manifestações Patológicas.

## **ABSTRACT**

This study aimed to discuss the material characteristics of coatings such as CPA, TST and CBUQ, comparing their properties and characteristics related to problems such as drainage and pathologies on highways. To reach the objective, a descriptive exploratory research was carried out, through bibliographical review. Initially, publications, books and articles matching the following inclusion criteria were searched: a research article in a national or international journal in English or Spanish; indexed in computerized databases; theses and dissertations related to the themes and literatures that deal with the subjects and their main concepts. This research presents itself as qualitative. In relation to the results obtained, a comparison of cost of materials was made comparing the values and consumption indexes of SINAPI and DNIT, resulting in differences in costs and consumption, showing which coating would cost less than TST and of higher Cost CPA, however if you take into consideration the cost benefit of them the CPA although more expensive for application has greater future benefits. In the research the granulometry of the coatings, the CPA is the one that presents / displays smaller number of fines when compared to the TST and CBUQ and the one that has greater index of voids becoming a draining coating. In relation to the study of the drainage, being characterized by the total absence of fines, producing a potentially large structure of porosity, being permeable and resistant to depend on its mixture the CPA brings the benefits with regard to the drainage of the highways because it is a drainage coating and does not require surface drainage like TST and CBUQ. In the study of the pathological manifestations, the coat that presents the least number of pathological manifestations is the CPA with only two types of pathologies, the second is the TST and the CBUQ is the one that can present a greater number of pathological manifestations. Through the proposed study of the pathological manifestations it is possible to define viable technical solutions to be used in the maintenance or restoration of the flexible pavements. Being of great importance with regard to the useful life of these types of coatings.

**Keywords:** Flexible coatings. Drainage. Pathological Manifestations.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Pavimentos Flexíveis.....	19
Figura 2 – Estrutura tipo de pavimento flexível.....	20
Figura 3 – Diferença de duas misturas asfálticas CA e CPA.....	22
Figura 4 – Concreto Poroso de Atrito (CPA).....	23
Figura 5 – Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).....	25
Figura 6 – Ilustração do tratamento superficial triplo (TST).....	27
Figura 7 – Curva Granulométrica.....	29
Figura 8 – Granulometria dos Agregados do TST.....	30
Figura 9 – Análise Granulométrica.....	31
Figura 10 – Curvas granulométricas dos agregados utilizados.....	32
Figura 11 – Variação da carga total a partir da linha de centro do pavimento para a mistura do tipo CPA com 20% de V <sub>v</sub> – Estágio 1 (10min) e Estágio 5 (60min).....	33
Figura 12 – Tipos de vazios da mistura drenante (Associação das Rodovias do Japão, 1996).....	34
Figura 13 – Defeitos e possíveis causas de patologias em pavimentos.....	39
Figura 14 – Fendas de onde ocorre a subida de finos.....	40
Figura 15 – Esquema (a) e fotografia do afundamento local (b) e por consolidação em trilha de roda (c).....	40
Figura 16 – Esquema e fotografias da ondulação (a, b) e do escorregamento de massa (c).....	41
Figura 17 – Ilustração da exsudação na parte lateral (a) e central (b) da rodovia, e detalhes (c).....	41
Figura 18 – Degradação da camada por desgaste (a), desagregação de agregado (b), deslocamento e perda de agregado (c) e polimento de agregado (d).....	42
Figura 19 – Fotografia de painéis ou covas com poça de água dentro (a), na lateral da rodovia (b) e no centro da rodovia (c).....	42
Figura 20 – Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente.....	48
Figura 21 – Exemplo de várias frações de agregados e fíler que compõem um concreto asfáltico – mistura densa ou bem-graduada e contínua.....	49
Figura 22 - Corpos-de-prova moldados em laboratório CA (densa), e CPA (aberta ou porosa).....	49
Figura 23 – Gráfico de Comparativo de Custo.....	54
Figura 24 – Exemplo de Sarjeta Triangular.....	57
Figura 25 – Exemplo de sarjeta de banquetas de corte e aterro.....	57
Figura 26 – Drenagem Sub-superficial.....	58
Figura 27 – Seção com camada drenante em pavimento com acostamento.....	58
Figura 28 – Seção com drenagem em pavimento com passeio sem acostamento.....	59
Figura 29 – Seção transversal de um pavimento drenado.....	59
Figura 30 – Esquema de funcionamento do asfalto drenante.....	60
Figura 31 – escoamento da água pelo acostamento na Estrada do Coco – BA.....	60
Figura 32 – Composição Granulométrica da Mistura ( Faixa V).....	62
Figura 33 – Composição Granulométrica da Mistura – Faixa IV (Modificado de Botelho & Santos Filho, 2002).....	63



Figura 34 – Esquema do ensaio de permeabilidade no permeâmetro EMPA (Modificado de Takahashi & Partl, 1999).....	64
Figura 35 – Equipamento de permeabilidade.....	64
Figura 36 – Corpo-de-prova vedado lateralmente.....	65
Figura 37 – Ensaio de permeabilidade horizontal.....	66
Figura 38 – Gráfico comparativo de valores de permeabilidade vertical/horizontal.....	67
Figura 39 – Gap Graded com Asfalto-Borracha aplicado no Paraná.....	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria de mistura CPA.....	29
Tabela 2 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG.....	36
Tabela 3 – Frequência de Defeitos.....	37
Tabela 4 – Comparativo de Materiais.....	47
Tabela 5 – Faixas granulométricas e requisitos para Concreto Asfáltico (DNIT 031/2004-ES).....	50
Tabela 6 – Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da Camada Porosa de Atrito (DNER-ES 386/99).....	51
Tabela 7 – Tratamento Superficial Triplo: granulometrias e quantidades.....	52
Tabela 8 – Comparativo de Custo de Materiais SINAPI (Fevereiro, 2018).....	53
Tabela 9 – Comparativo de Custo de Materiais DNIT (Setembro, 2017).....	54
Tabela 10 – Velocidade de escoamento máximo para solos diferentes.....	56
Tabela 11 – Especificações exigidas para camada porosa de atrito.....	61
Tabela 12 – Composição granulométrica da Dosagem da Mistura (Faixa V).....	61
Tabela 13 – Composição granulométrica da Dosagem da Mistura – Traço Faixa IV (Modificado de Botelho & Santos Filho, 2002).....	63
Tabela 14 – Resultados dos ensaios de permeabilidade vertical/horizontal nas misturas.....	66
Tabela 15 – Comparativo de manifestações patológicas.....	68
Tabela 16 – Pontos de revestimento CBUQ da Rodovia do Bandeirantes (SP – 348).....	70

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CNT	Conselho Nacional de Transito
CPA	Concreto Poroso de Atrito
DER	Departamento de Estradas de Rodagem
DNER/DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IGG	Índice de Gravidade Global
RR	Emulsão Asfáltica de Ruptura Rápida
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SMA	Matriz Asfáltica Pétreá
TS	Tratamento Superficial
TST	Tratamento Superficial Triplo

## LISTA DE SÍMBOLOS

$m^2$	Metros cuadrados
$m^3$	Metros cúbicos
mm	Milímetro

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	15
1.1 PROBLEMA .....	16
1.2 HIPÓTESES .....	16
1.3 OBJETIVOS.....	17
1.3.1 Objetivo Geral .....	17
1.3.2 Objetivos Específicos .....	17
1.4 JUSTIFICATIVA .....	18
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	19
2.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS APLICADOS EM RODOVIAS .....	19
2.1.1. PAVIMENTO DO TIPO CPA .....	20
2.1.2 PAVIMENTO DO TIPO CBUQ.....	25
2.1.3 PAVIMENTO DO TIPO TST .....	26
2.2 GRANULOMETRIA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS .....	28
2.2.1 TIPO DE GRANULOMETRIA DO CPA.....	28
2.2.2 TIPO DE GRANULOMETRIA DO TST .....	30
2.2.3 TIPO DE GRANULOMETRIA DO CBUQ.....	31
2.3 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO CPA .....	32
2.3.1 PERMEABILIDADE DO CPA .....	34
2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO TST.....	35
2.3.3 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO CBUQ.....	36
2.4 PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS.....	36
2.4.1 FENDAS OU FENDILHAMENTO: FISSURA E TRINCA.....	40
2.4.2 AFUNDAMENTOS .....	41
2.4.3 CORRUGAÇÃO E ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS (O) .....	41
2.4.4 EXSUDAÇÃO (EX) .....	42
2.4.5 DESGASTE OU DESAGREGAÇÃO (D).....	42
2.4.6 PANELA OU BURACO (P); .....	43
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	44
3.1 DESENHO DO ESTUDO .....	44
3.2 FLUXOGRAMA.....	45
3.3 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA .....	46
3.4 OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA .....	46
3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO .....	46
3.6 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS, ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO, PROCESSAMENTO, ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS .....	47

3.7 ESTUDO COMPARATIVO .....	47
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>47</b>
4.1 ESTUDO DE CUSTOS E MATERIAIS.....	47
4.1.1 MATERIAIS CONSTITUINTES .....	47
4.1.2 GRANULOMETRIA .....	47
4.1.2 COMPARATIVO DE CUSTOS .....	53
4.2 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM.....	55
4.2.1 CBUQ e TST .....	55
4.2.2 CPA .....	60
4.3 ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS .....	68
4.4. ESTUDO DE CASO .....	69
4.4.1 EXMEPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM CBUQ EM SUA COMPOSIÇÃO.....	69
4.4.2 EXMEPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM CPA EM SUA COMPOSIÇÃO.....	71
4.4.3 EXEMPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM TS EM SUA COMPOSIÇÃO .....	72
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	<b>75</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>76</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os revestimentos asfálticos do tipo flexível são uma alternativa tradicionalmente utilizada em rodovias e vias urbanas. Sendo que, no que diz respeito a segurança nas rodovias, estão sujeitos a diversos requisitos de aplicação desses tipos de revestimentos.

Sobre a situação das rodovias no Brasil, a pesquisa feita no ano de 2016 pelo Conselho Nacional de Transito (CNT), aponta que, “em 2016, da Extensão Total avaliada, 58,2% apresentaram algum tipo de deficiência, seja no Pavimento, na Sinalização ou na Geometria da Via” (CNT, 2016). Ainda em relação ao estado de conservação das rodovias, neste caso mais especificamente do estado do Tocantins, a mesma pesquisa demonstra que 18,1% das rodovias no estado possuem um estado péssimo, 18,2% um estado de conservação geral ruim, 43,5% em estado de conservação regular, 17,6% em estado bom e apenas 2,6% em ótimo estado de conservação. (CNT, 2016)

Em relação às características do pavimento, deve-se atender atributos pré-estabelecidos por normas, sendo eles: o suporte a efeitos de climas adversos; possibilitar um deslocamento suave; diminuir o gasto excessivo dos pneus; possuir estrutura forte; suportar ao desgaste; propiciar uma melhor drenagem das águas e apresentar resistência a derrapagens. (CNT, 2016)

Desta forma, atendendo a alguns desses atributos, destaca-se a importância da estrutura do pavimento sendo de suma importância. Esses pavimentos são formados por camadas, com o papel de distribuir as solicitações de carga, diminuindo as tensões e as deformações ou patologias, com o intuito de assegurar um desempenho satisfatório da via por o mais longo período de tempo possível.

Assim, os pavimentos flexíveis são separados e classificados em camadas para diminuir a espessura e, assim sendo, os gastos com a produção e seus agregados mais nobres e mais dispendiosos, desta forma, sendo a camada de revestimento. Ainda sobre essa questão, vale lembrar que esse pavimento tem de possuir pelo menos duas camadas, sendo elas a base e a parte do revestimento.

Em relação à manutenção periódica, ela se apresenta como um pré-requisito importante para a existência e a conservação de um bom pavimento. Quando existe a ausência desta manutenção, defeitos e irregularidades nas condições da superfície causam impactos diretamente no custo, tanto em relação às rodovias quanto aos veículos que nelas trafegam.

Na ocorrência uma rodovia danificada, além de impactar diretamente nos mais variados custos operacionais, citados acima, existe também o risco de causas de acidentes. Sendo a condição da superfície um dos causadores desses acidentes, sendo eles no rolamento das rodovias, como depressões, recalques, buracos ou panelas, podendo gerar a baixa aderência do pneu/pavimento, por seguinte, a dificuldade em manter a estabilidade dos veículos na trajetória correta, desse modo, acidentes frontais causados da mudança de direção, ou faixa da pista e perda do controle do veículo. (FIORITTI, 2007).

### 1.1 PROBLEMA

Sendo o Concreto Poroso de Atrito (CPA), Tratamento Superficial Triplo (TST) e o Concreto Usinado a Quente (CBUQ) revestimentos flexíveis usados em pavimentos flexíveis de rodovias. Qual a influência desses revestimentos na vida útil do pavimento flexível?

### 1.2 HIPÓTESES

As características de materiais de revestimento como o CPA, comparados aos revestimentos TST, CBUQ, traz melhorias referentes a problemáticas como a aquaplanagem e escoamento das rodovias pavimentadas.

Sendo caracterizado pela total ausência de finos, produzindo uma estrutura potencialmente grande de porosidade, sendo permeável e resistente a depender de sua mistura o CPA traz os benefícios no que diz respeito a drenagem das rodovias.

Através do estudo proposto das manifestações é possível definir soluções técnicas viáveis a ser utilizado na manutenção ou restauração dos pavimentos flexíveis. Sendo de grande importância no que diz respeito ao tempo de vida útil desses tipos de revestimentos.



### 1.3 OBJETIVOS

#### 1.3.1 Objetivo Geral

Realizar estudo dos revestimentos flexíveis CPA, TST e CBUQ, com o intuito de demonstrar suas características de drenagem e suas patologias em rodovias.

#### 1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um estudo de caso bibliográfico dos revestimentos flexíveis (TST, CBUQ e CPA).
- Apresentar as principais características de granulometria dos revestimentos TST, CBUQ e CPA.
- Demonstrar as características de drenagem dos revestimentos flexíveis TST, CBUQ e CPA.
- Apresentar as principais manifestações Patológicas para cada Sistema construtivo estudado.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Os sistemas viários (rodovias) são importantes para a sociedade no que diz respeito a aspectos, como a logística de fluxos de mercadorias, no transporte intermunicipal e interestadual de pessoas, deste modo, problemas como o da drenagem dos solos, e das manifestações patológicas que surgem com o tempo de uso desses pavimentos geram riscos e transtornos aos usuários.

Os revestimentos flexíveis são estruturas que para além de permitir a absorção mais eficaz das águas através de suas camadas. Apresentam-se como uma alternativa, no que diz respeito ao escoamento através de sua superfície.

Sendo de suma importância o olhar para suas principais manifestações patológicas, que aparecem no decorrer do uso dos pavimentos asfálticos e são descritas como “doenças” ou mesmo cuja origem pode ter sido a má execução do projeto, problemas construtivos, falha na seleção dos materiais, inadequações nas alternativas de conservação e manutenção entre outros fatores.

Esses defeitos provocam a deterioração do revestimento e das camadas subjacentes, prejudicando o rolamento, conforto e a segurança na via, trazendo também prejuízos aos usuários e aos veículos.

Sendo este trabalho, um estudo bibliográfico de manifestações patológicas e características de drenagem em revestimentos flexíveis do tipo CPA, TST e CBUQ em rodovias.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS APLICADOS EM RODOVIAS

Os Pavimentos são todos os sistemas de espessuras finitas, colocados sobre o subleito (SENÇO, 2007). São as diversas camadas que se dão geralmente por materiais de composições e resistências variadas, resultando em um elevado grau de complexidade nos cálculos de dimensionamento, como solicita o manual de pavimentação do DNIT, eles devem atender e resistir às tensões e as deformações geradas pelas cargas resultantes impostas pelo tráfego.

Segundo o DNIT (2006), os pavimentos se classificam em Flexíveis e Rígidos, ambos foco deste estudo, definidos como:

**Pavimento Flexível:** Pavimento em que todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas sob o carregamento aplicado; **Pavimento rígido:** Aquele que seu revestimento possui elevada rigidez em relação as camadas anteriores e, portanto, absorve quase todas as tensões do carregamento. (DNIT, 2006)

Figura 1 – Pavimentos Flexíveis.



Fonte: ADADA, (2008).

No intuito de dimensionar qualquer que seja o pavimento flexível, exposto na (Figura 1), se torna necessário determinar os estados de tensão, deformação e deslocamentos, observando os induzidos na estrutura do pavimento provocados pela passagem dos veículos, como colocado por Silva (2009).

Esse procedimento deve ser a partir de uma comparação de valores obtidos com os valores limite, ressaltados por dados a partir de critérios de dimensionamento considerados adequados para a situação em análise. (SILVA, 2009).

Depois de feito essa revisão para definir o conceito de pavimentos, traremos para o texto características dos tipos de pavimentos flexíveis, no intuito de caminhar de acordo com os objetivos deste projeto de pesquisa.

No que diz respeito a Pavimentos que sofrem deformações elásticas significativas, sob carregamento aplicado, a carga se distribui entre suas camadas.

Exemplo deste pavimento: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou colocado uma base de solo pedregulhoso, com revestimento de uma camada asfáltica. (DNIT, 2006).

Sobre a estrutura de pavimentos flexíveis (Figura. 2) mostrando que o pavimento é constituído por uma ou mais camadas de misturas betuminosas que assentam diretamente sobre camadas granulares.

Desta maneira, suportando as camadas granulares está um maciço semi-indefinido designado por fundação.

Figura 2 – Estrutura tipo de pavimento flexível.

	Tipo de Material	Tipo de Camada
Pavimento	Misturas Betuminosas	Camada de Desgaste
	Misturas Betuminosas	Camada de Regularização
	Misturas Betuminosas Materiais Granulares	Camada de Base
	Materiais Granulares Solos Tratados Solos Seleccionados	Camada de Sub-Base
Fundação	Materiais Granulares solos Tratados Solos Seleccionados	Leito do Pavimento
	Aterro Terreno Natural	

Fonte: SILVA (2009)

Segundo Senço (2007), os “pavimentos flexíveis são aqueles em que as deformações, até certo limite, não levam ao rompimento. São dimensionados normalmente a compressão e a tração na flexão”.

Corroborando com Senço, Marques (2002), relata que, “o pavimento flexível é constituído por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente”.

Assim os pavimentos flexíveis são constituídos das seguintes camadas:

- Revestimento ou capa selante,
- base, sub-base,
- reforço do subleito,
- regularização do subleito,
- subleito
- fundação do subleito;

Camadas essenciais de uma estrutura flexível, sendo sua estrutura de materiais descrita na (Figura 2).

Relacionado a essa constituição de suas camadas, os pavimentos flexíveis são constituídos por camadas que trabalham muito pouco à tração, quando comparadas às dos pavimentos rígidos. (MARQUES, 2002).

Podem possuir misturas betuminosas fabricadas a quente ou misturas betuminosas fabricadas a frio, segundo Silva, (2009), sendo que as misturas betuminosas fabricadas a frio são produzidas, espalhadas e compactadas sem aquecimento dos materiais e são compostas por agregados aos quais se junta uma emulsão betuminosa (ligante).

Podendo, ainda, adicionar água e aditivos. Estas misturas são, geralmente, aplicadas em camadas de pavimento onde as solicitações não são significativas (SILVA, 2009).

Em relação as misturas fabricadas a quente, elas são produzidas de forma que, pelo menos, um dos componentes, agregado ou betume, seja aquecido. Seguindo de maneira a mostrar os componentes, eles são misturados em central ou numa betoneira sendo posteriormente transportados, espalhados e compactados, no intuito de formar uma camada de pavimento.

#### 2.1.1. PAVIMENTO DO TIPO CPA

A (Figura 3) expõe o CPA em uma rodovia, uma faixa de rolamento em dia chuvoso, no primeiro trecho CA (concreto asfáltico) denso, observa-se a presença de água na superfície, no segundo trecho CPA camada porosa de atrito, executada sobre uma camada de mistura densa e estrutural, neste não se observa o mesmo.

Sendo esse tipo de revestimento responsável pela coleta de água da chuva para seu interior que é capaz de drenar rapidamente até chegar a base, por isso é considerado um revestimento permeável. (BERNUCCI *ET AL.*, 2008, P. 166).

Figura 3 – Diferença de duas misturas asfálticas CA e CPA.



Fonte: BERNUCCI *et al.*, (2008, p. 166).

As principais características da mistura asfáltica CPA, segundo Bernucci (2008), são:

- Redução da lâmina de água das chuvas na superfície de rolamento;
- Aumento da aderência pneu-pavimento;
- Redução dos riscos de aquaplanagem;
- Redução das distancias de frenagem;
- Redução da cortina de água (spray) proveniente do borrifo de água dos pneus;
- Maior percepção de sinalização vertical durante a noite, aumentando a distância de visibilidade;

- Menor reflexão luminosa dos faróis durante a noite chuvosa.

De acordo com Bernucci *et al.*, (2008), o trecho seguido por revestimento CPA, possui uma camada inferior que deve ser necessariamente impermeável para evitar a entrada de água no interior da estrutura do pavimento e conseqüentemente o contato com o solo.

Sobre a Camada Porosa de Atrito Figura 4, podemos classifica-lo como um revestimento que tem como função a drenagem da água superficial, diminuindo assim os riscos de aquaplanagem. Deve ser executado sobrejacente ao revestimento e recebe esse nome por ser composto por concreto asfáltico poroso com ligante modificado por polímero (DER/SP, 2006).

Figura 4 – Concreto Poroso de Atrito (CPA).



Fonte: Mazzonetto, 2011

Como principal característica do Concreto Poroso de Atrito (CPA) segundo Bernucci *et al.* (2008), é sua maior aderência, nos dias de chuva, entre o pneu e o pavimento. Essa aderência se dá pela falta de água na superfície da pista, que é absorvida pelo pavimento e com isso direcionada para os elementos de coleta.

O CPA é um revestimento poroso que possui granulometria aberta, que para além de propiciar um atrito maior entre os pneus e a pista, torna a drenagem da água mais eficiente. O CPA é uma camada delgada, de espessura constante, flexível, de macrotextura aberta e

características drenantes, resultantes da mistura a quente, em usina apropriada, do agregado mineral graúdo, material de enchimento e material betuminoso (ARAÚJO, 1994).

Segundo Bernucci *et al.*, (2008), camada porosa de atrito, é feita pela mistura asfáltica a quente, também denominada revestimento asfáltico drenante, que se caracteriza por ter elevada capacidade de drenagem mantendo uma grande porcentagem entre 18 e 25% de índices de vazios com ar. Esses vazios não preenchidos são devidos á pequena quantidade utilizada de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico.

Sobre a sua composição da mistura, o DNER (1999) indica que seja usado um teor de ligante modificado por polímero entre 4% e 6% e uma espessura de camada acabada entre 3 cm e 6 cm, a depender de sua granulometria dos agregados. A porcentagem de volume de vazios varia entre 18% e 25%, segundo o DNER (1999)

Deve-se ressaltar que o CPA atua somente no aspecto funcional do pavimento que, em conjunto com a parte estrutural, dão suporte a um sistema de gerenciamento de pavimento DNER (1999).

Por conta de o Brasil possuir características climáticas tropicais, Reis (1999) ressalta que as diversas regiões do território nacional estão expostas a constantes chuvas, contribuindo para o aumento de acidentes, uma vez que as condições de aderência pioram consideravelmente.

Dessa forma, intervenções no pavimento são necessárias para minimizar os efeitos da chuva nos níveis de aderência entre pneu e pavimento segundo Nascimento & Reis (1999).

Em relação à problemática da aquaplanagem, colocada por Bernucci *et al.* (2008), algumas soluções são utilizadas para eliminar ou minimizar a película de água na superfície dos pavimentos, como por exemplo, a imposição de declividades horizontal e longitudinal no projeto geométrico.

Segundo Bernucci *et al.* (2008) uma possibilidade no que diz respeito a soluções relacionadas a impermeabilização é a utilização de misturas na camada de rolamento (capa) e/ou na camada intermediária (binder), entre a capa e a camada de base, cujas granulometrias determinem certa permeabilidade. Deste modo, a camada intermediária assume a função drenante, levando a água até os dispositivos de descarga.

Para camadas de rolamento, tem-se estudado misturas asfálticas cujas texturas permitem a melhor aderência entre o pneu e o pavimento, como exemplo, a Camada Porosa de Atrito (SILVA, 2005).



Trazendo o uso deste tipo de revestimento ao caso do Brasil, o pavimento revestido com o Concreto Poroso de Atrito ainda é recente, e muitos ensaios e procedimentos são generalizados a todos os tipos de revestimentos.

Trazendo o uso a partir de pavimentos de tráfego de veículos, Virgiliis (2009) mostra que, a utilização desse pavimento era restrito a locais de baixo tráfego, vias de pedestres e estacionamentos. Porém, o mesmo ainda cita que com os resultados satisfatórios dos estudos teve um aumento do uso, sendo utilizado até mesmo em vias de elevado tráfego.

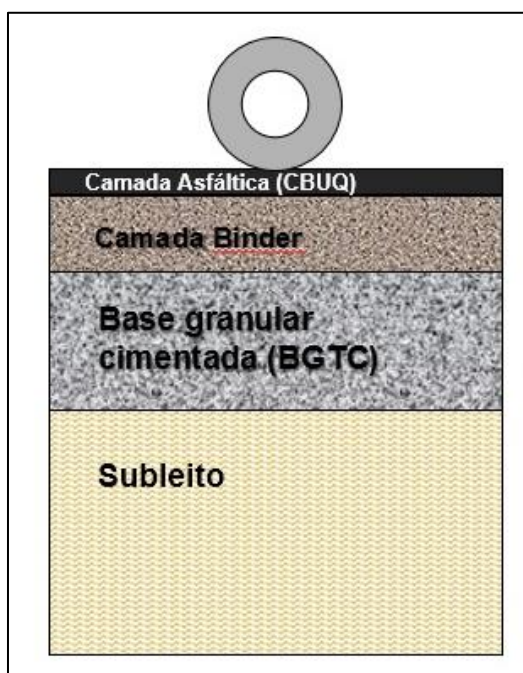
Como visto em Bernucci *et al.* (2008), existe a aplicação deste revestimento em uma estrada na Bahia, conforme figura 3, na Rodovia Presidente Dutra, Rodovia dos Imigrantes em São Paulo e no Aeroporto Internacional Santos Dumont no Rio de Janeiro.

Outras características importantes citadas por Bernucci *et al.* (2008) é que a utilização desta camada reduz o número de acidentes causados pela presença de água na pista. A CPA diminui a distância de frenagem, o spray ocasionado pelos pneus, aumentando assim a visibilidade e diminui o ruído causado pelo atrito do pneu com o pavimento.

### 2.1.2 PAVIMENTO DO TIPO CBUQ

No que diz respeito ao Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ), podemos caracterizá-lo como uma mistura executada a quente (Figura 5), sendo composta de agregados graúdos, miúdos e material de enchimento (fíler), segundo (BALBO, 2007).

Figura 5 – Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)



Fonte: <http://asfaltodequalidade.blogspot.com.br/> Acesso em 17/10/2017

Pode ser utilizado como camada de regularização (binder), base, regularização ou reforço de pavimento. É mais usual como revestimento asfáltico.

Segundo Bernucci *et al*, (2008) esse revestimento possui 4 tipos diferentes de granulometria de dosagem, ainda de acordo com a graduação dos agregados e fíler: densa, aberta, uniforme e com degrau ou descontínua. Visualizar os 4 tipos de granulometria se torna importante para a compreensão deste tipo de revestimento, como mostra Veggi & Magalhães, em seus apontamentos;

- 1- Densa: Curva granulométrica contínua próximo a densidade máxima.
- 2 Uniforme: Curva granulométrica íngreme pela pouca variação da estrutura mineral.
- 3 - Aberta: Curva granulométrica contínua nos agregados de maior diâmetro porém, pouco fíler que é fundamental para preencher vazios.
- 4 - Descontínua: Curva granulométrica descontínua não apresenta agregados de tamanhos intermediários. (VEGGI & MAGALHÃES, 2014)

Ainda sobre o revestimento do tipo (CBUQ), os traços utilizados para sua fabricação são definidos a partir de sua porcentagem de cada material e de suas massas específicas reais, para uma massa unitária igual a 100. O peso específico aparente faz-se a relação com a massa total do CBUQ sobre o volume de agregados e ligantes utilizados (VEGGI & MAGALHÃES, 2014).

A sua aplicabilidade está relacionada ao emprego como revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento. Sua mistura é aplicada sobre a superfície imprimada e/ou pintada, de tal maneira que, após a compressão, produza um pavimento flexível com espessura e densidade especificadas em projeto (VEGGI & MAGALHÃES, 2014).

Sendo o concreto betuminoso produzido transportado, da usina ao ponto de aplicação, em caminhões basculantes apropriados. Para Veggi & Magalhães (2014) explicam que quando necessário, para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deverá ser coberto com lona, com tamanho suficiente para proteger todo o material.

### 2.1.3 PAVIMENTO DO TIPO TST

Nos tratamentos superficiais Triplos Figura 6, existem revestimentos finos, formados por asfalto e seus agregados, executados sobre a uma base ou sobre um revestimento do pavimento, sendo que neste tipo de pavimento os processos de usinagem não são utilizados (BALBO, 2007).

Figura 6 – Ilustração do tratamento superficial triplo (TST).



Fonte: Oliveira (2013)

Segundo Balbo (2007), nos materiais asfálticos são utilizados tratamentos superficiais: asfaltos diluídos e emulsões asfálticas.

O TS é o serviço que permite penetração dando viabilidade a aplicações alternadas de ligante asfáltico e seus agregados minerais, nas operações simples ou múltiplas (DER/PR ES-P 18/05).

Para Senço (1997) o TS tem como característica em sua aplicação uma ou mais camadas de agregado ligadas por pinturas betuminosas. A pintura correspondente a uma camada de agregado é aplicado sobre essa camada, diz-se que o TST é de penetração direta.

A pintura de uma camada de agregado é aplicada sob essa camada, Senço (1997) mostra que o tratamento superficial é de penetração invertida.

Os tratamentos superficiais podem ser:

- a- simples: uma camada de agregado e uma pintura de betume;
- b- duplo: duas camadas de agregado e duas pinturas de betume;
- c- triplo: três camadas de agregado e três pinturas de betume. É o mais utilizado para pavimentação;
- d- quádruplo: quatro camadas de agregado e quatro pinturas de betume. Senço (1997).

Segundo Nogueira (1961) no TST seguem-se as seguintes operações para a realização no tratamento superficial triplo:

- 1- Pintura primária com CM-30;
- 2- Primeira distribuição de betume;
- 3- Distribuição do agregado;

Segundo a norma do DNIT, a definição para TST se apresenta como: “Tratamento superficial triplo - TST é a camada de revestimento do pavimento, constituída por três aplicações sucessivas de ligante betuminoso, cobertas cada uma por camada de agregado mineral, submetidas à compressão.” (DNIT, 2009).

## 2.2 GRANULOMETRIA DOS PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

No que diz respeito Pastana (2006) a granulometria, a relação ao tamanho das partículas, os agregados são classificados como: “- agregados graúdos:  $D_{m\acute{m}} > 2,00$  mm - agregados miúdos:  $2,00$  mm  $< D < 0,074$  mm - filler (material de preenchimento):  $D_{m\acute{a}x} < 0,074$  mm”

Já com relação à granulometria (composição granulométrica), existem os agregados com granulometria de três tipos, sendo eles os contínuos ou descontínuos, os abertos ou fechados. (PASTANA, 2006).

### 2.2.1 TIPO DE GRANULOMETRIA DO CPA

Sendo a CPA é uma mistura asfáltica à quente que possui características que consideram um teor de vazios, entre 18 % a 25 % - DNER 386/99, pois a composição da quantidade de filler, os agregados finos e os ligantes é baixa.

Na aplicação do material é indicada que é indicado para a drenagem de água pluvial, com o intuito de diminuir os empoçamentos que causam aquaplanagem e “spray”; sendo um diminuidor das nuvens de água geradas pelos veículos, aumentando assim a visibilidade (BERNUCCI, 2008).

Desta forma Dunke (2005) explica que a permeabilidade da mistura do CPA pode ser calculada de diversas maneiras, porem se obtém seu valor através de um parâmetro pré-estabelecido.

Segundo a tabela 1 e na Figura 7, dados referentes a pesquisa de Cararo, et al. (2016) estão apresentadas as duas faixas utilizadas, tanto a granulometria aberta quanto a fechada, e tanto estão apresentadas a Curva C de acordo com as normas do DNER, da granulometria densa.

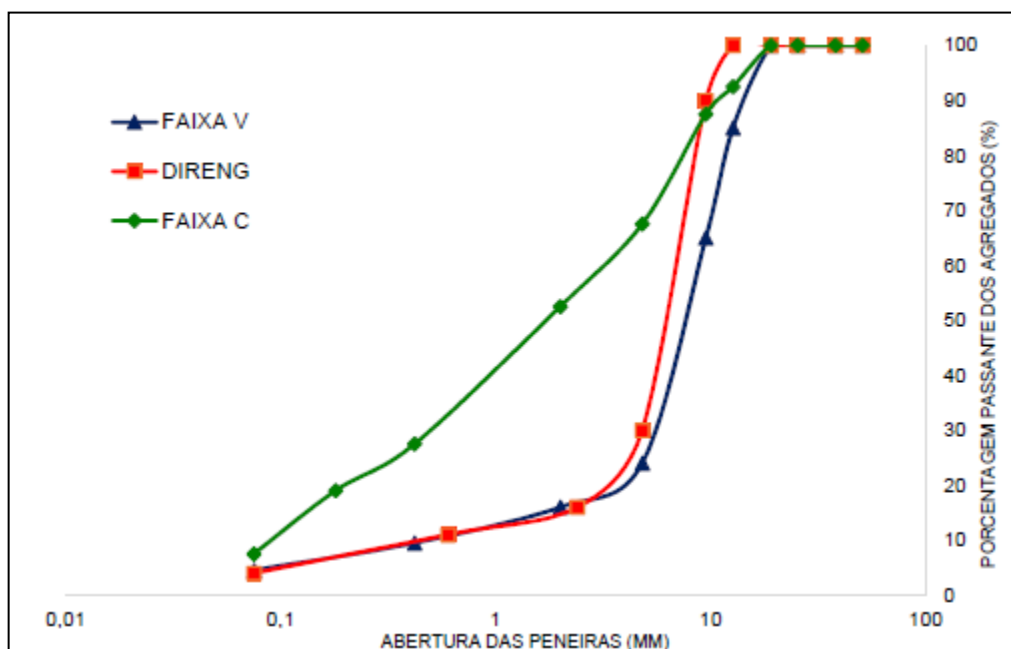
Nestes dados é possível observar as misturas tipo CPA que possuem uma curva granulométrica bem graduada e uniforme. No entanto a comparação com a Faixa C do DNER, e as misturas de graduação aberta possui uma menor quantidade de material fino de acordo com a análise de Cararo, *et al* (2016) sendo devido a sua uniformidade, e não há partículas de menor dimensão fazendo com que o fechando dos vazios deixe as partículas de maior tamanho.

Tabela 1: Granulometria de mistura CPA

GRANULOMETRIA DAS MISTURAS DOS AGREGADOS				
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: Cararo, *et al.* 2016.

Figura 7 – Curva Granulométrica



Fonte: Cararo, *et al.* 2016.

Considerando os resultados de Cararo *et al.*, (2016) esta análise mostra que “as misturas CPA analisadas apresentaram o mesmo volume de vazios e diferentes valores de vazios comunicantes”.

## 2.2.2 TIPO DE GRANULOMETRIA DO TST

Os agregados do revestimento de TST podem ser pedra, escória, cascalho ou seixo rolado, britados. De acordo com DENER (035/98) devem constituir-se de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de cobertura e torrões de argila e substâncias nocivas, possuir as seguintes características:

- a) Desgaste Los Angeles igual ou inferior a 40%, admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de em utilização anterior terem comprovado desempenho satisfatório; b) Índice de forma superior a 0,5; c) Durabilidade, perda inferior a 12%.(DNERME 89/94)

Figura 8 – Granulometria dos Agregados do TST

Granulometria dos agregados					
Peneiras		% Passando, em peso			Tolerância da faixa de Projeto
pol.	mm.	A 1ª Camada	B 2ª Camada	C 3ª Camada	
11/2"	38,1	100	-	-	
1"	25,4	90-100	-	-	± 7
3/4"	19,1	20-55	-	-	± 7
1/2"	12,7	0-15	100	-	± 7
3/8"	9,5	0-15	85-100	100	± 7
Nº 4	4,8	-	10-30	85-100	± 5
Nº 10	2,0	-	0-10	10-40	± 5
Nº 200	0,074	0-2	0-2	0-2	± 2

Fonte: DENER (035/98)

### 2.2.3 TIPO DE GRANULOMETRIA DO CBUQ

Os revestimentos de misturas quentes, se distinguem-se em tipos de acordo com o padrão granulométrico sendo empregados neles, exigências de características mecânicas.

Segundo Coelho Junior e Rocha (2013) trazem os tipos mais empregados são o concreto asfáltico (CA) também classificado como concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Essas misturas asfálticas a quente podem ser também divididas em grupos mais específicos em função da granulometria.

Sendo essas subdivisões feita colocadas por *Coelho Junior e Rocha* (2013) onde a graduação dos agregados e fíler. São colocados três tipos mais usuais nas misturas a quente:

“Graduação densa: Curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA); Graduação aberta: Curva granulométrica uniforme com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores” (COELHO JUNIOR E ROCHA, 2013)

No preliminar de misturas asfálticas a quente, Coelho Júnior e Rocha (2013), fazem uma análise de granulometria do CBUQ, apresentados em forma de tabela e gráfico de curva granulométricas, as características de agregados desse tipo de revestimento.

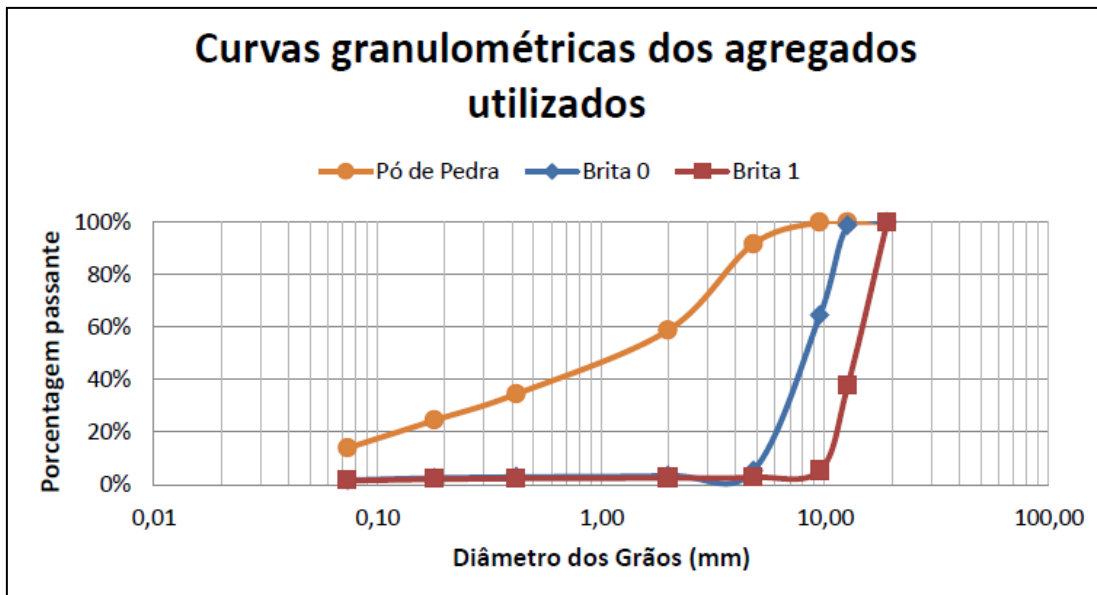
Observando a Figura 8, podemos ver os resultados médios das análises granulométricas realizadas nos agregados do estudo feito. Na Figura 9, observa-se as curvas granulométricas dos agregados utilizados.

Figura 9 – Análise Granulométrica

Peneira	Porcentagem passante em massa %			
	mm	Brita 3/4"	Brita 3/8"	Pó de Pedra
3/4"	19,05	100	100	100
1/2"	12,70	37,7	98,7	100
3/8"	9,53	5,3	64,4	100
N <sup>o</sup> 4	4,80	2,7	5,2	91,7
N <sup>o</sup> 10	2,00	2,4	3,3	58,8
N <sup>o</sup> 40	0,42	2,2	2,8	34,5
N <sup>o</sup> 80	0,18	1,9	2,4	24,4
N <sup>o</sup> 200	0,074	1,4	1,6	13,9

Fonte: M. L. P. COELHO JÚNIOR; P. H. T. ROCHA 2013.

Figura 10 – Curvas granulométricas dos agregados utilizados.



Fonte: M. L. P. COELHO JÚNIOR; P. H. T. ROCHA (2013)

### 2.3 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO CPA

Na permeabilidade de um material poroso é definida como a capacidade deste em transportar um fluido através dos seus vazios quando sujeito a pressão (AL OMARI, 2004). O fluido em estudo geralmente é a água, no entanto, existem estudos, como o de ELLIS e SCHMIDT (1960), que usaram o ar sob pressão para avaliar a permeabilidade de misturas asfálticas. A permeabilidade de qualquer material está diretamente relacionada com as características dos materiais que o constituem, bem como com as características do fluido percolante.

De acordo com Marchioni (2012), o CPA tem por característica a elevada porosidade e uma boa drenagem da água, dependendo da sua granulometria. Devida a estas características de deixar a água infiltrar através de suas camadas, tem sido um grande aliado nas vazões de pico que ocorrem durante os meses mais chuvosos nos países que optaram por esta tecnologia.

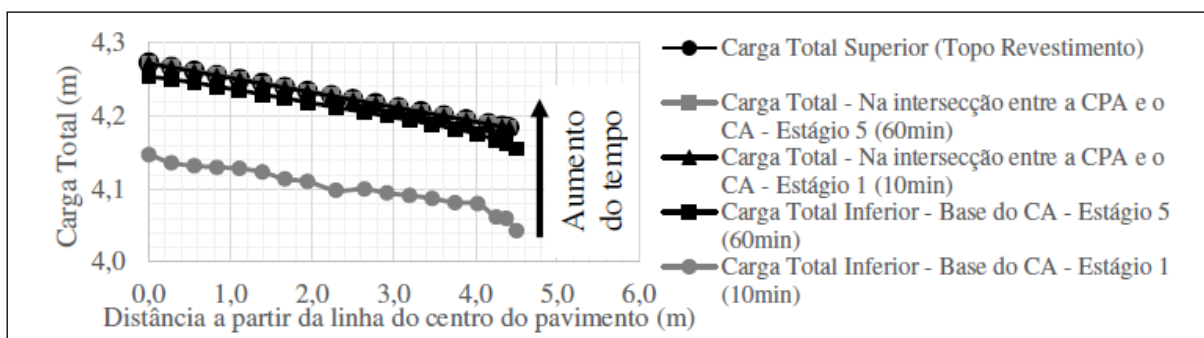
Sendo a pesquisa aplicada por Marchioni, no seu projeto de estudo do pavimento permeável da ABCP, coloca que esse sistema possui uma larga capacidade de drenagem.

“A redução de áreas verdes, em razão do aumento das construções e do maior número de ruas pavimentadas, dificulta a drenagem da água através do solo e o retorno do lençol freático. Isso provoca alterações nos leitos dos rios e também nos canais, aumentando o volume das águas e a frequência das enchentes” (Marchioni, 2012)



Sendo assim a C.P.A., apesar de ser uma mistura asfáltica com baixa estabilidade não apresenta deformações plásticas (permeamento) em função da boa coesão dos grãos da massa asfáltica e do comportamento interno da estrutura mineral envolvida.(FERREIRA, 2011).

Figura 11 – Variação da carga total a partir da linha de centro do pavimento para a mistura do tipo CPA com 20% de Vv – Estágio 1 (10min) e Estágio 5 (60min).



Fonte: Ferreira (2011)

A partir da análise de Ferreira (2011), a CPA a carga total no topo do revestimento é a mesma, tanto no estágio 1 (10min) quanto no estágio 5 (60min). Isto significa que a maior parte da água já está fluindo horizontalmente com apenas 10min.

Dessa forma, observa-se claramente que a CPA realiza sua principal função de coletar a água e rapidamente escoar lateralmente a mesma para o sistema de drenagem do pavimento. A condição anisotrópica também foi simulada no revestimento composto por CPA. A razão entre as permeabilidades horizontal e vertical foi considerada igual a três para a subcamada de CPA (FERREIRA, 2011).

### 2.3.1 PERMEABILIDADE DO CPA

Os revestimentos asfálticos drenantes podem ser classificados segundo alguns aspectos, tais como o tipo e número de camadas, o volume de vazios característico e a existência ou não de uma lacuna (*gap*) bem definida na composição granulométrica (Momm, 2002).

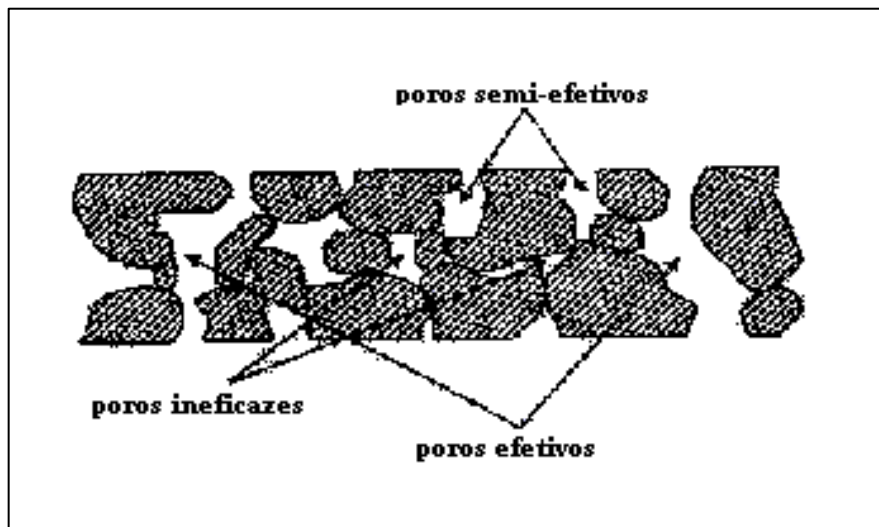
Trazendo para a exposição as características dos poros vazios dos revestimentos asfálticos poroso, temos a classificação de acordo com o Projeto Diretriz da Tecnologia de Pavimentação Drenante (Associação das Rodovias do Japão, 1996): classificados como:

- “a) Poros efetivos: poros que contribuem para a passagem e armazenagem de água;
- b) Poros semi-efetivos: poros que não contribuem para a passagem, mas permitem o armazenamento da água;

c) Poros ineficazes: poros que não contribuem para a passagem nem armazenamento da água. A Figura 2.15 ilustra os três tipos de vazios numa mistura asfáltica drenante.” (OLIVEIRA, 2003)

A figura 12 apresenta essa classificação na estrutura do revestimento:

Figura 12 – Tipos de vazios da mistura drenante (Associação das Rodovias do Japão, 1996).



Fonte: Oliveira, 2003

Na execução do ensaio de permeabilidade de Oliveira (2003), o autor descreve seu desenvolvimento a partir de aparelhos utilizados:

Um equipamento similar ao utilizado por Takahashi e Partl (1999), desenvolvido pelo *Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research* (EMPA) segundo as especificações europeias para ensaios de permeabilidade em amostras de misturas porosas (CEN PR-12697- 19-a *apud* Takahashi e Partl, 1999). O equipamento possibilita a medição das permeabilidades horizontal e vertical num ensaio de carga variável. A Figura 3.14 apresenta um esquema do equipamento desenvolvido pelo EMPA e a Figura 3.15 apresenta o equipamento desenvolvido no Laboratório de Geotecnia da Universidade de Brasília (UnB). (OLIVEIRA, 2003)

Desta forma, Oliveira (2003) trouxe as etapas desta fase do experimento de permeabilidade vertical:

- ✓ Fixa-se o corpo-de-prova vedado lateralmente numa base de PVC de fundo livre de modo que o fluxo aconteça somente na direção vertical;
- ✓ Fixa-se o corpo do permeâmetro (tubo de PVC de 100 mm de diâmetro) à parte superior livre do corpo-de-prova com auxílio de silicone;
- ✓ Deixa-se o equipamento ao ar por 24 horas para a secagem completa do silicone;
- ✓ 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;
- ✓ Após a imersão do corpo-de-prova, segue-se adicionando água pela parte superior do tubo de PVC e faz-se um controle da água que entra com a água que sai pelo dispositivo extravasor, de modo a encontrar um equilíbrio no sistema;
- ✓ O equilíbrio é atingido quando a coluna de água visualizada pelo tubo de acrílico ligado ao corpo do permeâmetro é estabilizada;

- ✓ Após a estabilização da coluna de água, interrompe-se o fluxo de água e observa-se a
- ✓ queda da coluna de água;
- ✓ O tubo de acrílico possui duas marcas distanciadas 20 cm uma da outra. Quando a coluna de água passa pela marca superior, inicia-se a coleta da água que sai pelo extravasor e mede-se o tempo com auxílio de um cronômetro. Interrompe-se o processo quando a coluna de água atinge a marca inferior;
- ✓ Mede-se o volume de água coletado com auxílio de um béquer de um litro graduado; (OLIVEIRA, 2003)

Etapas do ensaio descritas a seguir, segundo Oliveira, (2003):

- ✓ Fixa-se o corpo-de-prova numa base de PVC de modo que o fluxo de água na direção vertical seja impedido. A ligação é feita com silicone;
- ✓ Fixa-se o corpo do permeâmetro (tubo de PVC de 100 mm de diâmetro) à parte superior livre do corpo-de-prova com auxílio de silicone;
- ✓ Deixa-se o equipamento ao ar por 24 horas para a secagem completa do silicone;
- ✓ 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;
- ✓ Após a imersão do corpo-de-prova, segue-se adicionando água pela parte superior do tubo de PVC e faz-se um controle da água que entra com a água que sai pelo extravasor, de modo a encontrar um equilíbrio no sistema;
- ✓ O equilíbrio é atingido quando a coluna de água visualizada pelo tubo de acrílico ligado ao corpo do permeâmetro é estabilizada;
- ✓ Após a estabilização da coluna de água, interrompe-se o fluxo e observa-se o rebaixamento da coluna de água;
- ✓ O tubo de acrílico possui duas marcas distanciadas 20 cm uma da outra. Quando a coluna de água passa pela marca superior, inicia-se a coleta da água que sai pelo extravasor e mede-se o tempo com auxílio de um cronômetro. Interrompe-se o processo quando a coluna de água atinge a marca inferior;
- ✓ Mede-se o volume de água coletado com auxílio de um béquer de um litro graduado; (OLIVEIRA, 2003)

### 2.3.2 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO TST

Segundo Pinto e Preussler (2002, p. 158), o projeto de um pavimento se relaciona aos mais diversos parâmetros de estudos, compreendendo mais especificamente ao atendimento deste tópico o relacionado a drenagem, onde os autores colocam que “o apontamento dos requisitos da drenagem subsuperficial e superficial, de acordo com a estrutura do pavimento com suas variadas condições”

Para BERNUCCI (2008) “O Tratamento Superficial Triplo consiste em aplicação de ligantes asfálticos e agregados sem mistura prévia, na pista, com posterior compactação que promove o recobrimento parcial e a adesão entre agregados e ligantes. além de permitir a drenagem da água que se infiltra (por meio de drenos) e resistir às deformações.”

### 2.3.3 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM DO CBUQ

Drenagem superficial e o mecanismo que faz a captação da parcela da quantidade total de água, sendo esses dispositivos fazem com que as águas saiam do trajeto das pistas e

continuem seu percurso por meio de rios ou infiltrem onde não causem danos a nenhuma estrutura. (BERNUCCI, 2008)

O DNIT (2006) disponibiliza informações com as velocidades máximas que o tipo de revestimento CBUQ, “Revestimento betuminosos, Velocidade máxima (m/s): 3,00 – 4,00. Como agentes para diminuir a velocidade e chegar de uma maneira que não denigra o solo, podemos utilizar dissipadores de energia (escada).

#### 2.4 PATOLOGIAS EM REVESTIMENTOS FLEXÍVEIS

As principais patologias de pavimentos asfálticos são descritas como “doenças” ocorridas nos pavimentos, cuja origem pode ter sido a má execução do projeto, problemas construtivos, falha na seleção dos materiais, inadequações nas alternativas de conservação e manutenção entre outros fatores. Esses defeitos provocam a deterioração do revestimento e das camadas subjacentes, prejudicando o rolamento, conforto e a segurança na via, trazendo também prejuízos aos usuários e aos veículos. (BALBO, 1997)

Segundo a norma do DNIT (006/2003) que trata da avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento, define o grau de degradação do pavimento a partir da tabela 2.

Tabela 2 – Conceitos de degradação do pavimento em função do IGG

<b>Conceitos</b>	<b>Limites</b>
Ótimo	$0 < IGG \leq 20$
Bom	$20 < IGG \leq 40$
Regular	$40 < IGG \leq 80$
Ruim	$80 < IGG \leq 160$
Péssimo	$IGG > 160$

Fonte: DNIT (006/2003)

Sendo os tipos de patologias catalogados pelas normas brasileiras são consideradas para cálculo de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); corrugações e ondulações transversais (O); panela ou buraco (P); remendos (R), conforme BERNUCCI (2008).

Quanto à tipologia, Bernucci explica que as trincas isoladas podem ser:

- transversais curtas ou longas,

- longitudinais curtas ou longas,
- de retração,
- interligadas em trincas de bloco (tendem a uma regularidade geométrica),
- trincas tipo couro de jacaré (não seguem um padrão de reflexão geométrico) são comumente derivadas da fadiga do revestimento asfáltico. (BERNUCCI, 2008).

Ainda em relação aos defeitos, o DNIT (008/2003) que traz os procedimentos de levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos procedimento, classifica a frequência dos defeitos a partir do código “A”, “M” ou “B” conforme a estimativa da qualidade e da porcentagem de ocorrência do defeito avaliada pela tabela 3 apresentada a seguir. No caso de não ocorrência de um determinado defeito deixar em branco.

Tabela 3 – Frequência de Defeitos.

<b>Panelas (P) e Remendos (R)</b>		
<b>Código</b>	<b>Frequência</b>	<b>Quant./km</b>
A	Alta	$\geq 5$
M	Média	2 – 5
B	Baixa	$\leq 2$
<b>Demais defeitos</b>		
<b>Código</b>	<b>Frequência</b>	<b>% por km</b>
A	Alta	$\geq 50$
M	Média	50 – 10
B	Baixa	$\leq 10$

Fonte: DNIT (008/2003)

No que diz respeito aos afundamentos derivados de deformações permanentes seja do revestimento asfáltico ou de suas camadas subjacentes, incluindo o subleito. Eles são classificados como:

- afundamento por consolidação localizado (extensão não superior a 6m) ou longitudinal nas trilhas de roda (exceda 6m de extensão).
- afundamentos plásticos (fluência do revestimento asfáltico) podendo ser localizado ou longitudinal nas trilhas de roda. (DNIT 005/2003)

Segundo DNIT (005/2003) as corrugações “são deformações transversais ao eixo da pista, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros.”

Nas chamadas ondulações que são deformações transversais ao eixo da pista, oriundas da consolidação diferencial do subleito, sendo inferente das corrugações de comprimento de onda entre duas cristas que é da ordem de metros.

A chamada panela ou buraco é uma cavidade ou mesmo buraco no revestimento asfáltico. São originadas das trincas devido à constante presença da água e ação do tráfego podendo comprometer outras estruturas do pavimento.

“[...] Painelas são cavidades de diversos tamanhos que ocorrem no revestimento, resultantes de uma desintegração localizada. Esses pontos de fraqueza do pavimento, geralmente causados por aplicação insuficiente de asfalto ou por ruptura da base associada a uma drenagem deficiente, evoluem, sob a ação do tráfego e em presença de água, para uma fragmentação e até a remoção de partes do revestimento e/ou da base [...]” (YOSHIZANE, 2005, p.18).

Na deterioração do remendo podemos classificar como um tipo de defeito caracterizado pelo preenchimento de painelas, buracos ou de qualquer outro orifício ou depressão com massa asfáltica.

“[...] Os remendos representam a porção da superfície do pavimento maior que 0,1m<sup>2</sup>, removida e substituída após a construção inicial. Assim como a avaliação do nível de severidade, a forma de execução de um remendo também depende do tipo de defeito apresentado” (YOSHIZANE, 2005, p.18).

A seguir apresenta-se a Figura 13, adaptada por ROCHA (2009) onde apresenta-se resumidamente os defeitos e suas causas prováveis.

Figura 13 – Defeitos e possíveis causas de patologias em pavimentos

Defeito		Descrição	Prováveis causas
Trincas isotadas	Longitudinais	Apresenta direção predominante paralela ao eixo da via.	Junta de construção mal executada. Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
	Transversais	Apresenta direção predominante ortogonal ao eixo da via.	Contração / dilatação do revestimento. Propagação de trincas de camadas subjacentes.
Trincas interligadas	Jacaré / crocodilo	Assemelhando-se ao couro de jacaré ou crocodilo.	Ação repetida das cargas de tráfego.
	Bloco	Configuração próxima a um retângulo, podendo os blocos apresentar vários tamanhos.	Variações térmicas. União de trincas transversais e longitudinais.
Afundamento	Plástico	Apresenta além da depressão na região das trilhas de rodas um solevamento lateral.	Ruptura das camadas do pavimento pela ação do tráfego.
	Consolidação	Caracteriza-se por uma depressão do revestimento na região das trilhas de roda.	Compactação insuficiente das camadas. Mistura asfáltica com baixa estabilidade. Infiltração de água nas camadas.
Ondulação/ corrugação		Caracteriza-se por ondulações ou corrugações transversais na superfície do pavimento de caráter plástico e permanente	Instabilidade da mistura betuminosa ou base. Excesso de umidade das camadas. Materiais estranhos na mistura. Retenção da água na mistura.
Deterioração de remendos		Região do pavimento onde ocorreu substituição do material original.	Tráfego intenso. Uso de materiais de má qualidade. Condições ambientais agressivas. Problemas construtivos.
Pancas		Cavidade que se forma num primeiro estágio no revestimento apresentando dimensões variadas.	Trinca por fadiga. Desgaste de alta severidade.

Fonte: Adaptada por ROCHA, 2009.

Para o DNIT 005 (2003) as patologias consideradas para as superfícies de pavimentos de rodovia que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) são: fendas (F); afundamentos (A); Corrugação e ondulações transversais (O); Exsudação (EX); Desgaste ou Desagregação (D); Panela ou Buraco (P); Remendos (R).

Algumas figuras serão apresentadas como resultado da pesquisa de estudos de caso feitos, relacionados a problemática do surgimento de patologias em revestimentos flexíveis de rodovias:

### 2.4.1 FENDAS OU FENDILHAMENTO: FISSURA E TRINCA

Figura 14 – Fotografia de fendas de onde ocorre a subida de finos.

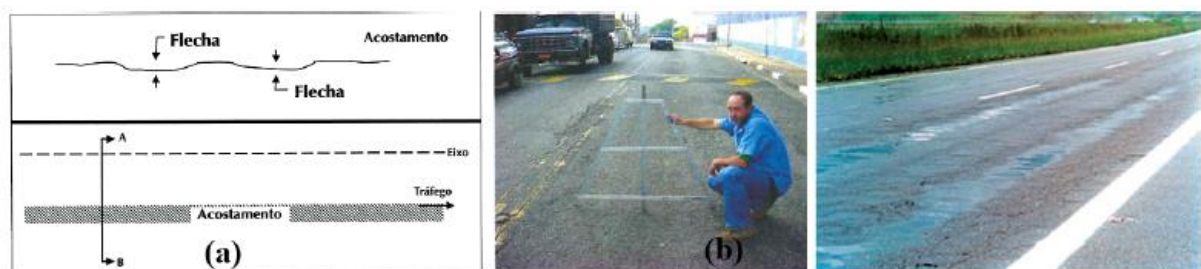


Fonte: Pinto, 2003, p. 51.

A ocorrência de fendas é uma forma de degradação mais frequente nos pavimentos flexíveis. Sua causa se dá principalmente pela fadiga dos materiais utilizados nas camadas betuminosas, devido à tração por flexão dessas camadas de forma repetida com a passagem de carga dos veículos segundo Beskou, Hasni (2016, 2017).

### 2.4.2 AFUNDAMENTOS

Figura 15 – Esquema (a) e fotografia do afundamento local (b) e por consolidação em trilha de roda (c).



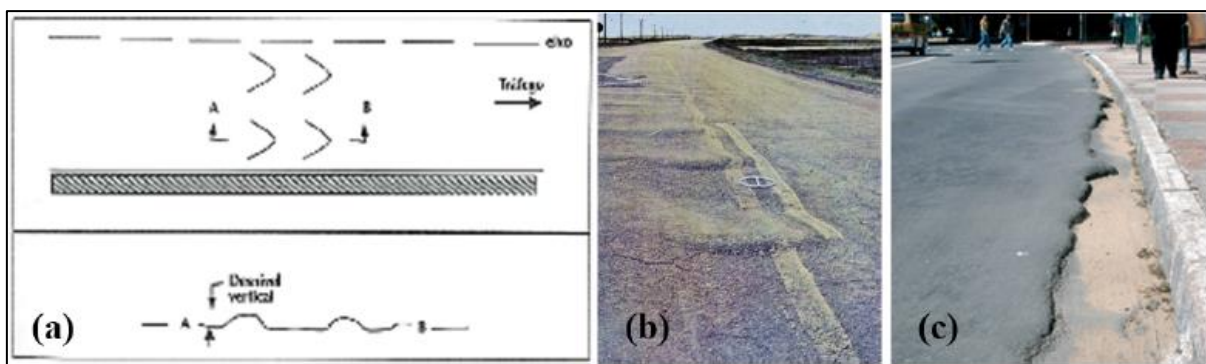
Fontes: Bernucci, 2006, p. 419; Silva, 2008, p. 30; Silva, 2008, p. 30

Os afundamentos são deformações plásticas ou permanentes, que sofrem depressão longitudinal da superfície do pavimento. As deformações são causadas pela ação das cargas dos pneus que passam repetidas vezes. Segundo Silva (2008), pode ser do tipo afundamento plástico ou de consolidação. O primeiro ocorre por causa das deformações plásticas das camadas do pavimento e apresentam também elevações que contornam o afundamento.



### 2.4.3 CORRUGAÇÃO E ONDULAÇÕES TRANSVERSAIS (O)

Figura 16 – Esquema e fotografias da ondulação (a, b) e do escorregamento de massa (c).

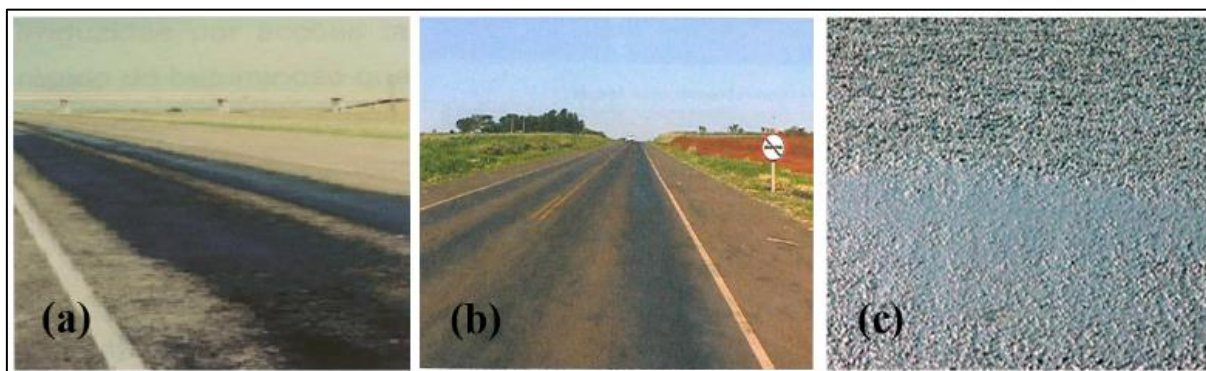


Fontes: Bernucci, 2006, p. 419; Brasil, 2003, p. 9; Silva, 2008, p. 31. 3.3.3 Abatimento

Corrugações ou ondulações também são conhecidas como costela de vaca. Caracterizam-se por ondulações transversais ao eixo da via, que ocorrem nas camadas de desgaste constituídas por revestimento superficial, figura 15. De acordo com Silva (2008), isso se deve à base instável resultante de má execução e à baixa resistência da massa asfáltica, resultando excesso de asfalto ou finos. Esta patologia está associada às tensões cisalhantes horizontais que se formam em áreas submetidas à aceleração dos veículos.

### 2.4.4 EXSUDAÇÃO (EX);

Figura 17 – Ilustração da exsudação na parte lateral (a) e central (b) da rodovia, e detalhes (c).

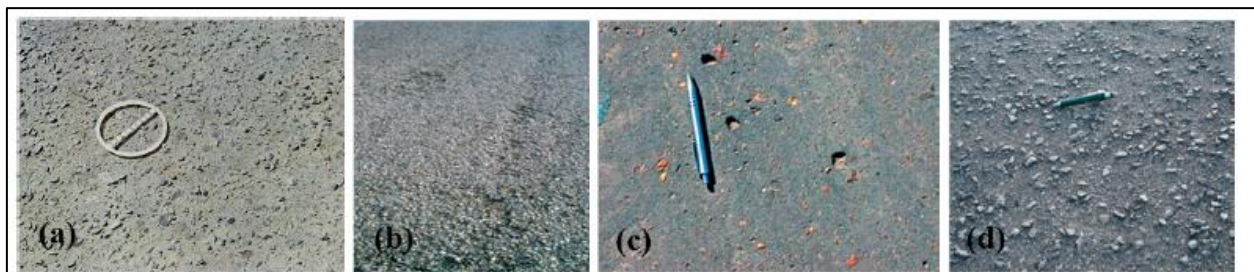


Fontes: Bernucci, 2006, p. 420; Pinto, 2003, p. 52; Silva, 2008, p. 33.

A exsudação do asfalto ocorre para a superfície, por conta da dilatação do asfalto no calor que encontra dificuldade de ocupar espaço devido ao baixo volume de vazios ou ao excesso de ligante, havendo menor viscosidade do asfalto e conseqüente envolvimento dos agregados grossos e redução da macrotextura. Sua forma é brilhosa e isso se deve pelo excesso de ligante betuminoso, conforme mostra a Figura 17, Pinto (2003)

### 2.4.5 DESGASTE OU DESAGREGAÇÃO (D)

Figura 18 – Degradação da camada por desgaste (a), desagregação de agregado (b), deslocamento e perda de agregado (c) e polimento de agregado (d).



Fonte: Bernucci, 2006, p. 11; Bernucci, 2006, p. 421; Bernucci, 2006, p. 421, Brasil, 2003, p. 421.

O desgaste está associado ao tráfego e ao intemperismo (Figura 5). É resultante da deficiência na ligação entre os componentes das misturas betuminosas ou a sua má formulação, da utilização de materiais não apropriados e de erros na construção. Outra patologia que pode estar associada com a perda de agregado é o polimento de agregado, como mostra a Figura 5 (d), que, pelo fato da seleção deficiente de agregados, ocasiona problemas de adesividade somados à potencialidade de polimento das superfícies dos agregados pela ação dos pneus de veículos (BERNUCCI, 2006; PINTO, 2003; SILVA, 2008).

### 2.4.6 PANELA OU BURACO (P);

Figura 19 – Fotografia de panelas ou covas com poça de água dentro (a), na lateral da rodovia (b) e no centro da rodovia (c).



Fonte: Pinto, 2003, p. 53; Silva, 2008, p. 35.

Panelas ou covas surgem devido a buraco ou cavidade que se forma no revestimento, podendo passar para a próxima camada, a base. É uma patologia que surge com a evolução de outras, como as fendas – principalmente aquelas do tipo pele de crocodilo, afundamentos, desgastes, desagregação da camada de desgaste e a falta de aderência entre as camadas.

#### 2.4.7 CALMATAÇÃO

Um dos problemas que afetam a permeabilidade dos pavimentos drenantes é a calmatação dos poros vazios com o tempo, o que é inevitável. Segundo Porto (1999), a calmatação é intensa nos dois primeiros anos de uso do pavimento sendo que após esse período, a permeabilidade apresenta pequenas reduções.

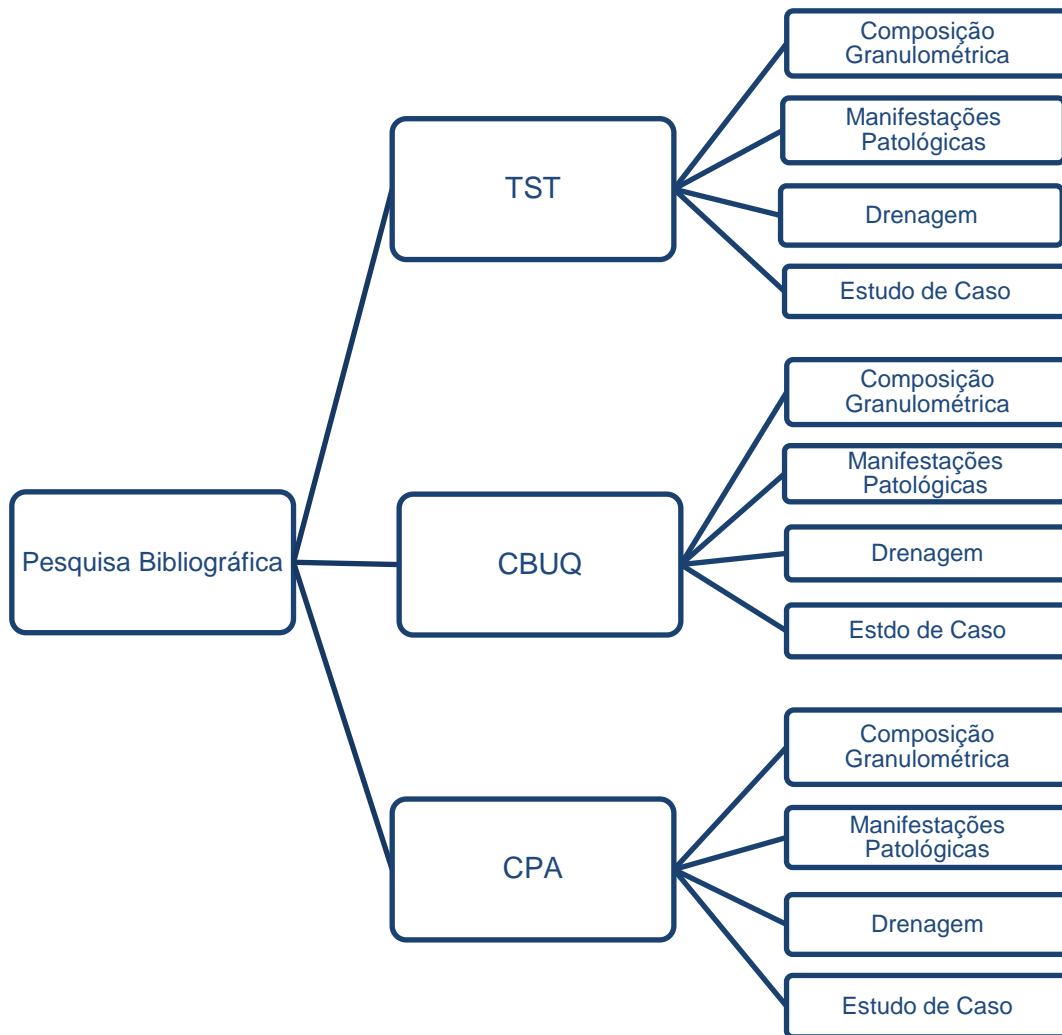
### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 DESENHO DO ESTUDO

A metodologia deste trabalho visa discorrer sobre os revestimentos de rodovias, salientando suas principais características como aplicabilidade, granulometria, tipos de aplicações, sua capacidade de drenagem e suas patologias. Serão analisados os revestimentos flexíveis do tipo de CBUQ, TST e CPA, através de pesquisa de material bibliográfico, com referência teórica, analisando trabalhos feitos a partir de estudos de casos e de estudos experimentais dos revestimentos flexíveis.

Para atingir o objetivo, realizaremos uma pesquisa exploratória descritiva, por meio de revisão da bibliográfica. Em um primeiro momento, será pesquisado publicações, livros e artigos que correspondam aos seguintes critérios de inclusão: ser artigo de pesquisa em periódico nacional ou internacional em inglês ou espanhol; indexados em bases de dados informatizados; teses e dissertações relacionadas às temáticas trabalhadas e literaturas que tratam dos assuntos e seus principais conceitos. Esta pesquisa se apresenta como qualitativa.

### 3.2 FLUXOGRAMA



Fonte: Autora, 2017.

### 3.3 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

Em um primeiro momento, será pesquisado publicações, livros e artigos que correspondam aos seguintes critérios de inclusão: ser artigo de pesquisa em periódico nacional ou internacional em inglês ou espanhol; indexados em bases de dados informatizados; teses e dissertações relacionadas às temáticas trabalhadas e literaturas que tratam dos assuntos e seus principais conceitos.

### 3.4 OBJETO DE ESTUDO OU POPULAÇÃO E AMOSTRA

Tem como objetivo discorrer sobre os revestimentos de rodovias, salientando suas principais características como aplicabilidade, granulometria, tipos de aplicações, sua capacidade de drenagem e suas patologias. Serão analisados os revestimentos flexíveis do tipo de CBUQ, TST e CPA, através de pesquisa de material bibliográfico, com referência teórica, analisando trabalhos feitos a partir de estudos de casos e de estudos experimentais dos revestimentos flexíveis, em um período de 15 anos de 2002 a 2017.

### 3.5 CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Rodovias que possuem os tipos de revestimentos que estamos tratando no trabalho.

### 3.6 INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS, ESTRATÉGIAS DE APLICAÇÃO, PROCESSAMENTO, ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS DADOS

Os dados extraídos serão agrupados em categorias ou Áreas temáticas, a fim de alcançar uma análise a respeito dos estudos consultados.

Salientando que as etapas deste trabalho são: recolhimento do material bibliográfico, separação do material a ser incorporada a pesquisa, análise de suas principais características de aplicação, granulometria, drenagem e patologias.

No que diz respeito à drenagem, será utilizado o mesmo padrão definido pelo coeficiente de permeabilidade de misturas asfálticas. Na literatura existem vários estudos que propõem métodos para avaliar a permeabilidade nesse tipo de material (OLIVEIRA, 2003; NASCIMENTO, 2005; SOUZA, 2008; CHAVES, 2010). Na maioria desses estudos adota como válida a lei de Darcy.

Para análise dos tipos de patologias catalogadas pela norma brasileira e que são considerados para cálculo de indicador de qualidade da superfície do pavimento (IGG – Índice de Gravidade Global) serão analisados os seguintes: fendas (F); afundamentos (A); corrugações e ondulações transversais (O); panela ou buraco (P); remendos (R), conforme BERNUCCI (2008).

### 3.7 ESTUDO COMPARATIVO

Para atingir o objetivo geral deste estudo, serão construídas tabelas comparativas das patologias, granulometrias e dos tipos de materiais, sendo utilizados também imagens para aferir as diferenças entre os tipos de pavimentos propostos para o estudo neste projeto.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESTUDO DE CUSTOS E MATERIAIS

#### 4.1.1 MATERIAIS CONSTITUINTES

Tabela 4 – Comparativo de Materiais

Insumos	TST	CBUq	CPA
RR-2C	X		
CAP		X	X
FÍLER		X	X
PÓ DE PEDRA		X	X
AREIA MÉDIA		X	
AGREGADO N° 0, OU PEDRISCO (4,5 A 9,5 MM)	X	X	X
AGREGADO N° 1 – (9,5 A 19 MM)	X	X	X
AGREGADO N° 2 – (19 A 38 MM)	X		

Fonte: Autora, 2018.

#### 4.1.2 GRANULOMETRIA

As misturas a quente distinguem-se em vários tipos de acordo com o padrão granulométrico empregado e as exigências de características mecânicas, em função da aplicação a que se destina.

De acordo com Liedt, et al (2006), as misturas asfálticas também podem ser separadas em grupos específicos em função da granulometria dos agregados, como veremos a seguir:

Graduação densa: curva granulométrica contínua e bem-graduada de forma a proporcionar um esqueleto mineral com poucos vazios visto que os agregados de dimensões menores preenchem os vazios dos maiores. Exemplo: concreto asfáltico (CA). (Liedt, et al, 2006)

Gradação aberta: curva granulométrica uniforme com agregados quase exclusivamente de um mesmo tamanho, de forma a proporcionar um esqueleto mineral com muitos vazios interconectados, com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, com o objetivo de tornar a mistura com elevado volume de vazios com ar e, portanto, drenante, possibilitando a percolação de água no interior da mistura asfáltica. Exemplo: mistura asfáltica drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA). (Liedi, et al, 2006)

Gradação descontínua: curva granulométrica com proporcionamento dos grãos de maiores dimensões em quantidade dominante em relação aos grãos de dimensões intermediárias, completados por certa quantidade de finos, de forma a ter uma curva descontínua em certas peneiras, com o objetivo de tornar o esqueleto mineral mais resistente à deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétreo asfáltica (*stone matrix asphalt* – SMA); mistura sem agregados de certa gradação (*gap-graded*). (Liedi, et al, 2006)

A partir destas definições foram apresentados estudos de granulometria e de corpos de prova da estrutura granulométrica dos revestimentos comparados neste item.

Figura 20 – Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente



(a) Aberta (b) Descontínua (c) Densa ou bem-graduada

Fonte: Liedi, et al, 2006



Figura 21 – Exemplo de várias frações de agregados e filer que compõem um concreto asfáltico – mistura densa ou bem-graduada e contínua.



Fonte: Liedt, et al, 2006

A Figura 22 mostra exemplos de corpos-de-prova moldados em laboratório ou extraídos do campo, de três tipos de mistura asfáltica: CA (densa), e CPA (aberta ou porosa).

Figura 22 - Corpos-de-prova moldados em laboratório CA (densa), e CPA (aberta ou porosa).



Fonte: Liedt, et al, 2006

Um dos tipos de mistura a quente mais empregados no Brasil é o concreto asfáltico (CA) também denominado concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ).

Trata-se do produto da mistura convenientemente proporcionada de agregados de vários tamanhos e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente escolhidas, em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

Graças ao arranjo de partículas com graduação bem-graduada, a quantidade de ligante asfáltico requerida para cobrir as partículas e ajudar a preencher os vazios não pode ser muito elevada, pois a mistura necessita contar ainda com vazios com ar após a compactação em torno de 3 a 5%, no caso de camada de rolamento (camada em contato direto com os pneus dos veículos) e de 4 a 6% para camadas intermediárias ou de ligação (camada subjacente à de rolamento).

Tabela 5 – Faixas granulométricas e requisitos para Concreto Asfáltico (DNIT 031/2004-ES)

Peneira de malha quadrada		Faixas			
Série ASTM	Abertura (mm)	Porcentagem em massa, passando			Tolerância
		A	B	C	
2"	50,8	100	–	–	–
1 ½"	38,1	95–100	100	–	±7%
1"	25,4	75–100	95–100	–	±7%
¾"	19,1	60–90	80–100	100	±7%
½"	12,7	–	–	80–100	±7%
3/8"	9,5	35–65	45–80	70–90	±7%
Nº 4	4,8	25–50	28–60	44–72	±5%
Nº 10	2,0	20–40	20–45	22–50	±5%
Nº 40	0,42	10–30	10–32	8–26	±5%
Nº 80	0,18	5–20	8–20	4–16	±5%
Nº 200	0,075	1–8	3–8	2–10	±2%
Teor de asfalto, %		4,0 a 7,0	4,5 a 7,5	4,5 a 9,0	±0,3%
Tipo de camada de revestimento asfáltico		Camada de ligação	Camada de ligação ou rolamento	Camada de rolamento	

Fonte: Liedt, et al, 2006

As misturas asfálticas abertas do tipo CPA – camada porosa de atrito – mantêm uma grande porcentagem de vazios com ar não preenchidos graças às pequenas quantidades de fíler, de agregado miúdo e de ligante asfáltico. Essas misturas asfálticas a quente possuem normalmente entre 18 e 25% de vazios com ar – DNER-ES 386/99.

A especificação brasileira do DNER-ES 386/99 recomenda para CPA cinco faixas granulométricas e teor de ligante asfáltico entre 4,0 e 6,0% – Tabela 6 Porém, devido à particularidade granulométrica, a quantidade de ligante é geralmente reduzida, ficando em média em torno de 3,5 a 4,5%, dependendo do tipo de agregado, forma, natureza, viscosidade e tipo de ligante. O ligante utilizado deverá ter baixa suscetibilidade térmica e alta resistência

ao envelhecimento. Em geral recomenda-se o emprego de asfalto modificado por polímero para aumentar a durabilidade e reduzir a desagregação.

Tabela 6 – Faixas granulométricas e requisitos de dosagem da Camada Porosa de Atrito (DNER-ES 386/99)

Peneira de malha quadrada		Faixas					
		Porcentagem em massa, passando					
ABNT	Abertura mm	I	II	III	IV	V	Tolerância
¾"	19,0	–	–	–	–	100	–
½"	12,5	100	100	100	100	70–100	±7
3/8"	9,5	80–100	70–100	80–90	70–90	50–80	±7
Nº 4	4,8	20–40	20–40	40–50	15–30	18–30	±5
Nº 10	2,0	12–20	5–20	10–18	10–22	10–22	±5
Nº 40	0,42	8–14	–	6–12	6–13	6–13	±5
Nº 80	0,18	–	2–8	–	–	–	±3
Nº 200	0,075	3–5	0–4	3–6	3–6	3–6	±2
Ligante modificado por polímero, %		4,0–6,0					±0,3
Espessura da camada acabada, cm		3,0		≤ 4,0			
Volume de vazios, %		18–25					
Ensaio Cântabro, % máx.		25					
Resistência à tração por compressão diametral, a 25°C, MPa, mín.		0,55					

Fonte: Liedt, et al, 2006

O Tratamento Superficial Triplo é o revestimento de tratamento superficial mais indicado para pavimentos novos. O revestimento é composto de três pinturas de asfalto e de três camadas de agregado de granulometria decrescente de baixo para cima.

O agregado graúdo da primeira camada é complementado com um agregado médio da segunda camada e com uma camada de agregado fino na superfície exposta diretamente à ação do tráfego.

Tabela 7 – Tratamento Superficial Triplo: granulometrias e quantidades

Peneiras #		Porcentagem que passa		
(")	(mm)	Agregado graúdo	Agregado miúdo	Agregado fino
1 1/2	38,1	100	—	—
1	25,4	90 - 100	—	—
3/4	19,1	20 - 100	100	—
1/2	12,7	0 - 55	90 - 100	—
3/8	9,52	0 - 15	40 - 100	100
nº 4	4,76	0 - 5	0 - 30	85 - 100
nº 8	2,38	—	0 - 10	10 - 40
nº 16	1,19	—	0 - 5	0 - 10
nº 50	0,297	—	—	0 - 5

Quantidades de agregados e asfalto				
Aplicação	Peneiras #	Quantidades	Agregado (kg/m <sup>2</sup> )	Agregado (d/m <sup>2</sup> )
	(" - ")	(mm - mm)		
1ª camada	1 - 1/2	25,4 - 12,7	17,0	1,9
2ª camada	1/2 - nº 4	12,7 - 4,76	8,0	1,2
3ª camada	nº 4 - nº 16	4,76 - 1,19	4,0	0,6
			29,0	3,7
1ª camada	3/4 - 3/8	19,1 - 9,52	12,0	1,7
2ª camada	3/8 - nº 8	9,52 - 2,38	6,0	0,9
3ª camada	nº 8 - nº 16	2,38 - 1,19	4,0	0,6
			22,0	3,2

Fonte: Senço, 2001.

Como se observa, os diâmetros máximos dos agregados indicam queo diâmetro máximo de uma camada é cerca de metade do diâmetro da camada mais grossa. Assim:

- a. Primeira camada: diâmetro máximo de 25,4 mm;
- b. Segunda camada: diâmetro máximo de 12,7 mm;
- c. Terceira camada: diâmetro máximo entre 9,52 e 4,75 mm (média de 6,35 mm).

Os materiais betuminosos a serem utilizados podem ser:

- emulsões asfálticas tipos RR-1C e RR-2C.

#### 4.1.3 COMPARATIVO DOS CUSTOS

A Tabela 8 e a Tabela 9 a seguir mostram um comparativo de custos dos materiais dos revestimentos TST, CBUQ e CPA com base na última atualização dos valores do SINAP e do DNIT.

Esse comparativo foi feito com base na quantidade por m<sup>2</sup>, e cada revestimento com sua determinada espessura usual, sendo o TST com espessura de 3,5 cm, o CBUQ com espessura de 7,0 cm e o CPA com espessura de 4,0 cm.

É possível observar a variação dos coeficientes de consumo do SINAPI em relação ao DNIT, onde o coeficiente de consumo do DNIT em sua maior parte apresenta-se menor, porém com um custo maior, já o SINAP possui o coeficiente de consumo em sua maior parte mais elevado, porém com o custo menor, tornando-o assim mais barato.

Tabela 8 – Comparativo de Custo Direto de Materiais SINAPI (Fevereiro, 2018).

COMPOSIÇÃO DE INSUMOS					
SINAPI	Insumo	UND	Consumo	Custo Unitario	Custo Total R\$
TST	Pedra N°2 (19 a 38 mm)	m <sup>2</sup>	0,017	46,19	0,79
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m <sup>2</sup>	0,006	58,97	0,32
	Pedra N°1 (9,5 a 19 mm)	m <sup>2</sup>	0,012	46,19	0,53
	Emulsão RR-2	kg	3,550	1,74	6,18
SUBTOTAL					7,82
CBUQ	Areia Media	m <sup>3</sup>	0,161	70	11,27
	Cimento Portland CP II	kg	28,00	0,52	14,56
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m <sup>2</sup>	0,322	58,97	18,98
	Pedra Britada N° 1 (9,5 a 19 mm)	m <sup>2</sup>	0,134	46,19	6,19
	CAP 50/70	kg	0,060	1,96	0,12
SUBTOTAL					51,12
CPA	Pedra Britada N° 1 (9,5 a 19 mm)	m <sup>2</sup>	0,134	46,19	6,19
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m <sup>2</sup>	0,322	58,97	18,98
	Po de Pedra	m <sup>3</sup>	0,608	44,09	26,81
	CAP 50/70 com polímero	kg	0,048	1,96	0,094
SUBTOTAL					52,08

Fonte: SINAPI, Adaptada pela Autora (2018).

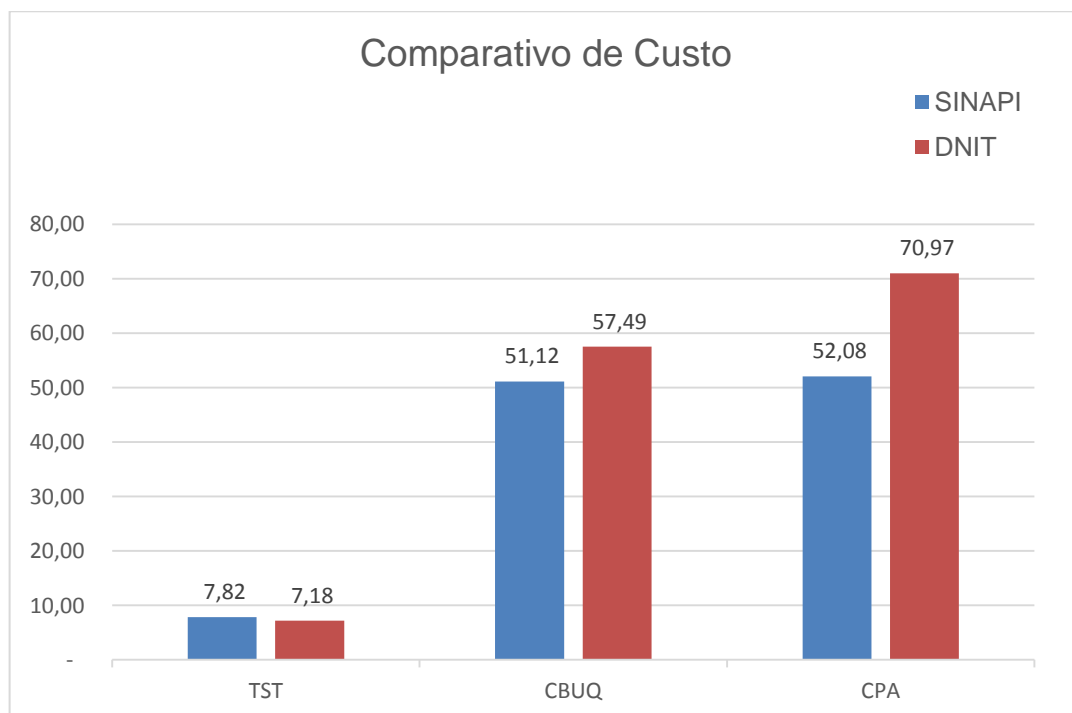
Tabela 9 – Comparativo de Custo Direto de Materiais DNIT (Setembro,2017).

COMPOSIÇÃO DE INSUMOS					
DNIT	Insumo	UND	Consumo	Custo Unitario	Custo Total R\$
TST	Pedra N°2 (19 a 38 mm)	m³	0,015	106,06	1,59
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m³	0,004	116,06	0,46
	Pedra N°1 (9,5 a 19 mm)	m³	0,007	106,06	0,78
	Emulsão RR-2	kg	2,500	1,74	4,35
<b>SUBTOTAL</b>					<b>7,18</b>
CBUQ	Areia Media	m³	0,210	52,71	11,04
	Cimento Portland CP II	kg	28,00	0,45	12,68
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m³	0,159	106,06	16,83
	Pedra Britada N° 1 (9,5 a 19 mm)	m³	0,159	106,06	16,83
	CAP 50/70	kg	0,048	1,96	0,09
<b>SUBTOTAL</b>					<b>57,49</b>
CPA	Pedra Britada N° 1 (9,5 a 19 mm)	m³	0,159	106,06	16,83
	Pedra Britada N°0 (Pedrisco)	m³	0,159	106,57	16,92
	Po de Pedra	m³	0,608	61,06	37,12
	CAP 50/70 com polímero	kg	0,048	1,96	0,09
<b>SUBTOTAL</b>					<b>70,97</b>

Fonte: DNIT, Adaptada pela Autora (2018).

No Gráfico 1 a seguir, podemos observar a variação de custo do revestimento TST sendo ele o mais barato, o revestimento CBUQ sendo ele o intermediário e o revestimento CPA sendo ele o mais caro.

Figura 23 - Gráfico de Comparativo de Custo



Fonte: SINAPI e DNIT: Adaptado pela Autora (2018).

O gráfico anterior mostra a grande diferença em relação ao custo do revestimento TST o mais barato, com o CPA o mais caro. Porém devem ser levados vários fatores em consideração quando for feita a escolha do melhor revestimento e um desses fatores é o custo benefício, e o CPA apresenta um custo benefício melhor apesar de ser mais caro, pois o mesmo é um pavimento drenante e de maior duração, com uma menor necessidade de manutenção em relação ao revestimento TST.

## 4.2 CARACTERÍSTICAS DE DRENAGEM

### 4.2.1 CBUQ E TST

De acordo com estudos de Pereira (2003) as infiltrações das águas superficiais podem reduzir a vida útil do pavimento, como ele confirma, o volume de infiltração depende diretamente da declividade longitudinal. Neste sentido ele apresenta em seu estudo que a água escoar em direção oblíqua à borda do pavimento, sendo exposta a uma quantidade maior de trincas e aumentando o volume de água infiltrado.

Drenagem superficial é o mecanismo que faz a captação da parcela da quantidade total da água impedindo que infiltre na estrutura do pavimento. Esses Dispositivos fazem com que as águas saiam do trajeto das pistas e continuem seu percurso por meio de rios ou infiltrem onde não causem danos, porém deve-se ter cuidado onde vai ocorrer o desague, pois essa ação pode causar problemas.

Com referência, o DNIT (2006) disponibiliza as velocidades máximas que cada tipo de solo suporta, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 – Velocidade de escoamento máximo para solos diferentes.

<b>COBERTURA SUPERFICIAL</b>	<b>Velocidade máxima (m/s)</b>
Gramma comum firmemente implantada	1,50 – 1,80
Tufos de grama com solo exposto	0,60 – 1,20
Argila	0,80 – 1,30
Argila coloidal	1,30 – 1,80
Lodo	0,35 – 0,85
Areia fina	0,30 – 0,40
Areia média	0,35 – 0,45
Cascalho fino	0,50 – 0,80
Silte	0,70 – 1,20
Alvenaria de tijolos	2,50
Concreto de cimento Portland	4,50
Aglomerados resistentes	2,00
Revestimento betuminosos	3,00 – 4,00

Fonte: Pereira (2003).

#### 4.2.1.1 SARJETAS DE CORTE E ATERRO

Segundo JARBÔR (2014), as sarjetas de corte e aterro têm por finalidade captar as águas que precipitam sobre a plataforma e talude de corte e conduzi-las até a transição entre o corte e aterro, de forma a permitir a saída lateral para o terreno natural, ou então para caixa coletora de um bueiro de greide.

A forma mais usada é a triangular (Figura 24). Se forem muito longas aumentam a probabilidade de ocorrer problemas com obstrução, inundando a pista e piorando a drenagem.



Figura 24 – Exemplo de sarjeta triangular



Fonte: Pereira (2003).

#### 4.2.1.2 SARJETAS DE BANQUETA DE CORTE E ATERRO

Conhecidas por banquetas esse dispositivo tem como finalidade captar água proveniente de precipitações sobre o talude e plataforma, conduzindo a um local de deságue.

Figura 25 – Exemplo de Sargeta de baqueta de corte e aterro.



Fonte: Pereira (2003)

#### 4.2.1.3 DRENAGEM SUB-SUPERFICIAL

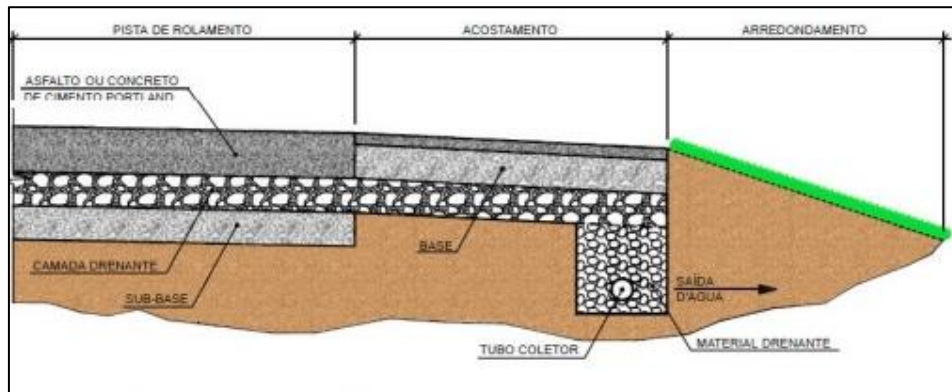
A drenagem sub-superficial tem por finalidade coletar e remover com rapidez a água que infiltra no pavimento. A escolha do material da base e o material usado como filtro tem suma importância no projeto, as Figuras 26, 27 e 28 ilustram isso.

Figura 26 - Drenagem Sub-superficial



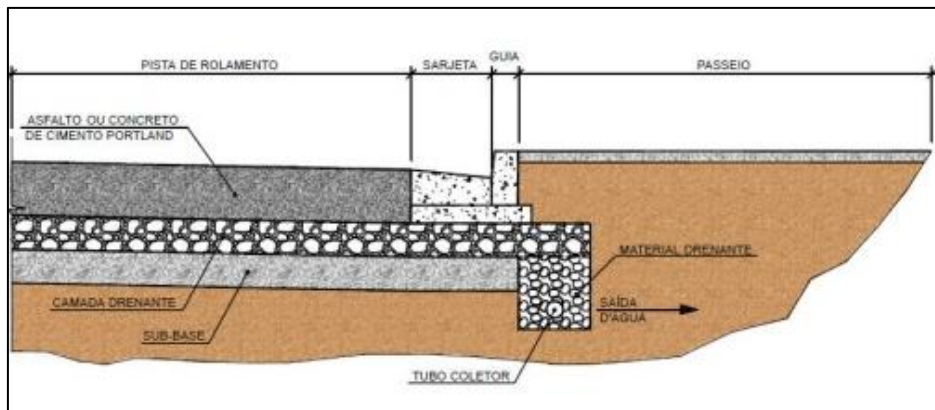
Fonte: Pereira (2003)

Figura 27 – Seção com camada de drenagem em pavimento com acostamento.



Fonte: Pereira (2003)

Figura 28 – Seção com drenagem em pavimento com passeio e sem acostamento.

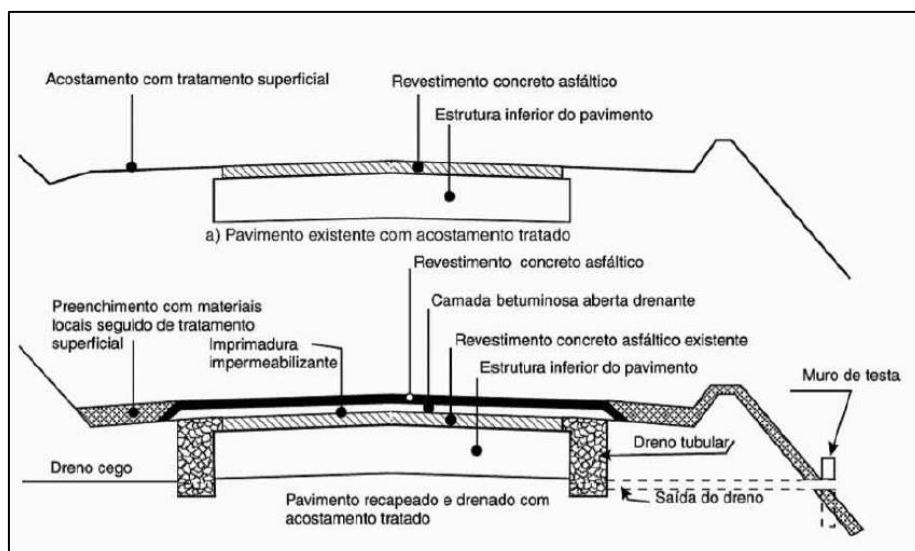


Fonte: Pereira (2003)

De acordo com Pereira (2003) a drenagem superficial dos revestimentos CBQU e TST, tem como finalidade remover e escoar com rapidez a água que infiltra no pavimento. Tendo a escolha do material que servira como filtro de suma importância nesse processo.

Concluindo que parte da água que cai sobre um pavimento se evapora, parte é escoada devido à inclinação transversal das faixas de tráfego ou das pistas, sendo captadas pelas valetas ou dirigidas pelas banquetas até o escoamento final para fora da plataforma, e, finalmente, parte se infiltra e se acumula no interior desse pavimento. Essa última parcela deve ser retirada para evitar o aparecimento de pressões neutras nesse interior e a possibilidade de rompimento da estrutura. (SENÇO, 2001).

Figura 29 – Seção transversal de um pavimento drenado.



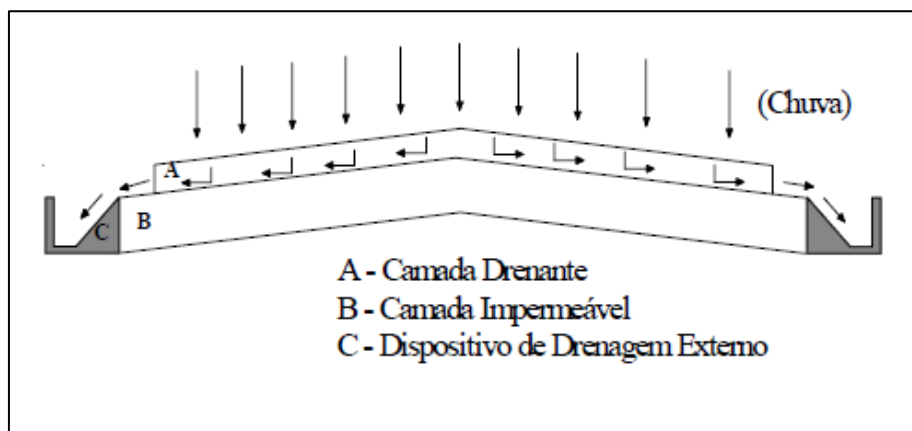
Fonte: Senço (2001).

#### 4.2.2 CPA

Segundo Terra, *et al* (2017) “os pavimentos permeáveis, com seus respectivos dispositivos de infiltração, possuem certas vantagens em relação aos demais sistemas de drenagem” permitindo atender as necessidades supracitadas.

A Figura 30 apresenta de forma ilustrativa o princípio de funcionamento dos pavimentos drenantes utilizados, seguidamente temos a demonstração a partir da Figura 31 do revestimento asfáltico drenante (faixa da direita) aplicado em rodovia.

Figura 30 – Esquema de funcionamento do asfalto drenante.



Fonte: (Petrobrás, 2001)

Figura 31 – Escoamento da água pelo acostamento na Estrada do Coco – BA



Fonte: (Petrobrás, 2001)

Os revestimentos asfálticos drenantes podem ser classificados segundo alguns aspectos, tais como o tipo e número de camadas, o volume de vazios característico e a

existência ou não de uma lacuna (*gap*) bem definida na composição granulométrica (Momm, 2002).

Desta forma o DNER traz a Especificação de Serviço e especifica os valores constantes na drenagem da camada porosa de atrito (CPA), na Tabela 11.

Tabela 11 – Especificações exigidas para camada porosa de atrito.

Características	Especificações exigidas
Porcentagem de Vazios	18 a 25%
Desgaste Cántabro	25%
Resistência à tração por compressão diametral a 25°C	0,55 MPa

Fonte: (DNER-ES 386/99).

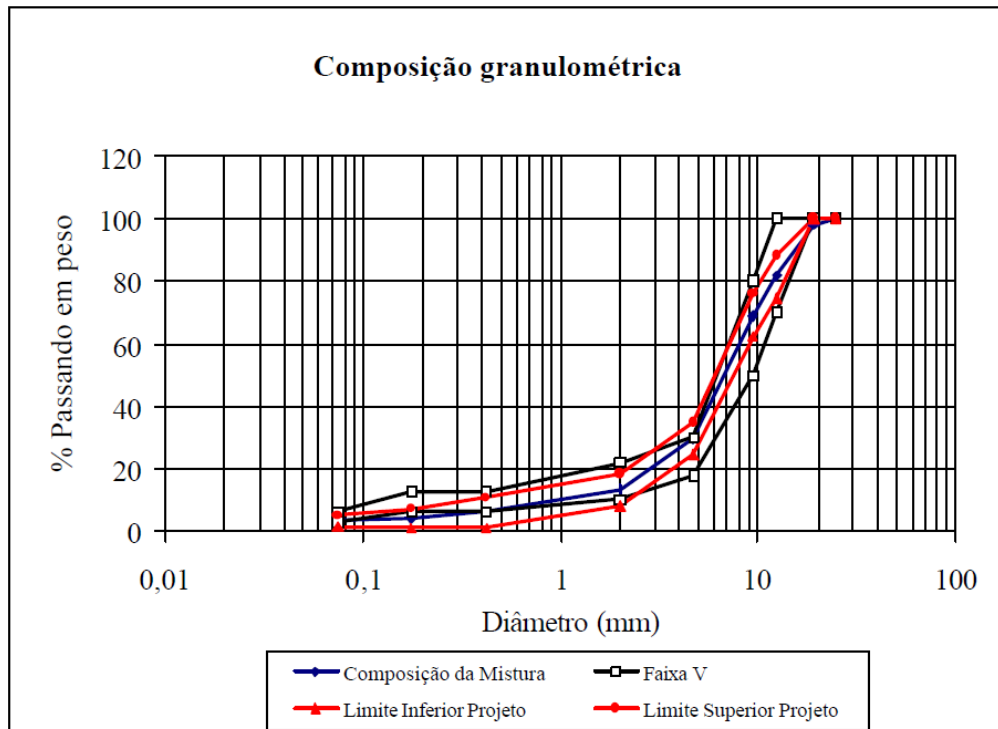
No que diz respeito a caracterização desses pavimentos, Oliveira (2003) traz a seguir a Tabela 12, que apresenta a composição granulométrica da mistura e a Figura 32 apresenta as curvas granulométricas referentes a um tipo de traço utilizado nos pavimentos flexíveis porosos, onde mais adiante faz a comparação do mesmo com outro tipo de traço também utilizado em pavimentos flexíveis porosos.

Tabela 12 – Composição granulométrica da Dosagem da Mistura (Faixa V).

DOSAGEM DA MISTURA										
1- Materiais Utilizados										
Tipo de agregado	Traco (%)	Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )		Fornecedor						
Brita 1	43	2,697		Pedreira Britacal						
Brita 0	42	2,649		Pedreira Britacal						
Pó-de-pedra	13	2,593		Pedreira Britacal						
Cal	2	2,300		Itaú						
Cap-20 (4% SBS)	----	1,042		Petrobrás						
2 - Composição Granulométrica										
Peneira	Porcentagem em peso passando nas peneiras					Faixa Granulométrica				
	Brita 1	Brita 0	Pó-de-pedra	Cal	Projeto	Especificação Faixa V		De Trabalho		
						mínimo	máximo	mínimo	máximo	
1"	100,0	100,0	100,0	100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
3/4"	95,3	100,0	100,0	100	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0	
1/2"	56,9	100,0	100,0	100	81,5	70,0	100,0	74,5	88,5	
3/8"	28,8	99,2	100,0	100	69,1	50,0	80,0	62,1	76,1	
Nº 4	1,1	34,5	97,1	100	29,6	18,0	30,0	24,6	34,6	
Nº 10	0,6	5,3	68,2	100	13,4	10,0	22,0	8,4	18,4	
Nº 40	0,5	1,4	23,9	100	5,9	6,0	13,0	0,9	10,9	
Nº 80	0,5	1,1	10,8	99,7	4,1			1,1	7,1	
Nº 200	0,4	1,0	6,1	94,1	3,3	3,0	6,0	1,3	5,3	
3 - Traco para Moldagem										
		Porcentagem de CAP								
		3,0%	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%				
Brita 1(g)	516	500,5	497,9	495,4	492,8	490,2				
Brita 0 (g)	504	488,9	486,4	483,8	481,3	478,8				
Pó-de-pedra (g)	156	151,3	150,5	149,8	149,0	148,2				
Cal (g)	24	23,3	23,2	23,0	22,9	22,8				
Total (g)	1200	1164,0	1158,0	1152,0	1146,0	1140,0				
Cap-20 (g)		36	42	48	54	60				

Fonte: Oliveira, 2003.

Figura 32 – Composição Granulométrica da Mistura ( Faixa V)



Fonte: Oliveira, 2003.

Oliveira (2003) explica que, toda a sua pesquisa foi realizada trabalhando-se com duas composições granulométricas enquadradas em faixas distintas (IV e V).

É importante frisar que a utilização da composição da faixa IV tem como principal finalidade avaliar a trabalhabilidade dos dois agregados diferentes quando compostos em proporções iguais. Para que o agregado calcário dolomítico utilizado nesta pesquisa possa ser utilizado na faixa IV em larga escala, sob forma de trecho experimental, deve-se fazer um ajuste nas peneiras da central produtora de agregados de modo que o tamanho máximo do agregado satisfaça as imposições dessa faixa. (OLIVEIRA, 2003)

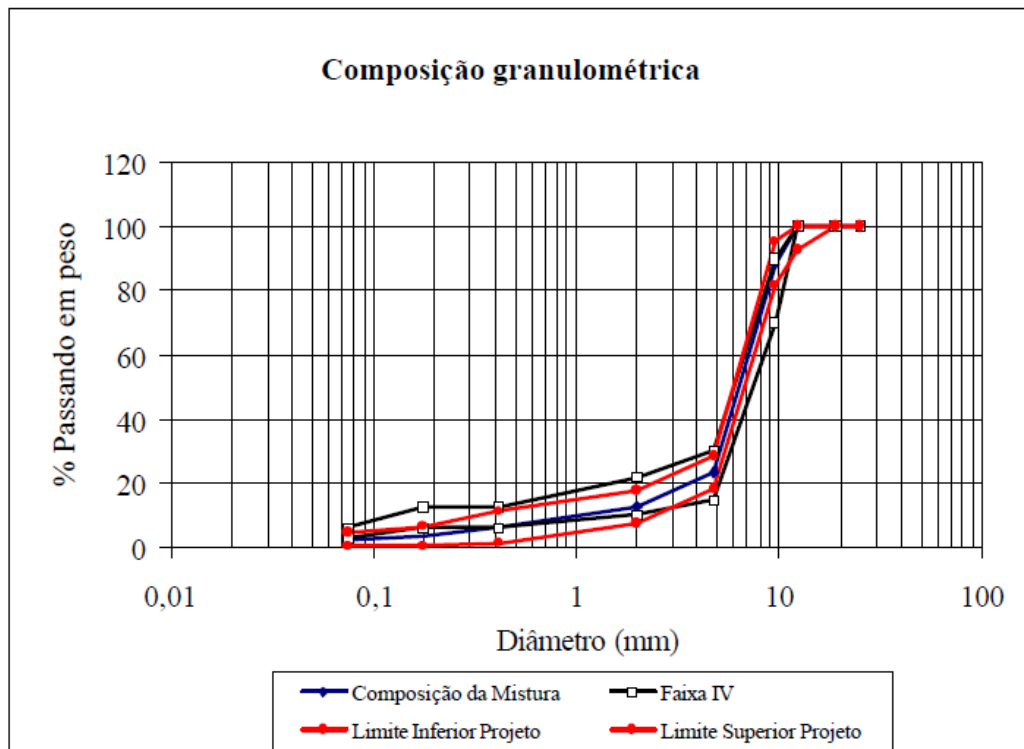
Ainda na análise destas composições, o autor apresenta a tabela que mostra a composição granulométrica da mistura, que foi embasada nas pré-definições de Botelho & Santos Filho (2002).

Tabela 13 – Composição granulométrica da Dosagem da Mistura – Traço Faixa IV (Modificado de Botelho & Santos Filho, 2002).

DOSAGEM DA MISTURA								
1- Materiais Utilizados								
Tipo de agregado	Traço (%)	Densidade real (g/cm <sup>3</sup> )	Fornecedor					
Brita 0	83	2,732	Pedreira Briccal					
Pó-de-pedra	15	2,604	Pedreira Briccal					
Cal	2	2,669	Pedreira Briccal					
Cap-20 (4% SBS)	-----	1,020	Centro Oeste Asfalto Ltda.					
2 - Composição Granulométrica								
Peneira	Porcentagem em peso passando nas peneiras				Faixa Granulométrica			
	Brita 0	Pó-de-pedra	Cal	Projeto	Especificação Faixa IV		De Trabalho	
					mínimo	máximo	mínimo	máximo
1"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
3/4"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1/2"	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,0	107,0
3/8"	86,1	100,0	100,0	88,5	70,0	90,0	81,5	95,5
Nº 4	7,9	100,0	100,0	23,6	15,0	30,0	18,6	28,6
Nº 10	1,1	66,5	100,0	12,9	10,0	22,0	7,9	17,9
Nº 40	1,0	23,3	100,0	6,3	6,0	13,0	1,3	11,3
Nº 80	0,9	5,6	99,0	3,6			0,6	6,6
Nº 200	0,8	0,6	99,1	2,7	3,0	6,0	0,7	4,7
3 - Traço para Moldagem		Porcentagem de CAP						
		3,0%	3,5%	4,0%	4,5%	5,0%		
Brita 0 (g)	996	966,1	961,1	956,2	951,2	946,2		
Pó-de-pedra (g)	180	174,6	173,7	172,8	171,9	171,0		
Cal (g)	24	23,3	23,2	23,0	22,9	22,8		
Total (g)	1200	1164,0	1158,0	1152,0	1146,0	1140,0		
Cap-20 (g)		36	42	48	54	60		

Fonte: Oliveira (2003).

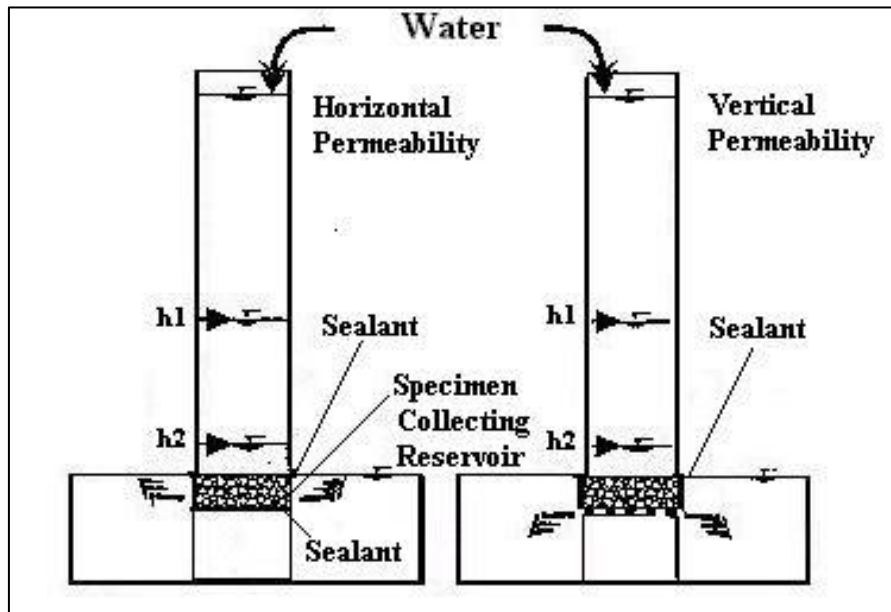
Figura 33 – Composição Granulométrica da Mistura – Faixa IV (Modificado de Botelho & Santos Filho, 2002).



Fonte: Oliveira (2003)

Para as duas amostras foram feitos dois tipos ensaios de permeabilidade (vertical e horizontal) para cada uma no intuito de avaliar qual das amostras tem maior permeabilidade e seria mais ideal para ser utilizada no revestimento drenante.

Figura 34 – Esquema do ensaio de permeabilidade no permeômetro EMPA (Modificado de Takahashi & Partl, 1999).



Fonte: Oliveira (2003)

Figura 35 – Equipamento de permeabilidade.



Fonte: Oliveira (2003)



No que diz respeito ao ensaio de permeabilidade vertical, ele traz a avaliação a da capacidade de percolação de água na direção vertical, impedindo-se a passagem de água pela lateral do corpo-de-prova. A lateral do corpo de prova é totalmente vedada com silicone para que o fluxo horizontal seja impedido (Figura 36).

Figura 36 – Corpo-de-prova vedado lateralmente.



Fonte: Oliveira (2003)

Seguindo as análises de permeabilidade, Oliveira, traz as características dos corpos de prova referentes aos testes horizontais, onde explica que, “o ensaio de permeabilidade horizontal consiste em medir a capacidade de percolação de água pela lateral do corpo-de-prova, impedindo-se a passagem de água pela base do mesmo.” (OLIVEIRA, 2003)

Figura 37 – Ensaio de permeabilidade horizontal.



Fonte: Oliveira (2003)

Os resultados obtidos neste ensaio feito por Oliveira (2003), são apresentados na Tabela 14, onde o pesquisador explica que “foram utilizados três corpos-de-prova de cada mistura no teor ótimo (4%). Cada corpo de-prova foi submetido aos ensaios de permeabilidade horizontal e vertical” (OLIVEIRA, 2003)

Tabela 14 – Resultados dos ensaios de permeabilidade vertical/horizontal nas misturas.

<b>Mistura</b>	<b>Permeabilidade</b>	<b>k (cm/s)</b>
Faixa IV	Vertical	0,453
Faixa IV	Horizontal	0,628
Faixa V	Vertical	0,386
Faixa V	Horizontal	0,597

Fonte: Oliveira (2003)

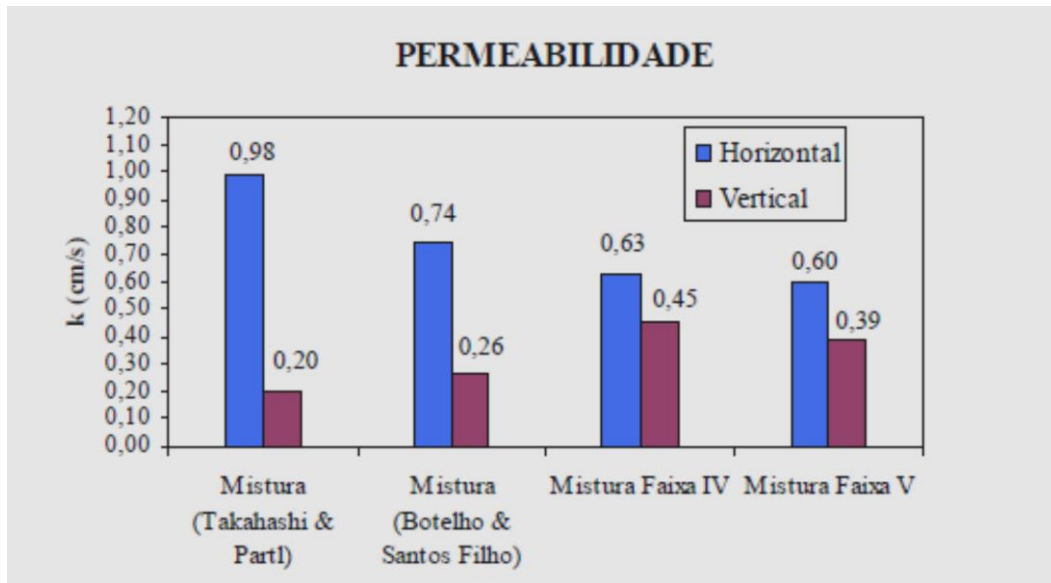
Na finalização de sua pesquisa e de seus resultados a partir dos métodos para a avaliação da permeabilidade dos corpos de prova, Oliveira (2003), demonstra:

“Os resultados de permeabilidade horizontal apresentaram-se superiores aos de permeabilidade vertical. Isso pode ser explicado pelo fato de o agregado ser muito lamelar, o que favorece uma certa anisotropia na estrutura da mistura, com uma tendência de acomodação dos lados de dimensão maior dos agregados na posição

horizontal, o que faz com que a água percorra um caminho maior na vertical do que na horizontal.” (OLIVEIRA, 2003)

O autor ainda ressalta a importância deste tipo de análise vertical e horizontal, explicando que “a maior parte da bibliografia existente sobre permeabilidade em concretos asfálticos drenantes retrata somente valores de permeabilidade, não diferenciando as permeabilidades vertical e horizontal. “

Figura 38 – Gráfico comparativo de valores de permeabilidade vertical/horizontal.



Fonte: Oliveira (2003)

Os resultados obtidos são apresentados na Figura 38, juntamente com os resultados obtidos nesta pesquisa.

### 4.3 ESTUDO DAS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

Tabela 15 – Comparativo de manifestações patológicas.

Manifestações Patológicas:	TST	CBUQ	CPA
Panela ou buraco		X	
Desgaste ou desagregação	X	X	X
Exsudação		X	
Corrugação e ondulações transversais	X	X	
Afundamentos	X	X	
Fendas ou fendilhamento: fissura e trinca		X	
Calmatação			X

Fonte: Adaptada pela autora

De acordo com os levantamentos bibliográficos e estudos de caso referentes as patologias que surgem nos revestimentos flexíveis, podemos observar o resultado na Tabela 16 (acima), onde estão tanto as patologias quanto os tipos de revestimentos.

Podemos observar que o menos passível aos tipos de patologias conceituadas pelas normas do DNIT, é o revestimento tipo CPA, sendo observado as manifestações da Calmatação onde ocorre a uma pequena diminuição da permeabilidade do pavimento principalmente nos primeiros dois anos de uso do pavimento, e do Desgaste ou desagregação do revestimento, que está ligado a deficiência da ligação entre os agregados e o ligante fazendo com que os agregados se soltem mais facilmente.

De acordo com a pesquisa os revestimentos do tipo TST, este apresenta formas de manifestações patológicas do tipo Corrugação e ondulações transversais que ocorre nesse revestimento devido à má execução da massa asfáltica que pode conter excesso de asfalto ou de finos, os Afundamentos que são deformações plásticas nas camadas do pavimento causadas pelas cargas dos pneus que passam repetidas vezes, e o Desgaste ou desagregação que já foi comentado no parágrafo anterior.

Enquanto o revestimento do tipo CBUQ é o revestimento que não apresenta somente a última patologia da tabela e está passível de todas as outras apresentadas neste trabalho. Suas patologias podem estar umas relacionadas a outras, como por exemplo as Fendas ou Fendilhamentos que são causados pela fadiga dos materiais utilizados nas camadas betuminosas devido a tração por flexão pela passagem dos veículos se não for tratada no

começo pode virar a Panela ou Buraco que é a evolução das fendas que não são tratadas. Outra patologia bem frequente também no CBUQ é a exudação que ocorre quando se tem excesso de ligante ou baixo volume de vazios fazendo assim com que o asfalto dilate. Também ocorre no CBUQ Desgaste e desagregação, Afundamentos e Corrugação e ondulações que foram comentados nos parágrafos anteriores.

#### 4.4. ESTUDO DE CASO

##### 4.4.1 EXMEPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM CBUQ EM SUA COMPOSIÇÃO

No Brasil em 2002, os principais estados brasileiros que utilizam a mistura Gap Graded com asfaltos modificados são Paraná e São Paulo. A seguir, na Figura 39, seguem fotos de rodovia que recebeu o Gap Graded como camada final de rolamento. (Junior, 2012)

Figura 39 – Gap Graded com Asfalto-Borracha aplicado no Paraná



Fonte: Junior (2012)

De acordo com Callai (2011), a Rodovia do Bandeirantes (SP -348) possui em trechos distintos revestimentos do tipo CBUQ em trechos que são antigos e trechos novos, como mostra a Tabela16.

Tabela 16 – Pontos de revestimento CBUQ da Rodovia do Bandeirantes (SP – 348)

Rodovia do Bandeirantes (SP -348) Pista Sul			
		Revestimento Antigo	Revestimento Novo
Ponto A	km 75 + 070	Microrrevestimento a frio	Microrrevestimento a frio (mantido original, sem recapeamento)
Ponto B	km 82 + 540	Microrrevestimento a frio (com remendos em CBUQ)	Gap-graded com borracha (Mistura Quente)
Ponto C	km 81 + 280	Microrrevestimento a frio (com remendos em CBUQ)	Gap-graded com borracha (Mistura Quente)
Ponto D	km 79 + 260	Microrrevestimento a frio (com remendos em CBUQ)	Gap-graded com borracha (Mistura Morna)
Ponto E	km 78 + 730	Microrrevestimento a frio (com remendos em CBUQ)	Gap-graded com borracha (Mistura Quente)
Ponto F	km 78 + 330	Microrrevestimento a frio (com remendos em CBUQ)	Gap-graded com borracha (Mistura Quente)

Fonte: Callai (2011)

Nos pontos B, C, E e F (Figura 40) o pavimento existente era micro revestimento asfáltico a frio com remendos em CBUQ. Nestes trechos abrangendo os pontos B, C, E e F, houve recapeamento com Gap-graded com asfalto borracha, usinado a quente. Um experimento paralelo para desenvolvimento de tecnologia de usinagem morna em substituição da técnica a quente, para uma tese de doutorado em andamento na Escola Politécnica da USP, foi aplicado em trecho abrangendo o ponto D, utilizando Gap-graded com asfalto Borracha usinado a morno (Warm mix). (CALLAI, 2011; ZAGONEL, 2013)

Figura 40: Pontos B, C, D, E e F de medição.



Fonte: Callai (2011)

#### 4.4.2 EXEMPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM CPA EM SUA COMPOSIÇÃO

Na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, na malha rodoviária gerenciada pelo DNIT/RS, através da Unidade Local de Cruz Alta, existe uma aplicação experimental de revestimento CPA na BR-158/386 (Figura 41) no km 3 ao 4 (com aproximadamente 600m) e outra aplicação, na BR-285 (Figura 42), em diversos segmentos entre o município de Entre-Ijuís e São Borja. (ECHEVERRIA, 2010).

Na BR-285 a camada está com 6 anos de utilização e na BR-158/386 possui 4 meses de monitoramento e os resultados de ensaios e levantamentos tem sido excelentes, encorajando a aplicação em outros locais (ECHEVERRIA, 2010).

Figura 41: Revestimento em CPA (espessura 5cm), BR-158/386/RS, km 3 ao 4.



Fonte: Echeverria, 2010.

Figura 42: Revestimento em CPA (espessura 4cm), BR-285/RS km 553



Fonte: Echeverria, 2010.

Bernucci *et al* (2008) cita exemplos de obras com a utilização da Camada Porosa de Atrito no Brasil:

Aeroporto Santos Dumont no Rio de Janeiro: em 1999, foi executado um pavimento superposto, na pista principal, e sobre ele aplicada uma CPA nos 923m centrais;

Rodovia dos Imigrantes, ligando São Paulo a Santos: em 1998 foi feita uma restauração através de fresagem seguida de recapeamento, com uma espessura de 5cm entre os quilômetros 11,5 e 30;

Rodovia Presidente Dutra, próximo a São Paulo: em 1998, 3km nas faixas e no acostamento apresentavam condições precárias antes da restauração, com buracos, trincamento generalizado e bombeamento de material da base na superfície. Foi efetuada uma fresagem do revestimento existente ou recomposição do greide da pista com caimento de 3%; executada uma camada de 2cm de micro revestimento asfáltico a frio e aplicada uma CPA com 4cm de espessura;

#### 4.4.3 EXEMPLOS DE RODOVIAS BRASILEIRAS COM TS EM SUA COMPOSIÇÃO

Figura 43: Execução de tratamento superficial BR 468/RS, trecho: Palmeira das Missões-Tiradentes do Sul



Fonte: Zagonel (2013)

A tentativa de associar um ligante asfáltico a um revestimento primário, com finalidade de utilização em pavimentos de baixo volume de tráfego, não é recente. Em 1959, na BR-135/MA, foi construído o primeiro trecho da técnica de antipó. A técnica de tratamento antipó ou contrapó já foi bastante empregada na Bahia (ZAGONEL, 2013).

Em 1968, o DER do estado (DER-BA) realizou sua primeira experiência. Foram construídos 43km da rodovia BA-046, na qual aproveitou-se o revestimento primário existente e aplicou-se uma imprimação de asfalto diluído CR-250.



Figura 44: tratamento superficial BR 468/RS



(a) Aplicação de ligante



(b) Distribuição de agregados



(c) Correção de imperfeições



(d) Compressão dos agregados



(e) Aspecto superficial



(f) Vista geral

Fonte: Zagonel (2013)

O agregado utilizado sobre o CR-250 foi uma areia lavada de rio. Em 1969, o DER-BA construiu um trecho de 80km na BR-235, Rodovia Petrolina–Casa Nova, utilizando uma emulsão RM-1C sobre 150mm de espessura de material granular (ZAGONEL, 2013; SANTANA, 1965). Uma contagem de tráfego efetuada naquela época registrou um volume diário de 210 veículos, sendo 67% de carros de passeio.

Devido ao grande sucesso obtido, o DER-BA construiu numerosos trechos com diferentes características quanto ao volume de tráfego e quanto ao índice de pluviosidade da

região, gerando as normas DER-BA-1985 e DER-BA ES-P-23/00. Segundo o referido órgão, o estado já construiu cerca de 5.000km de tratamento antipó utilizando ligantes asfálticos na forma de emulsões convencionais e asfaltos diluídos.

## 5 CONCLUSÃO

Este estudo bibliográfico sobre revestimentos flexíveis em rodovias propiciou elencar as principais características de drenagem e estudo de patologias dos revestimentos do tipo CPA, TST e CBUQ. Sendo também elencado rodovias que utilizam esses revestimentos em forma de estudo de caso bibliográfico.

Nas análises de estudos granulométricos foram evidenciados nas misturas vários tipos de padrões granulométricos de acordo com exigências de órgãos reguladores e de características mecânicas singulares a cada revestimento em virtude de suas funções de aplicabilidade.

No que diz respeito a drenagem dos revestimentos, pode-se evidenciar que nos revestimentos TST e CBUQ a sua finalidade é de escoar com rapidez a água que infiltra no pavimento, tendo o tipo de agregado escolhido para sua estrutura como um filtro para esse processo de escoamento e drenagem. Tendo como principais objetivos o de desviar as águas que possam causar danos e remover rapidamente as águas que penetram no pavimento.

Em relação a drenagem do revestimento tipo CPA pode observar que esses possuem uma grande quantidade de vazios em seus agregados, permitindo uma maior infiltração em sua superfície, evitando a ocorrência de lâminas d'água e conseqüentemente a diminuição de riscos de acidentes nas rodovias que utilizam tal tipo de material.

Sobre as manifestações patológicas que surgem nestes tipos de revestimentos, foram analisados estudos que demonstraram as patologias: Panela ou buraco; Desgaste ou desagregação; Exsudação; Corrugação e ondulações transversais; Afundamentos; Fendas ou fendilhamento: fissura e trinca; Calmatação. Sendo a CPA o que apresenta o menor número de patologias, onde foi verificado apenas dois dos tipos de patologias que ocorrem nestes revestimentos.

No estudo bibliográfico também foram trazidos para uma análise comparativa os materiais constituintes de cada revestimento estudado, sendo que os revestimentos utilizam alguns agregados em comum, porém a quantidade e a forma de utilização desses agregados permitem chegar a revestimentos de tipos diferentes sendo eles o TST, CBUQ e CPA, os mesmos possuem valores e consumo de materiais diferentes levando a diferença de custo entre eles, sendo o TST o mais barato e o CPA mais caro para aplicação, porém se analisado o custo benefício o CPA é mais compensatório.

Sugere-se para estudos futuros fazer corpos de prova para testes de permeabilidades comparando os três tipos de revestimentos, TST, CBUQ e CPA. Sugere-se também fazer um estudo mais aprofundado de uma via feita com revestimento CPA.

#### REFERÊNCIAS

ADADA, Lucas Bach. **Programa de integração e capacitação – DER/ 2008.**

ARAÚJO, J. A. **As Condições de Atrito Superficial das Pistas de Aeroportos como Parte da Gerência de Pavimentos.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Fluminense, UFF. Niterói. 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781:** Peças de Concreto para Pavimentação. 1987.

BALBO, J.T. **Pavimentos asfálticos. Patologias e manutenção.** 1. ed. Plêiade Editora. São Paulo, 1997.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica; matérias, projetos e restauração.** Editora Oficina de textos. São Paulo, 2007.

BARUFI, R. B. **Viabilidade Da Aplicação Do Cbuq 2 Cm Ao Tst Para Pavimentação (Tráfego Leve) De Vias Urbanas.** UTFPR. Paraná, 2013.

BERNUCCI, L. B. *et al.* **Pavimentação Asfáltica: Formação básica para engenheiros.** Petrobrás: Abeda. Rio de Janeiro, 2008.

CALLAI, S. C. **Estudo do ruído causado pelo tráfego de veículos em rodovias com diferentes tipos de revestimentos de pavimentos / S.C. Callai.** -- ed.rev. -- São Paulo, 2011.

CHAVES, F.J. **Estudo de Misturas de Areia Asfalto a Frio em Pavimentação de Baixo Volume de Tráfego no Estado do Ceará – Contribuição ao Método de Dosagem.** Tese de Doutorado, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

CNT. Pesquisa Rodoviária – Relatório Gerencial. Confederação Nacional do Transporte (CNT). 2009.

CNT. Pesquisa de rodovias 2016: relatório gerencial. – 20.ed. – Brasília : CNT : SEST :SENAT, 2016.

CRUZ, Luiz Otávio Maia. **Pavimento Intertravado de Concreto: Estudo dos Elementos e Métodos de Dimensionamento.** Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER – ES 386/99 – Pavimentação. Pré-Misturado a Quente com Asfalto Polímero – Camada Porosa de Atrito. Norma rodoviária – Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM. ET – DE P00/028: **Concreto asfáltico poroso com ligante modificado por polímero – camada porosa de atrito**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA - ESTRUTURA. **Manual de Pavimentação**. DNIT. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TRANSPORTE. **Manual de Pavimentação**.719/2006: DNIT. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA TRANSPORTE. **Pavimentos flexíveis - Tratamento superficial triplo - Especificação de serviço**.386/2009: DNIT. Rio de Janeiro, 2009.

ECHEVERRIA, J. A. S. **Revestimento asfáltico do tipo CPA**. SENASA em Revista, Santo Angelo/RS, 2010.

FIORITTI, C. F. **Pavimentos Intertravados de Concreto Utilizando Resíduos de Pneu como Material Alternativo**. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, São Carlos, 2007.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002.

JUNIOR, A. J. **Desenvolvimento dos revestimentos asfálticos produzidos com asfaltos modificados por polímeros e borracha de pneus no Brasil**. Boletim Técnico Sinicesp. São Paulo, 2012.

MADRID, Germán G. **Adoquines de Concreto em La Construcción de Carreteras y Calles**. Segmenta Consultoría / Educación, 2004.

MARQUES, G. L. de O., **Terminologia e Classificação dos Pavimentos**. Curso Básico Intensivo de Pavimentação Urbana – Módulo I. Juiz de Fora, 2002.

MARCHIONI, Mariana, SILVA,C.O., **Pavimento Intertravado Permeável - Melhores Práticas**, Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP). São Paulo, 2011.

NASCIMENTO, H. R. C; REIS, R. M. M. **Camadas Porosas de Atrito com Utilização de Asfalto Modificado com Polímeros**. Publicação Técnica da Ipiranga Asfaltos. 1ª edição/Abril, 1999.

NASCIMENTO, R.R. **Utilização de Agregados de Argila Calcinação em Pavimentação: uma Alternativa para o Estado do Acre**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

NOGUEIRA, Cyro. **Pavimentação: projeto e construção**. Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 1961.

OLIVEIRA, C.G.M. **Estudos de Propriedades Mecânicas e Hidráulicas do Concreto Asfáltico Drenante**. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, Distrito Federal, DF. Brasília, 2003.

PASTANA, C. E. T. PAVIMENTAÇÕES DE ESTRADAS II: ANOTAÇÕES DE AULA. UNIMAR - UNIVERSIDADE DE MARÍLIA - FEAT.2006.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em: métodos, avaliação e utilização.** Trad. de Ana Thorell. 5. ed. Porto Alegre, 2004.

SANTANA, H. **Presquisas iniciais sobre revestimento de areia-asfalto no estado do Ceará.** In: Simpósio sobre pesquisas rodoviárias, 1, 1965. Rio de Janeiro: IRP, 1965.

SENÇO, Wlastermilerde, **Manual de técnicas de pavimentação: volume 1.** 2. ed.: Pini, São Paulo, 2007.

SENÇO, Wlastermilerde, **Manual de técnicas de pavimentação: volume 2.** 1. ed.: Pini, São Paulo, 2001.

SILVA, C.E.D.B.D. **Estudo da Permeabilidade de Misturas Asfálticas de Graduação Aberta.** Dissertação de Mestrado, UNICAMP – Campinas, SP. 2005

SILVA, Luís Francisco Amaral da. **Pavimentos aeroportuários: análise de soluções rígidas e de soluções flexíveis.** Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade de Aveiro, 2009.

SILVA, M. B. **Materiais de Construção.** 2ª Ed. Rev. PINI. São Paulo ,1991.

SOUZA, S.A. **Avaliação da Capacidade de Escoamento da Água em Mistura Asfáltica Drenante: Proposta de Ensaio de Laboratório.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ (2008).

TOSTA, A. B. M. Et Al. **Escoamento Superficial da Água em Áreas Urbanas Utilizando Asfalto Permeável (CBUQ).** Saberes Unijipa. 3ª Ed. 2010.

VEGGI, E. dos S. MAGALHÃES, S. L. M. M. **Análise Comparativa de Custos Entre Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) e Tratamento Superficial Duplo (TST)** E&S - Engineeringand Science 2014.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias.** Dissertação (Mestrado em Engenharia), Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ZAGONEL, A. R. **Inovações Em Revestimentos Asfálticos Utilizados No Brasil.** Departamento De Ciências Exatas E Engenharias. Uers, Ijuí/Rs, 2013.

CopySpider

Arquivo Ferramentas Ajuda

Ad. arquivo Ad. URL Iniciar Parar Limpar Opções

E-mail edeanels.e@gmail.com Modo de pesquisa Buscar em arquivos da internet

Nome do arquivo de entrada	Relatório	Tempo	Progresso	Chance	Status	Principal	Remover
C:\Users\Home\Desktop\Tcc\tcc finalizadoo.docx	<a href="#">Analisar</a>	00:04:46	100%	1,62%	Ok		

**Referência Bibliográfica ABNT Automática**  
 Clique aqui e acesse a Ferramenta que constrói a Referência Bibliográfica com base nas normas ABNT.

Versão: 1.3.2

Windows taskbar: Digite aqui para pesquisar | 12:23 02/05/2018

CopySpider Scholar | Ar x + v

scholar.copyspider.net/view/showStudyInCS3.php?&cfa=d594681646cfa4d5beb8e8dd42e47d51a4154087&changeLang=pt\_br

Português Login

Salvar / exportar relatório Referências ABNT Visualizar

tcc finalizadoo.docx (02/05/2018):

Documentos candidatos

- www1.dnit.gov.br/nor... [1,62%]
- unp.br/wp-content/up... [0,49%]
- sinicesp.com.br/mate... [0,45%]
- es.scribd.com/doc/22... [0,18%]
- scribd.com/doc/22243... [0,18%]
- cimm.com.br/portal/m... [0,1%]
- scribd.com/document/... [0,06%]

Arquivo de entrada: tcc finalizadoo.docx (5592 termos)

Arquivo encontrado	Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)
www1.dnit.gov.br/nor...	Visualizar 2678	132	1,62
unp.br/wp-content/up...	Visualizar 84082	438	0,49
sinicesp.com.br/mate...	Visualizar 1320	31	0,45
es.scribd.com/doc/22...	Visualizar 436	11	0,18
scribd.com/doc/22243...	Visualizar 427	11	0,18
cimm.com.br/portal/m...	Visualizar 1117	7	0,1
scribd.com/document/...	Visualizar 436	4	0,06

Parece que o documento não existe ou não pode ser acessado.

Leiturinha  
 O MAIOR CLUBE DO LIVRO INFANTIL  
 1º MÊS GRÁTIS  
 FAÇA PARTE

Windows taskbar: Digite aqui para pesquisar | 12:22 02/05/2018