

FAEX – FACULDADE DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS DE EXTREMA
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

JUAN GARCIA DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO IMPACTO CAUSADO PELA FALTA E/OU EXCESSO DE
CAP NA MISTURA ASFÁLTICA NO PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO**

Extrema – MG

2018

JUAN GARCIA DA SILVA

**IMPACTO CAUSADO PELA FALTA E O EXCESSO DE CAP NA MISTURA
ASFÁLTICA NO PROJETO DE PAVIMENTAÇÃO**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Civil
na Faex – Faculdade de Extrema como pré-requisito
para obtenção do grau de bacharel pela Banca
Examinadora composta pelos membros:

Orientador: Professora Luana Bernadete Dariva.

Aprovada em / /

Professora Luana Bernadete Dariva

Professor Afonso Vilela

Professor Maurício Lopes

Dedico este trabalho ao meu pai (Darci), mãe (Vanusa) e irmã (Daniela) que sempre me apoiaram e ajudaram a alcançar esta conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por abençoar, proteger e por dar forças ao longo desta jornada.

Ao meu pai Darci e minha mãe Vanusa, que sempre me apoiam.

A minha irmã Daniela, por fazer parte dessa caminhada.

Aos meus amigos da faculdade André Gustavo, Priscila Paneque, Hugo Florêncio, Ariane Pires, Álvaro Alves, Rafael Vieira e muito outros amigos da engenharia civil da turma A e B que fizeram que essa etapa da minha vida se tornasse ainda mais inesquecível.

A professora Luana Bernadete Dariva pelas orientações e auxílio durante as aulas e ao TCC, a Coordenadora Roberta Moraes Martins, aos professores Afonso Henrique Vilela, Wesley Batista Dos Santos, as professoras Renata Martinho de Camargo, Pamella Duarte Dos Santos, e tanto outros professores que contribuíram repassando o seu conhecimento durante o período acadêmico.

Aos professores Renan Luís Mariano e Afonso Henrique Vilela, pelos seus esclarecimentos, pelo profissionalismo e pelas suas técnicas de gerenciamento na Construção Civil.

“A vida é curta, por isso não faça dela
um rascunho, pois pode não dar tempo
de passa-la a limpo.”

Christian Barbosa

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE FIGURAS.....	8
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS.....	9
LISTA DE SIGLAS	10
RESUMO.....	11
ABSTRACT	12
1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Importância do transporte rodoviário no brasil.....	15
3.2 Pavimentação e suas definições estruturais.....	16
3.2.1 Ligantes Asfálticos	18
3.2.2 Agregados	19
3.3 Revestimentos asfálticos.....	22
3.3.1 Misturas Usinadas	23
3.3.2 Definições de massas específicas para misturas asfálticas	24
3.3.3 Massa específica aparente de mistura asfáltica compactada.....	25
3.3.4 Massa específica máxima medida – procedimento com vácuo.....	29
3.4.1 Dosagem de diferentes tipos de revestimento.....	33
3.4.2 A temperatura do ligante	33
3.4.3 Determinação do teor de projeto de ligante asfáltico	35
3.5 Conservação Rodoviária	35
3.6 Patologia e tipos de defeitos	36
3.7 Deterioração dos Pavimentos Asfálticos	39
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6 CONCLUSÃO	47
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Curva Granulométrica agregado Usicity	41
Tabela 2 Representação gráfica da curva da faixa de trabalho.....	41
Tabela 3 Representação do traço do projeto.....	Erro! Indicador não definido.
Tabela 4: Resultados do Ensaio da Massa Específica Aparente	45
Tabela 5: Resultados do Ensaio da Massa Específica Real.....	46
Tabela 6: Resultados da Porcentagem de Vazios	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ranking de qualidade das rodovias dos países da América do Sul 2017	15
Figura 2 - Estruturas de pavimentos	17
Figura 3 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes.....	17
Figura 4: Representação convencional de curvas granulométricas	21
Figura 5: Exemplos de Limites de Vv para Diferentes Faixas Granulométricas de Concreto Asfáltico.....	22
Figura 6: Requisitos de Dosagem de Concreto Asfáltico do DNIT-ES 031/2004	22
Figura 7: Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente	24
Figura 8: Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada.....	25
Figura 9: Pesagem Convencional:	26
Figura 10: Pesagem de Corpos de Provas Hidrostática	26
Figura 11: Após retirada da imersão em água	27
Figura 12: Remoção da água na superfície do corpo de prova com toalha absorvente.....	28
Figura 13: Calibração do Kitasato	29
Figura 14: Preparação da amostra de mistura na bandeja	29
Figura 15: Colocação da amostra no Kitasato	30
Figura 16: Preenchimento com água	30
Figura 17: Colocação do conjunto no agitador, aplicação de vácuo e detalhe de desprendimento de ar pela aplicação de vácuo.....	30
Figura 18: Pesagem Final	31
Figura 19: Ilustração dos vazios existentes entre os agregados recobertos ou entre os grumos	31
Figura 20: Imersão do conjunto em banho térmico	32
Figura 21: Pesagem do conjunto	32
Figura 22 Exsudação	37
Figura 23: Afundamento plástico e escorregamento da massa asfáltica	37
Figura 24: Trinca Isolada - Transversal.....	38
Figura 25: Trinca Isolada - Transversal.....	38
Figura 26: Conceito de serventia - desempenho.....	39
Figura 27: Ficha de Ensaio de CP	43
Figura 28: Ficha de Acompanhamento do Ensaio de Rica.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

CP	Corpo de Prova
CAP	Cimento Asfáltico Petrolífero
Vv	Volume de Vazios
CA	Concreto Asfáltico
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a quente
GMB	Mistura Asfáltica Compactada
MS	Massa Seca do corpo-de-prova compactado
VA	Volume de Asfalto
Vag-efetivo	Volume Efetivo do Agregado
Var	Volume de ar (vazios)
Ms	Massa seca
Msss	Massa de corpo-de-prova superfície saturada seca
Msss _{sub}	Massa de corpo-de-prova superfície saturada seca e submerso em água

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
CBR	California Bearing Ratio
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagens
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
NTA	Novas Técnicas de Asfaltos

RESUMO

A pavimentação tem a função estrutural de resistir às forças impostas pelo tráfego e melhorar as condições de rolamento. A última e mais importante camada que constitui um pavimento é o revestimento. Os principais tipos de revestimentos utilizados atualmente são: CBUQ (concreto betuminoso usinado a quente), cada um com suas características, propriedades físicas. Foram analisados os conceitos básicos de pavimentação, os tipos de pavimentos, suas composições em termos de camadas inferiores e as principais características funcionais e estruturais de seus componentes. Também são estudadas as principais patologias em pavimentos e apresentar a importância do teor ótimo do ligante num projeto de mistura asfáltica e os seus impactos negativos em relação ao excesso ou a falta na mistura. O transporte rodoviário no Brasil, a definição de pavimentação, asfalto e agregados realizados as etapas de projeto, ensaios de verificação técnica e os resultados encontrados.

Palavras-chave: pavimento flexível, patologia em pavimentos, teor ótimo do ligante num projeto de mistura asfáltica

ABSTRACT

The paving has the structural function of resisting the forces imposed by the traffic and improve the rolling conditions. The last and most important layer that constitutes a floor is the flooring. The main types of coatings currently used are: CBUQ (hot-rolled bituminous concrete), each with its characteristics, physical properties. The basic concepts of paving, the types of pavements, their compositions in terms of lower layers and the main functional and structural characteristics of their components were analyzed. The main pathologies in pavements are also studied and the importance of the optimum binder content in an asphalt mixing project and its negative impacts in relation to the excess or lack of mixing is studied. Road transport in Brazil, the definition of paving, asphalt and aggregates carried out the design stages, technical verification tests and the results found.

Key words: flexible pavement, pavement pathology, optimum binder content in an asphalt mixing project

1 INTRODUÇÃO

A concepção de qualidade em pavimentos flexíveis não abrange apenas conforto e segurança de seus usuários, inclui também a eficiência econômica, que gradativamente adquire mais relevância no cenário rodoviário do Brasil, tendo em vista sua ampla utilização no transporte de bens e pessoas.

Em pesquisa realizada pela Confederação Nacional do Transporte no Brasil (CNT) em 2018, demonstra que atualmente a malha rodoviária no país tem a extensão total de aproximadamente 1.720.000 km, sendo apenas 12,4% pavimentadas, ou seja, 213.453 km, os quais foram classificados por amostragem de acordo com o estado de conservação de seu pavimento, 61,8% é considerada regular, ruim e péssima. Considerando a baixa qualidade das rodovias no Brasil e a falta de investimentos no setor, o país gasta 27% a mais com transporte.

Em rodovias, devido à intensidade do tráfego de veículos, excesso de carga, acidentes, falhas de execução, intempéries, tempo de utilização, falta de controle de qualidade, a dosagem correta de CAP (Cimento Asfáltica Petrolífera), pode evitar futuras patologias no pavimento.

Este trabalho tem como objetivo através dos ensaios em laboratório justificar a porcentagem ideal de CAP (Cimento Asfáltico Petrolífero) na mistura, mostrando os impactos e as patologias que podem ocorrer pela sua falta ou excesso no projeto de pavimentação.

2 OBJETIVO

Objetivo Geral:

Avaliar a importância de uma dosagem correta de CAP (Cimento Asfáltico Petrolífero) em um projeto de pavimentação, o projeto foi desenvolvido em pequena escala em um laboratório de centro de desenvolvimento tecnológico (CDT).

Objetivos Específicos:

- Realizar um entendimento dos conceitos de pavimentação, aplicações, importância no cenário nacional e suas patologias;
- Ensaios realizados em laboratório para simular em pequena escala qual seria a porcentagem de CAP que atenda a quantidade ideal em um projeto;
- Mostrar através dos cálculos e ensaios atendidos por normas, qual a quantidade de CAP ideal para atender a faixa de trabalho do DNIT e o índice de 4%;

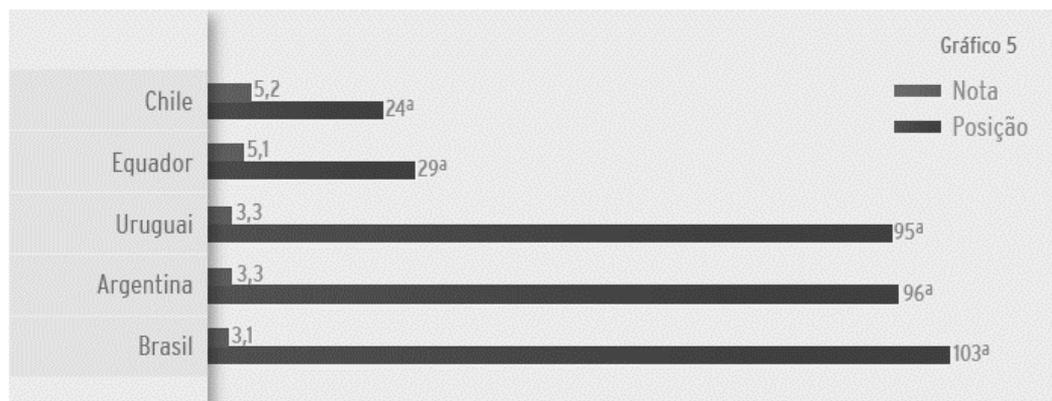
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Importância do transporte rodoviário no Brasil

O transporte rodoviário no Brasil é a principal alternativa para movimentação de cargas e pessoas, contribuindo significativamente para o desenvolvimento socioeconômico nacional. Com uma participação de mais de 61% na matriz de transporte de cargas e de 95% na de passageiros, a infraestrutura rodoviária é também a principal responsável pela integração de todo o sistema de transporte no país (CNT, 2017).

Segundo o Fórum Econômico Mundial (2017), as rodovias do Brasil não apresentam qualidades satisfatórias para o tráfego de bens e pessoas, o país no ranking de competitividade global encontra-se na 103ª posição entre os 137 países analisados no quesito qualidade da infraestrutura rodoviária, atrás de países como Chile (24ª), Equador (29ª), Uruguai (95ª) e Argentina (96ª), todos situados na América do Sul. A avaliação da infraestrutura das rodovias utiliza notas que variam de 1 (extremamente subdesenvolvida – entre as piores do mundo) a 7 (extensa e eficiente - entre as melhores do mundo). No índice de competitividade em questão, o Brasil recebeu a nota 3,1, conforme apresentado no Figura 1.

Figura 1 - Ranking de qualidade das rodovias dos países da América do Sul 2017



Fonte - Pesquisa CNT de rodovias 2017

Segundo a pesquisa da CNT o Brasil continua a oferecer condições inadequadas aos seus usuários, de forma que 61,8% da extensão pesquisa foi classificada como Regular, Ruim ou Péssimo no Estado Geral. Nessa situação atual, elevam os custos do transportador, reduzem a segurança das vias e interferem diretamente na possibilidade de uma melhoria no crescimento econômico do país, levando em conta a importância do transporte rodoviário. Em relação ao

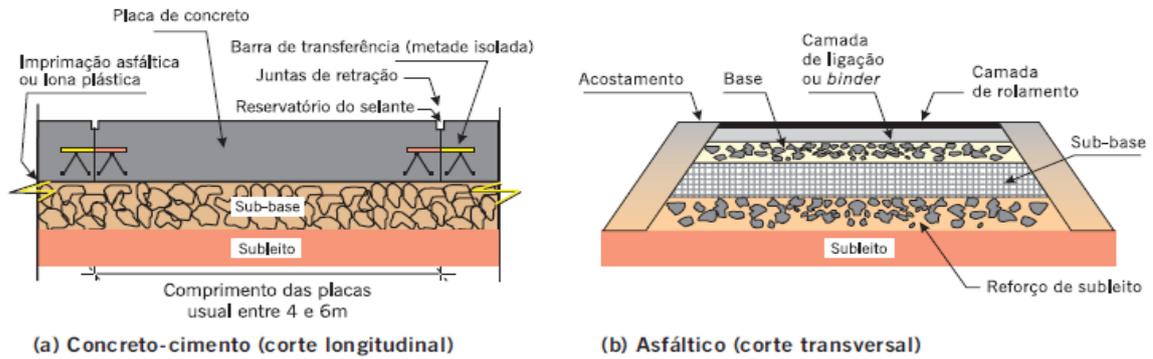
custo, o país gasta, em média, 27,0% a mais do que deveria no transporte rodoviário de cargas, devido aos problemas existentes no pavimento. O aumento do consumo de pneus e de combustível e a maior frequência de manutenção reduzem a rentabilidade da atividade transportadora. Além do mais, eleva significativamente o preço final de todos os bens comercializados no país, já que o custo do transporte é resultado na composição do custo total dos produtos.

3.2 Pavimentação e suas definições estruturais

Segundo o CNT 2017, o pavimento deverá proporcionar segurança ao usuário, suportar as cargas aplicadas através da movimentação dos veículos, as mudanças climáticas, permitir a movimentação suave e sem ruídos altos, não desgastar excessivamente os pneus, permitir o escoamento da água rapidamente, possuir sistemas de drenagem eficiente, curvas e ondulações apropriadas e segura, não gerar derrapagem dos veículos. Sua estrutura é de múltiplas camadas de espessuras finitas, classifica-se tradicionalmente em dois tipos básicos: rígidos e flexíveis.

Recentemente há uma tendência de usar-se a nomenclatura pavimentos de concreto de cimento Portland (ou simplesmente concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente, para indicar o tipo de revestimento do pavimento. Os pavimentos asfálticos são aqueles em que o revestimento é composto por uma mistura constituída basicamente de agregados e ligantes asfálticos. É formado por quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito. O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de melhorar as condições de rolamento (conforto e segurança).

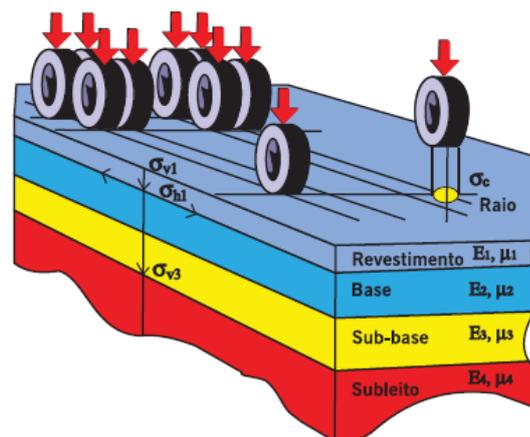
Figura 2 - Estruturas de pavimentos



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Segundo Liedi Bernucci, os pavimentos asfálticos, as camadas de base, sub-base e reforço do subleito são de grande importância estrutural. A combinação correta dos materiais e espessuras das camadas do pavimento, é o objetivo da mecânica dos pavimentos (Medina, 1997). Cada uma das camadas que compõem o pavimento:

Figura 3 - Ilustração do sistema de camadas de um pavimento e tensões solicitantes



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

- O revestimento é destinado a resistir às ações do tráfego; deve ser impermeável a fim de evitar que a penetração da água da chuva atinja as demais camadas subjacentes; e deve ser confortável para melhor atender às condições de rolamento e oferecer segurança ao usuário. O revestimento é a única camada perceptível ao usuário da via.

- A sub-base é a camada complementar à base, quando, por qualquer circunstância, não seja aconselhável construir o pavimento diretamente sobre a regularização ou reforço do subleito.
- O reforço do subleito é a camada executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, utilizada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito.
- A camada de regularização possui espessura variável, podendo deixar de existir em alguns trechos, e possui a função de corrigir falhas da camada final de terraplenagem ou de um leito antigo de estrada de terra.
 - O leito é a transição entre o terreno de fundação e o corpo do pavimento.
 - O subleito é o terreno da fundação do pavimento ou o terreno original, portanto, um dos problemas encontrados no Brasil, relacionado à estrutura dos pavimentos flexíveis, é o não atendimento as normas técnicas tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento como da qualidade dos materiais empregados no revestimento. A falta de mão de obra qualificada e um controle técnico na construção tem como consequência um processo de deformação mais acelerado, resultando em maiores custos com a reparação desses pavimentos para atingir condições ideais de tráfego. A manutenção constante é um requisito imprescindível para a conservação de um bom pavimento. Os defeitos e as irregularidades na condição da superfície impactam diretamente aos custos operacionais dos usuários, em virtude dos maiores gastos com a manutenção dos veículos, com consumo de combustível e pneus, elevação dos tempos de viagem, entre outros.

3.2.1 Ligantes Asfálticos

Segundo Jorge Barbosa, o asfalto utilizado em pavimentação é um ligante betuminoso que provem da destilação do petróleo e que tem a propriedade de ser um adesivo termoviscoplastico, impermeável a água e pouco reativo. No Brasil utiliza-se a denominação CAP para designar esse produto semi-sólido a temperaturas baixas, visco elástico a temperatura ambiente e líquido a altas temperaturas, e que se enquadra em limites de consistência para determinadas temperaturas estabelecidas em especificações técnicas. A penúltima especificação brasileira de CAP, vigente de 1992 até julho de 2005, separava em duas famílias de ligantes, os especificados por penetração e os especificados pela viscosidade absoluta. Por viscosidade os asfaltos brasileiros eram subdivididos em três grupos: CAP 7, CAP 20 e CAP

40, sendo esses números associados ao início da faixa de viscosidade de cada classe. Por penetração, havia quatro classes de asfalto: CAP 30-45, CAP 50-60, CAP 85-100 e CAP 150-200, sendo esses números associados a faixa de penetração obtida no ensaio.

3.2.2 Agregados

De acordo com a norma ABNT NBR 9.935/2.005, que determina a terminologia dos agregados, o termo agregado é definido como material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto.

Woods (1960) define agregado como sendo uma mistura de pedregulho, areia, pedra britada, escoria ou outros materiais minerais usado em combinação com um ligante para formar um concreto, uma argamassa e entre outros. Para conhecer o desempenho potencial dos agregados, é importante considerar como são formados e suas características, deve apresentar propriedades de modo a suportar tensões impostas na superfície do pavimento e em seu interior. O desempenho das partículas de agregado dependente da maneira como são produzidas, mantidas unidas e das condições sob as quais vão atuar. A escolha é feita em laboratório onde uma série de ensaios é realizado para classificar o material dentro do projeto e o serviço que vai ser utilizado. O nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas da rocha de origem. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulagem, seu grau de alteração, sua tendência a degradação, abrasão ou fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície. A variedade de agregados passíveis de utilização em revestimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes potenciais. Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em três grandes: Segundo sua (I) natureza, (II) tamanho e (III) distribuição dos grãos.

Segundo o DNIT 031/2004- ES, os agregados são classificados quanto ao tamanho, para uso em misturas asfálticas, em graúdo, miúdo e material de enchimento ou filer:

- graúdo – e o material com dimensões maiores do que 2,0mm, ou seja, retido na peneira nº 10. São as britas, cascalhos, seixos etc.;

- miúdo – e o material com dimensões maiores que 0,075mm e menores que 2,0mm. E o material que é retido na peneira de nº 200, mas que passa na de abertura nº 10. São as areias, o pó de pedra etc.;

- material de enchimento (fíler) – e o material onde pelo menos 65% das partículas e menor que 0,075mm, correspondente a peneira de número 200, cal hidratada, cimento Portland entre outras. O tamanho máximo do agregado em misturas asfálticas para revestimentos pode afetar essas misturas de várias formas. Pode tornar-se instáveis misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente pequeno e prejudicar a trabalhabilidade e/ou provocar segregação em misturas asfálticas com agregados de tamanho máximo excessivamente grande. A norma ASTM C125 define o tamanho máximo do agregado em uma de duas formas:

- tamanho máximo – é a menor abertura de malha de peneira através da qual passam 100% das partículas da amostra de agregado. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho máximo do agregado é definido como a abertura de malha imediatamente maior do que a correspondente ao tamanho nominal máximo;

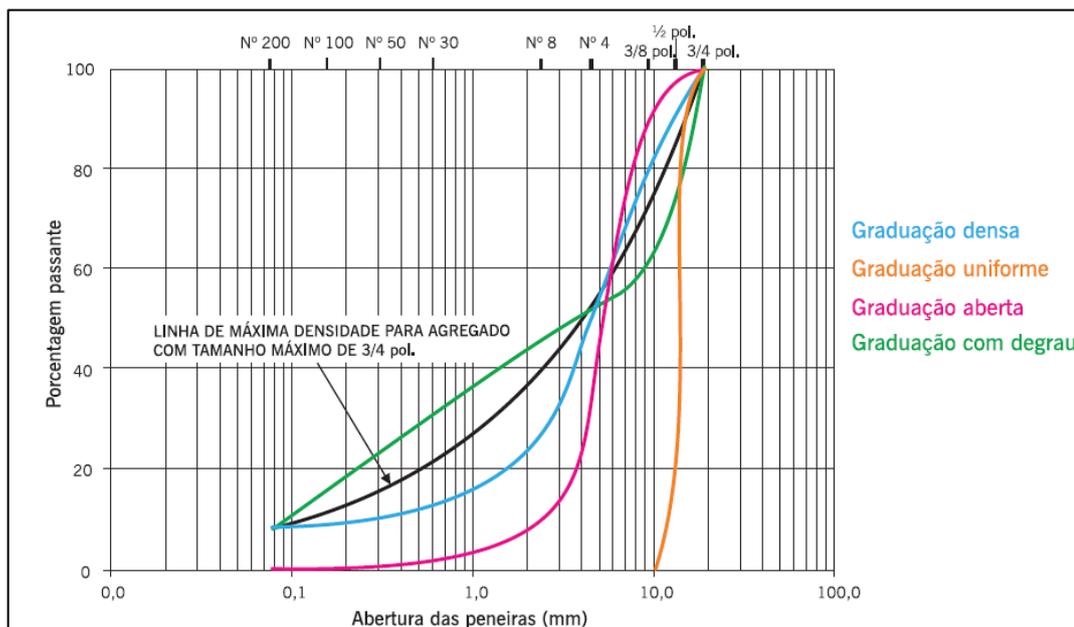
- tamanho nominal máximo – e a maior abertura de malha de peneira que retém alguma partícula de agregado, mas não mais de 10% em peso. Na metodologia SHRP-Superpave o tamanho nominal máximo é definido como a abertura de malha de peneira imediatamente maior do que a da primeira peneira a reter mais de 10% do material. O material passante na peneira de nº 200 vem sendo designado como pó (Motta e Leite, 2000). Essa distinção está relacionada a possível incorporação de parcela dos finos no ligante em uma mistura asfáltica. Quando a porcentagem de pó aumenta, reduzem-se os vazios do esqueleto mineral e aumenta-se a trabalhabilidade da mistura asfáltica até certo ponto. O pó começa a prejudicar a trabalhabilidade bem como a estabilidade do esqueleto mineral, diminuindo os contatos entre as partículas grossas, alterando também a capacidade de compactação da mistura.

Se a maior parte do pó tiver partículas maiores que 0,040mm, elas vão atuar como preenchedoras dos vazios do esqueleto mineral. As partículas menores do que 0,020mm atuarão no ligante asfáltico, incorporando-se a este e compondo um filme de ligante, denominado mastigue, que envolvera as partículas maiores de agregado.

Também segundo a norma ASTM C125, uma vez que a distribuição granulométrica dos agregados é uma de suas mais importantes características físicas, a subdivisão da graduação em algumas classes auxilia na distinção de tipos de misturas asfálticas.

- agregado de graduação densa ou bem-graduada e aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, próxima a de densidade máxima;
- agregado de graduação aberta e aquele que apresenta distribuição granulométrica contínua, mas com insuficiência de material fino (menor que 0,075mm) para preencher os vazios entre as partículas maiores, resultando em maior volume de vazios.
- agregado de graduação uniforme e aquele que apresenta a maioria de suas partículas com tamanhos em uma faixa bastante estreita. A curva granulométrica é bastante íngreme;
- agregado com graduação com degrau ou descontínua e aquele que apresenta pequena porcentagem de agregados com tamanhos intermediários, formando um patamar na curva granulométrica correspondente as frações intermediarias. São agregados que devem ser adequadamente trabalhados quando em misturas asfálticas, pois são muito sensíveis a segregação.

Figura 4: Representação convencional de curvas granulométricas



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Segundo o DNIT, as faixas de trabalho deverão atender os Vv (%), conforme a figura 5 e os requisitos de dosagem classificado conforme sua aplicação (figura 6):

Figura 5: Exemplos de Limites de Vv para Diferentes Faixas Granulométricas de Concreto Asfáltico

Faixas	Vv (%)	
	Mín	Máx
A (DNIT 031/2004)	4	6
B e C (DNIT 031/2004)	3	5
3 (Aeronáutica, rolamento)	3	5
7 (Aeronáutica, ligação)	5	7

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 6: Requisitos de Dosagem de Concreto Asfáltico do DNIT-ES 031/2004

Características	Método de ensaio	Camada de rolamento	Camada de ligação
Vv, %	DNER-ME 043	3 – 5	4 – 6

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

3.3 Revestimentos asfálticos

Segundo Liedi Bernucci, os pavimentos são estruturas de várias camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática, a camada percebida pelo usuário. Portanto, essa camada deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento em movimento, que são variados conforme a carga e a velocidade dos veículos. Na maioria dos pavimentos brasileiros usa-se como revestimento uma mistura de agregados minerais, de vários tamanhos, podendo também variar quanto a fonte, com ligantes asfálticos que, garantindo ao serviço executado os requisitos de impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência a derrapagem, resistência a fadiga e ao trancamento térmico, de acordo com o clima e o tráfego previstos para o local. Os requisitos técnicos e de qualidade de um pavimento asfáltico serão atendidos com um projeto adequado da estrutura do pavimento e com o projeto de dosagem da mistura asfáltica compatível com as outras camadas escolhidas. O material de revestimento pode ser fabricado em usina específica (misturas usinadas), fixa ou móvel, ou preparado na própria pista (tratamentos superficiais). Os revestimentos são também identificados quanto ao tipo de ligante: a quente com o uso de CAP. As misturas usinadas

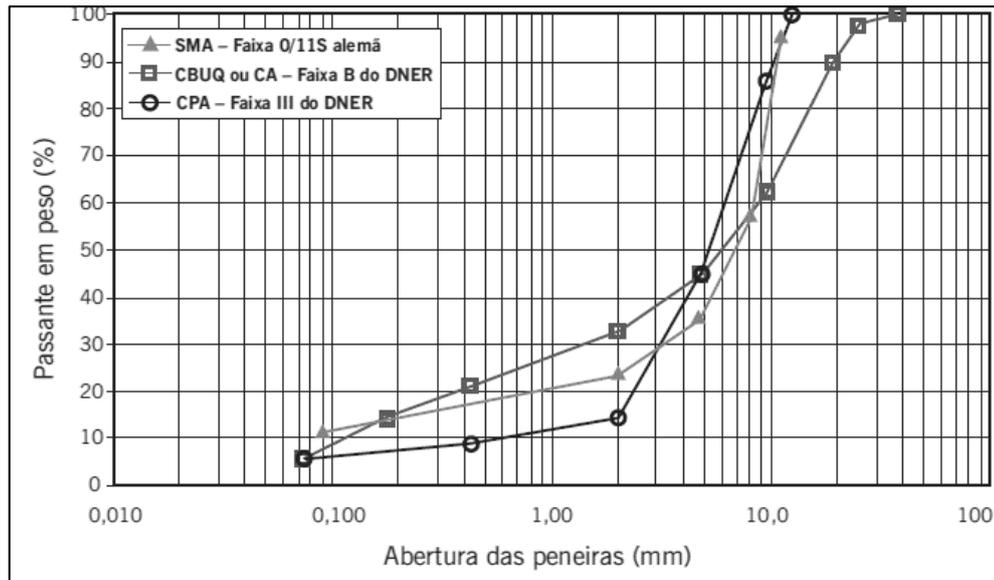
podem ser separadas quanto a distribuição granulométrica em: densas, abertas, contínuas e descontínuas.

3.3.1 Misturas Usinadas

Segundo Jorge Barbosa, a mistura de agregados e ligante é realizada em usina estacionária e transportada posteriormente por caminhão para a pista, onde é lançada por equipamento apropriado, denominado vibro acabadora. Em seguida é compactada, até atingir um grau de compressão tal que resulte num arranjo estrutural estável e resistente, tanto as deformações permanentes quanto as deformações elásticas repetidas da passagem do tráfego. Um dos tipos 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. As misturas asfálticas a quente podem ser subdivididas pela graduação dos agregados e filer. São destacados 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, 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 asfálticas drenante, conhecida no Brasil por camada porosa de atrito (CPA);
- graduação descontínua: curva granulométrica com proporcionalmente 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 a deformação permanente com o maior número de contatos entre os agregados graúdos. Exemplo: matriz pétreas asfálticas (Stone Matrix Asphalt – SMA); mistura sem agregados de certa graduação (gap-graded).

Figura 7: Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente



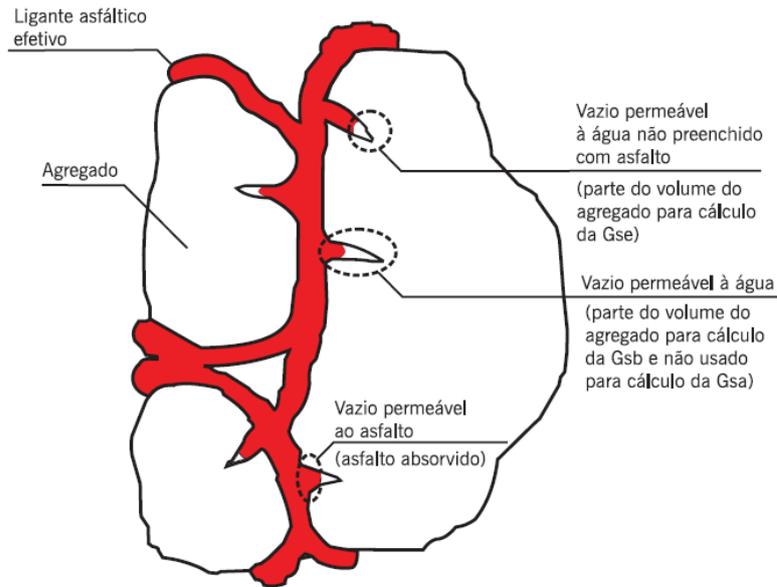
Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Concretos asfálticos densos são as misturas asfálticas usinadas a quente mais utilizadas como revestimentos asfálticos de pavimentos no Brasil. Suas propriedades, no entanto, são muito sensíveis a variação do teor de ligante asfáltico. Uma variação positiva, as vezes dentro do admissível em usinas, pode gerar problemas de deformação permanente por fluência e/ou exsudação, com fechamento da macro textura superficial. De outro lado, a falta de ligante gera um enfraquecimento da mistura e de sua resistência a formação de trincas, uma vez que a resistência a tração é bastante afetada e sua vida de fadiga fica muito reduzida.

3.3.2 Definições de massas específicas para misturas asfálticas

A Figura 6 (Asphalt Institute, 1995) apresenta um esquema para compreensão do uso dos parâmetros físicos dos componentes – asfalto e agregados – em uma mistura asfáltica que serão utilizados na determinação das massas específicas, aparente e efetiva, dos vazios de ar e do teor de asfalto absorvido em uma mistura asfáltica compactada.

Figura 8: Esquema de componentes em uma mistura asfáltica compactada



Fonte: Asphalt Institute, 1995

3.3.3 Massa específica aparente de mistura asfáltica compactada

A massa específica aparente, obtida a partir de corpos-de-prova de uma mistura asfáltica compactada (G_{mb}), e dada pela seguinte razão:

Equação 1: Massa específica aparente de mistura asfáltica compactada

$$G_{mb} = \frac{M_s}{V_a + V_{ag-efetivo} + V_{ar}}$$

Onde:

M_s = massa seca do corpo-de-prova compactado, g;

V_a = volume de asfalto, cm³;

$V_{ag-efetivo}$ = volume efetivo do agregado, cm³;

V_{ar} = volume de ar (vazios), cm³.

Em laboratório valores de volumes são facilmente determinados pela diferença entre massas, no caso entre a massa do corpo-de-prova pesada em balança convencional – Figura 9 – e a massa pesada submersa em balança hidrostática – Figura 10. Há uma diferença no procedimento da ASTM e do DNER no que diz respeito a consideração da massa do corpo-de-prova a ser pesada para obtenção do volume total do numerador da equação 1.

Figura 9: Pesagem Convencional:



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 10: Pesagem de Corpos de Provas Hidrostática



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

De acordo com a ASTM D 1188 ou D 2726, a massa específica aparente de uma mistura asfáltica compactada (G_{mb}) e numericamente igual a razão entre a massa seca (M_s), a uma

temperatura prefixada, e a massa de um volume igual de água destilada livre de gás a mesma temperatura, sendo dada por:

Equação 2: Massa específica aparente de mistura asfáltica compactada (ASTM)

$$G_{mb} = \frac{M_s}{M_{SSS} - M_{SSS_{sub}}} \times 0,9971$$

Onde:

M_{SSS} = massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca, g, que corresponde ao corpo-de-prova com os poros superficiais saturados, sendo eliminado o excesso de água – Figura 11;

$M_{SSS_{sub}}$ = massa de corpo-de-prova compactado na condição de superfície saturada seca e posteriormente submerso em água, g; $0,9971$ = massa específica da água a 25oC, g/cm³.

No procedimento ASTM D 2726 a $M_{SSS_{sub}}$ e medida com o corpo-de-prova diretamente submerso em água e deve ser usada em corpos-de-prova que absorvam até 2% de água. Caso contrário, deve-se usar o procedimento ASTM D 1188, no qual o corpo de- prova e envolto em material impermeável. O procedimento AASHTO T 166 (2000) também trata da determinação da $M_{SSS_{sub}}$.

Figura 11: Após retirada da imersão em água



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 12: Remoção da água na superfície do corpo de prova com toalha absorvente



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

O DNER-ME 117/94 fixas o modo pelo qual se determina a massa específica aparente de mistura asfáltica em corpos-de-prova moldados em laboratório ou obtidos em pista.

Segundo esse método, a massa específica aparente é definida como a relação entre a massa seca do corpo-de-prova compactado e a diferença entre essa massa seca (M_s) e a massa seca do corpo-de-prova posteriormente submersa em água (M_{sub}), ou seja:

Equação 2: Massa específica aparente de mistura asfáltica compactada (ASTM)

$$G_{mb} = \frac{M_s}{M_s - M_{s_{sub}}} \times 0,9971$$

Observe-se que o procedimento do DNER difere do procedimento da ASTM D 2726 na forma de considerar o volume do corpo-de-prova para cálculo da G_{mb} (denominadores equações 1 e 2). Enquanto na ASTM considera-se para cálculo deste volume a diferença entre a massa na condição de superfície saturada seca e a massa da mistura nessa condição e posteriormente submersa em água, o DNER não emprega o conceito de superfície saturada seca. Sendo assim, os valores da massa específica aparente de misturas asfálticas medidos pela metodologia americana e brasileira apresentarão valores diferentes. Cuidado deve ser tomado para não se usar esses dois conceitos distintos simultaneamente.

O mesmo método DNER-ME 117/94 fixas os procedimentos para a determinação da densidade aparente de misturas abertas e muito abertas através da utilização de parafina e fita adesiva, o que no caso da ASTM é dado por um outro método, o ASTM D 1188.

3.3.4 Massa específica máxima medida – procedimento com vácuo

A obtenção da *Gmm* em laboratório pode seguir o método ABNT NBR 15619, os métodos norte-americanos ASTM D 2041 (2000), AASHTO T 209 (1999) ou o método europeu EN 12697-5. A Figura 14 (Marques, 2004) ilustra um exemplo de equipamento utilizado nesse ensaio. A *Gmm* através do vácuo é empregada em projetos de misturas asfálticas dos Estados Unidos, Canada (Instituto de Asfalto, 1989), África do Sul (Jooste, 2000), Austrália (APRG, 1997) e Europa (Heide, 2003).

Figura 13: Calibração do Kitasato



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 14: Preparação da amostra de mistura na bandeja



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 15: Colocação da amostra no Kitasato



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 16: Preenchimento com água



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 17: Colocação do conjunto no agitador, aplicação de vácuo e detalhe de desprendimento de ar pela aplicação de vácuo

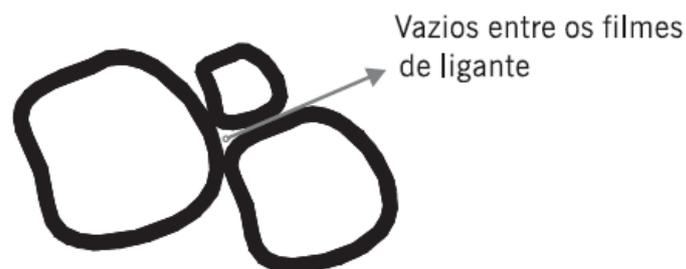


Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 18: Pesagem Final

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Para a realização do ensaio pesa-se, inicialmente, $\pm 1.500\text{g}$ da mistura (para tamanho máximo nominal de até $12,5\text{mm}$) em um recipiente de massa conhecida. Em seguida, ele é preenchido com água a 25°C até que toda a mistura fique coberta. E então aplicada uma pressão de vácuo residual no recipiente de 30mmHg (aplicação de 730mmHg), por um período de 15 minutos, a fim de expulsar o ar existente entre os agregados recobertos pelo filme de ligante, conforme ilustrado esquematicamente na Figura 20. Observe-se nesse procedimento, que a temperatura de ensaio gira em torno da temperatura ambiente, não havendo desestruturação de grumos formados por agregados e ligante asfáltico. A permanência desses grumos faz com que os vazios existentes entre os dois materiais permaneçam sem alteração, tendo o vácuo a função apenas de expulsão do ar entre os grumos (Figura 20).

Figura 19: Ilustração dos vazios existentes entre os agregados recobertos ou entre os grumos

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Após o período de vácuo, e restabelecida a pressão ambiente no recipiente. Completa-se então com água o volume do recipiente. O conjunto (recipiente, mistura asfáltica e água) é imerso em banho térmico para obtenção de equilíbrio de temperatura e posteriormente pesado, conforme indica a sequência da Figura 5.8.

Figura 20: Imersão do conjunto em banho térmico



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Figura 21: Pesagem do conjunto



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

A vantagem do procedimento descrito e a obtenção da massa específica da mistura asfáltica sem a necessidade da obtenção das massas específicas dos seus constituintes separadamente, além de já considerar a absorção de ligante pelos agregados.

3.4.1 Dosagem de diferentes tipos de revestimento

A dosagem de uma mistura asfáltica tem consistido até hoje na escolha, através de procedimentos experimentais, de um teor dito “ótimo” de ligante, a partir de uma faixa granulométrica predefinida. A definição do que vem a ser um teor ótimo não é simples. O teor de projeto de ligante asfáltico varia de acordo com o método de dosagem, e a função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros. O método de dosagem mais usado mundialmente faz uso da compactação por impacto e é denominado método Marshall em referência ao engenheiro Bruce Marshall que o desenvolveu na década de 1940. O método de dosagem Marshall de misturas asfálticas (DNER-ME 043/95) ainda é o mais utilizado no país. (Marques, 2004)

Durante a década de 1980, várias rodovias norte-americanas de tráfego pesado passaram a evidenciar deformações permanentes prematuras, que foram atribuídas ao excesso de ligante nas misturas. Muitos engenheiros acreditavam que a compactação por impacto das misturas durante a dosagem produzia corpos-de-prova (CP) com densidades que não condiziam com as do pavimento em campo. Esse assunto foi abordado no estudo realizado nos Estados Unidos sobre materiais asfálticos, denominado Strategic Highway Research Program (SHRP), que resultou em um novo procedimento de dosagem por amassamento, denominado Superpave. O procedimento SHRP-Superpave ainda não é de uso corrente no Brasil, embora vários trabalhos científicos o tenham utilizado (Marques, 2004; Vasconcelos, 2004; Pinheiro, 2004).

3.4.2 A temperatura do ligante

Não deve ser inferior a 107°C nem superior a 177°C. A temperatura dos agregados deve ser de 10 a 15°C acima da temperatura definida para o ligante, sem ultrapassar 177°C. Para garantir a eficiência do projeto, deverá ter vários tipos de dosagem de teor e no mínimo 3 CPs, conforme a experiência do projetista, para a granulometria selecionada, e sugerido um teor de asfalto (T, em %) para o primeiro grupo de CPs. Os outros grupos terão teores de asfalto acima

(T+0,5% e T+1,0%) e abaixo (T-0,5% e T-1,0%). Os CPs são moldados conforme indica a sequência da Figura 22 (a, b, c, d, e, f):

Figura 22 (a): Adição de asfalto aos agregados



Figura 22 (b): Homogeneização da mistura



Figura 22 (c): Colocação da mistura no molde



Figura 22 (d): Compactação da mistura



Figura 22 (e): Extração do corpo de prova do molde



Figura 22 (f): Medidas do corpo de prova



Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Após o resfriamento e a desmoldagem dos corpos-de-prova, obtém-se as dimensões do mesmo (diâmetro e altura). Determinam-se para cada corpo-de-prova suas massas secas (MS) e submersa em água (MS_{sub}). Com estes valores é possível obter a massa específica aparente dos corpos-de-prova (G_{mb}), que, por comparação com a massa específica máxima teórica (DMT), vai permitir obter as relações volumétricas típicas da dosagem. A partir do teor de asfalto do grupo de CPs em questão ($\%a$), ajusta-se o percentual em massa de cada agregado, ou seja, $\%n = \%n^* \times (100\% - \%a)$, onde $\%n$ é o percentual em massa do agregado “n” na mistura asfáltica já contendo o asfalto. Note-se que enquanto $\%n^* = 100\%$, após o ajuste, $\%n = 100\% - \%a$. (DNIT,2006)

3.4.3 Determinação do teor de projeto de ligante asfáltico

Segundo Napa (1982), a escolha do teor de asfalto primordialmente para camadas de rolamento em concreto asfáltico e baseada somente no volume de vazios (V_v), correspondente a 4%, ou o V_v correspondente a média das especificações. No Brasil, a escolha do teor de projeto correspondente a um V_v de 4% também é adotada no estado de São Paulo pela Dersa. Observa-se distinção de procedimentos para definição do teor de projeto dependendo do órgão, empresa ou instituto. É comum também a escolha se dar a partir da estabilidade Marshall, da massa específica aparente e do V_v . Nesse caso, o teor de projeto é uma média de três teores, correspondentes aos teores associados a máxima estabilidade, a massa específica aparente máxima da amostra compactada e a um V_v de 4% (ou média das especificações).

3.5 Conservação Rodoviária

Segundo o Manual de Conservação Rodoviária do DNIT (2006), conservação rodoviária são as ações necessárias para manter as características físicas e operacionais das rodovias, salientando sempre a importância de se manter padrões pré-estabelecidos de conforto e segurança aos usuários, divididas em operações rotineira, periódica, emergência, restauração e reconstrução. As atividades que tem a finalidade de reparar ou eliminar um defeito assim que o mesmo surge, com o intuito de garantir o pleno funcionamento do corpo estradal, proporcionando assim em sua concepção segurança e conforto aos usuários que ali trafegam

3.6 Patologia e tipos de Defeitos

De acordo com DOMINGUES (1993), se um pavimento não atende satisfatoriamente ou sua estrutura apresenta alguma ameaça comprometendo a segurança e o conforto do usuário, reparos para a sua reabilitação devem ser realizados, para que seja restituído a segurança e seu inicial rolamento suave.

Inclusive, BERNUCCI (2006) explana que para o usuário as condições da superfície do pavimento é o mais importante, devido ao fato que estas patologias ou irregularidades são perceptíveis, afetando o conforto e promovendo uma sensação de insegurança durante o percurso. Diante disto, existem métodos de diagnosticar e apurar as possíveis causas para estas patologias, visando à reparação e estabelecimento dos níveis de serventia.

Para DOMINGUES (1993), os tipos de patologias são determinados, principalmente por similaridades nos mecanismos de ocorrência e na aparência visual, as prováveis causas indicam os motivos específicos de ocorrência. Quanto aos níveis de severidade, são categorizadas como baixo, médio e alto, dependendo da exigência de reabilitação.

Para a classificação dos defeitos, utiliza-se a norma DNIT 005/2003 – TER: Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos: terminologia, alguns problemas encontrados pela falta ou excesso de CAP no projeto de pavimento:

A exsudação (EX) É caracterizada pelo surgimento de ligante em abundância na superfície, como manchas escurecidas, decorrente em geral do excesso do mesmo na massa asfáltica. Segundo a Norma DNIT 005/2003 – TER, é o excesso de ligante betuminoso na superfície do pavimento flexível, ocasionado pela migração do ligante betuminoso através das camadas do revestimento asfáltico. Ocorrência de uma fina película de material betuminoso sob a superfície do revestimento asfáltico, sendo visualizadas por manchas, as mesmas comprometem a aderência dos veículos no pavimento (DNIT, 2006).

Silva (2005), relata que a exsudação na superfície do pavimento asfáltico é visivelmente notada, pois provoca brilho e seu aparecimento pode se dar em função da dilatação do ligante betuminoso quando exposto a temperaturas elevadas, não tendo espaço a ocupar devido ao revestimento ter baixo índice de vazios, a migração do material para superfície é inevitável, ou em função do excesso de ligante betuminoso no traço de concreto asfáltico, resultam em exsudação, na figura 23 pode ser visto um exemplo clássico de exsudação.

Figura 22 Exsudação

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Afundamento plástico nas trilhas de roda: Falha na dosagem de mistura asfáltica excesso de ligante asfáltico; falha na seleção de tipo de revestimento asfáltico para a carga solicitante; em geral com sollevamento lateral – compensação volumétrica junto a depressão

Escorregamento de massa asfáltica por fluência decorrente de excesso de ligante; em geral junto as depressões localizadas, as trilhas de roda e as bordas de pavimentos EX: falhas de dosagem provocando excesso de ligante em alguns pontos ou de maneira generalizada; pode ocorrer por segregação de massa, com concentração de ligante em alguns pontos e falta em outros; ou ainda por cravamento de agregados em base e ascensão de ligante a superfície.

Figura 23: Afundamento plástico e escorregamento da massa asfáltica

Fonte: Pavimentação asfáltica: ABEDA, 2006

Para Balbo (2007), as principais causas para o escorregamento estão associadas na falha da imprimação, viscosidade inapropriada do cimento asfáltico, misturas asfálticas com excesso de ligante betuminoso e agregados miúdos.

Trincas Isoladas Transversais: Trinca isolada apresenta direção característica ortogonal ao eixo do pavimento, na figura 25 podemos observar seu comportamento. Deve-se atentar ao seu comprimento, pois quando apresentar extensão até 100 centímetros é classificada como trinca transversal curta, já se a extensão for superior aos 100 centímetros classifica-se como trinca transversal longa, segundo Norma do DNIT 005/2003 – TER.

Figura 24: Trinca Isolada - Transversal



Fonte: BERNUCCI et al (2008, p. 417)

Trinca de Retração: Conforme a Norma DNIT 005/2003-TER, é uma trinca causada pela retração térmica ou do material de revestimento ou do material de base, causada pela falta de umidade controlada nas camadas de estrutura do pavimento, na figura 26 podemos visualizar o tipo de trinca.

Figura 25: Trinca Isolada - Transversal



Fonte: BERNUCCI et al (2008, p. 417)

Segundo Bernucci et. al., (2008), as possíveis causas para o surgimento desta patologia são, falha na execução, erros nas dosagens da mistura asfáltica, falta de controle de temperatura na aplicação, envelhecimento do ligante asfáltico, má execução das emendas de serviço.

3.7 Deterioração dos Pavimentos Asfálticos

Segundo Manual de Restauração de pavimentos asfálticos (2006), os pavimentos asfálticos são dimensionados para durarem um determinado tempo. Este tempo é denominado de “ciclos de vida”, o pavimento inicia em uma condição ótima até alcançar uma condição ruim, conforme pode ser visto na figura 27.

Figura 26: Conceito de serventia - desempenho



Fonte: Manual de Restauração de pavimentos asfálticos (2006)

O decréscimo da estrutura ou serventia do pavimento ao decorrer dos anos é denominado como deterioração do pavimento. Entender os mecanismos que regem esse processo de deterioração é condição fundamental para a identificação das patologias bem como base para escolha de técnicas adequadas para reabilitação do pavimento.

Bernucci et. al., (2008), afirma que o pavimento possui quatro objetivos básicos: conforto de rodagem, capacidade do pavimento em suportar as solicitações, segurança na via, bem como conforto visual, que está relacionado a estética da via. Dessa maneira, sob análise técnica e do usuário, o pavimento considerado bom, é aquele que possui uma superfície de rolamento agradável, com boa aderência dos pneus ao pavimento e suportando as cargas que por ali trafegam.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para realizar o presente trabalho de conclusão de curso, foi realizado um projeto de mistura asfáltica desenvolvido no CDT (Centro de Desenvolvimento Tecnológico) no laboratório central da empresa Arteris S/A, seguindo todas as Normas técnicas com base ao DNIT e AASHTO. O projeto desenvolvido foi classificado conforme a faixa de trabalho “2” do DNIT. Iniciou-se pelo processo de caracterização dos agregados da Usina Asfáltica Usicity, o material foi classificado e qualificado conforme as normas técnicas:

- DNER-EM 035/95 – Equivalente de Areia;
- ARTERIS T- 27-14 - Análise Granulométrica de Agregados Finos e Graúdos;
- ARTERIS T 11 – 05 (2013) - Análise Granulométrica de Agregados Passante na Peneira de 75 micra (Nº200), por Lavagem;
- ARTERIS T- 330-07 (2011) - Detecção Qualitativa De Argilas Prejudiciais Do Grupo Esmectita Em Agregados Utilizando Azul De Metileno;
- ARTERIS T- 85-14 - Massa Específica E Absorção De Agregados Graúdos;
- ARTERIS D- 4791-95 - Partículas Chatas, Alongadas Ou Chatas E Alongadas No Agregado Graúdo;
- DNER-ME 081/98 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo;
- DNER-ME 084/95 – Agregados miúdo – determinação da densidade real.

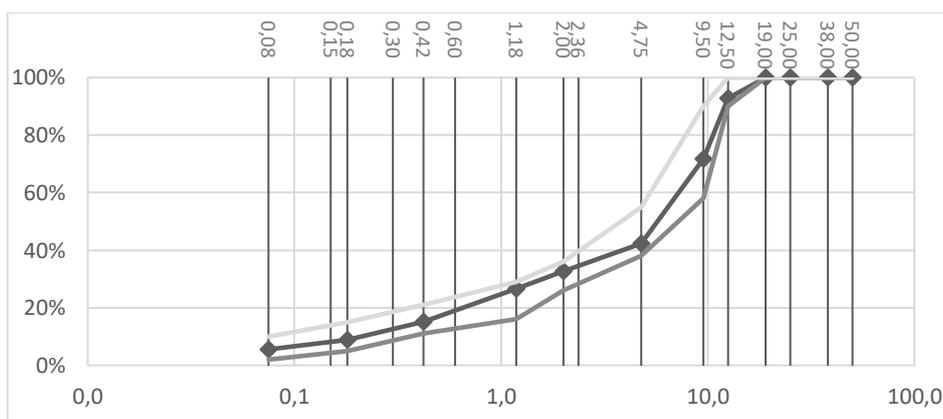
Os parâmetros de projeto de caracterização normativos foram atendidos conforme a faixa de trabalho classificado como B do DNIT, tabela 1:

Gráfico 1 Curva Granulométrica agregado Usicity

NÚMERO	mm	BRITA 1	PEDRISCO	PÓ DE PEDRA	OBTIDO		FAIXA "B" do DNIT
2"	50	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]		0
1 1/2"	38	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]		100
1"	25	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]		95-100
3/4"	19	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]	100,00 [%]		80-100
1/2"	13	25,70 [%]	97,60 [%]	100,00 [%]	92,80 [%]		90 - 100
3/8"	9,5	3,80 [%]	59,50 [%]	100,00 [%]	71,60 [%]		70 - 90
Nº 4	4,8	0,90 [%]	2,50 [%]	99,90 [%]	42,30 [%]		40 - 80
Nº 10	2	0,60 [%]	1,00 [%]	77,60 [%]	32,70 [%]		28 - 60
Nº 40	0,4	0,50 [%]	0,70 [%]	33,70 [%]	15,10 [%]		10 - 32
Nº 80	0,2	0,40 [%]	0,60 [%]	18,40 [%]	8,90 [%]		8 - 20
Nº 200	0,1	0,30 [%]	0,50 [%]	10,20 [%]	5,60 [%]		3- 8

Fonte: Arteris

Tabela 2 Representação gráfica da curva da faixa de trabalho



Fonte: Arteris

Para esse projeto utilizou-se também como parte da composição da mistura o CAP 30/45 (CAP - Cimento Asfáltico Petrolífero) fornecedor NTA – (Novas Técnicas de Asfaltos), no qual através do laudo fornecido pela NTA o material atendeu os parâmetros das normas técnicas através dos ensaios:

- ABNT NBR – 6576 - Determinação da Penetração
- ABNT NBR – 6560 - Determinação do Ponto de Amolecimento – Método do Anel e Bola

- T-329-91 - Recuperação Elástica Por Torção De Cimentos Asfálticos Modificados Método Espanhol
- ABNT NBR 15184 - Matérias Betuminosas – Determinação Da Viscosidade em Temperaturas elevadas usando um Viscosímetro Rotacional
- NBR 14950 - Materiais Betuminosos – Determinação da Viscosidade Saybolt Furol
- ABNT NBR 6296 - Produtos Betuminosos Semissólidos – Determinação da Massa Específica e Densidade Relativa
- NBR 5765 - Asfalto Diluídos – Determinação Do Ponto De Fulgor – Vaso Aberto
-

Pesou-se os agregados já seco em estufa ($105^{\circ} \pm 110^{\circ}$), seguindo com base ao projeto representado abaixo:

TRAÇO: FD-ETO-SPV12,5-CDT073/2016						
GRANULOMETRIA			PESO ACUMULADO			
MARSHALL	3/4"		0,0	0,0	DATA	22/11/2018
	1/2"		80,9	136,0	BRITA 1	3.000,0
	3/8"		320,3	538,6	PEDRISCO	19.400,0
	Nº 4		651,5	1095,4	-	
	FUNDO		1004,1	1688,3	PÓ DE PEDRA	15.100,0
	CAL CH I		1021,1	1716,9		
-		Nº 10	1130,0	1899,8		
		TOTAL	1130,0	1900,0	DECIDIR SE VOLTA 1 PONTO	
	CAP 30-45		CPs	DMT		
ÁGUA (%)	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	0,5
% DE LIGANTE =	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	3,5
PESO DO LIGANTE =	47,1	53,2	59,5	65,8	72,1	41,0
Nº DO CP :	CPs 1 - 2 - 3	CPs 4 - 5 - 6	CPs 7 - 8 - 9	CPs 10 - 11 - 12	CPs 13 - 14 - 15	CPs A - B - C

Fonte: Arteris

Seguiu-se todo o processo de tempo e temperatura de estufa, não podendo ser inferior a 107°C nem superior a 177°C . A temperatura dos agregados deve ser de 10 a 15°C acima da temperatura definida para o ligante, sem ultrapassar 177°C , após essa etapa realizou-se a

mistura da massa (agregados e CAP) e pôr fim a compactação (75 golpes por face) do material a ser analisado.

Para garantir a eficiência dos resultados, moldou-se 3 CP's (corpos de prova) e 5 amostras de aproximadamente 1,5 kg para cada porcentagem, definido em 5 pontos e o início da dosagem da quantidade do CAP foi definido conforme a experiência do projetista local. Após o resfriamento e a desmoldagem dos corpos-de-prova (12 horas no mínimo), obtém-se as dimensões do mesmo (diâmetro e altura) utilizando o paquímetro. Determinam-se para cada corpo-de-prova suas massas secas, imersa em água e seca com o uso de pano (supersaturada). Conforme o procedimento do item 2.3.3. Com estes valores e possível obter a massa específica aparente dos corpos-de-prova, que por comparação com a massa específica máxima teórica (Rice – item 2.3.4), vai permitir obter as relações volumétricas típicas da dosagem, segundo as Normas Técnicas de ensaio.

Os valores são anotados em uma ficha de ensaio de CP, desenvolvido pelo próprio laboratório e entregue para o técnico para anotar os resultados encontrados durante o ensaio:

Figura 27: Ficha de Ensaio de CP

Traço:			Projeto de Misturas Asfálticas a Quente (MAQ)				
Cp	%	Espessura	Pesos			Resistência a tração a 25°C	Deformação do cp
Nº	Cap 30-45	Espessura (cm)	Peso seco (g)	Peso no ar (sss) (g)	Peso imerso (água) (g)		
1							
2							
3							

Fonte: Arteris

Equação 3: Cálculo para a Densidade Aparente (item 2.3.3):

$$DensAparente = \frac{Peso\ Seco}{Peso\ no\ Ar\ (SSS) - Peso\ Imerso}$$

Figura 28: Ficha de Acompanhamento do Ensaio de Rica

CONCESSIONÁRIA :		Nº DO PROJETO	
CONSTRUTORA:			
PEDREIRA:		CAP:	
DATA DA COLETA:	TRAÇO:		
MATERIAL			
DENS.MAX.TEÓRICA (EMULSÃO)Nº DO CP :		DENS.MAX.TEÓRICA (EMULSÃO)Nº DO CP :	
% DE LIGANTE =		% DE LIGANTE =	
PESO DO LIGANTE =		PESO DO LIGANTE =	
PESO DA AMOSTRA (A)		PESO DA AMOSTRA (A)	
PESO DO FRASCO • ÁGUA (B)		PESO DO FRASCO • ÁGUA (B)	
PESO DO FRASCO • AMOSTRA • ÁGUA (C)		PESO DO FRASCO • AMOSTRA • ÁGUA (C)	
DENSIDADE MAXIMA TEÓRICA		DENSIDADE MAXIMA TEÓRICA	

Fonte: Arteris

Cálculo para a Densidade Máxima Teórica:

Equação 4: Densidade Máxima Teórica

$$MaxTeorica = \frac{A}{A + B - C}$$

Cálculo para determinação % de Vazios:

Equação 5: % de Vazios

$$\% \text{ Vazios } (Vv) = \frac{MaxTeorica - DensAparente}{MaxTeorica \times 100}$$

Ao encontrar a % Vazios (Vv) é possível determinar qual será o teor ótimo da mistura.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados as análises e os resultados obtidos de 3 CP's com 3.5%, 4.0 %, 4.5 %, 5.0 %, 5.5 %, totalizando 15 CP's com diferentes dosagens de CAP na mistura, para a obtenção de até 7% de vazios, sendo o teor ótimo 4% descrito da média de trabalho adotado para a faixa B do DNIT (3,0 - 5,0 Camada de ligação). Facilitando a compreensão do uso dos parâmetros físicos dos componentes – CAP e Agregados - que serão utilizados na determinação da densidade aparente, densidade teórica, % de vazios de ar.

O projeto realizado em laboratório em pequena escala simula qual seria o teor ótimo obtido na mistura, garantindo a eficiência em projetos utilizados na estrutura de um pavimento, por meio de estudos e ensaios realizados por diversos autores. Os CP's foram ensaiados conforme já descrito no item 4.0 e os resultados obtidos conforme a tabela 4 abaixo:

Tabela 3: Resultados do Ensaio da Massa Específica Aparente

% DE CAP	Massa Específica Aparente Compactada
4,0 [%]	2,289 [g/mL]
4,5 [%]	2,340 [g/mL]
5,0 [%]	2,368 [g/mL]
5,5 [%]	2,377 [g/mL]
6,0 [%]	2,359 [g/mL]

Fonte: Arteris

Resultados encontrados e dados de densidade aparente obtidos. Segue-se realizando o ensaio de RICE (procedimento descrito no subitem 2.3.4). As 5 amostras pesadas conforme projeto (± 1500 Kg) realizada com a variação de porcentagem de CAP conforme as do CP's, a fórmula utilizada está descrita no item 2.3.4 e os resultados finais de ensaio da densidade máxima teórica, conforme a tabela 5

Tabela 4: Resultados do Ensaio da Massa Específica Real

TEOR DE CAP	4,0 [%]	4,5 [%]	5,0 [%]	5,5 [%]	6,0 [%]
CP N°	36	37	38	39	40
PESO DA AMOSTRA (A)	1970,0 [g]	1978,6 [g]	1987,8 [g]	1993,4 [g]	1986,2 [g]
PESO DO FRASCO + ÁGUA (B)	8525,7 [g]				
PESO DO FRASCO + AMOSTRA + ÁGUA (C)	9706,0 [g]	9704,2 [g]	9704,8 [g]	9703,1 [g]	9793,0 [g]
PESO DA AMOSTRA SATURADA SUPEFÍCIE SECA (D)	1970,0 [g]	1978,6 [g]	1987,8 [g]	1993,4 [g]	1986,2 [g]
M. Específica efetiva máxima da mistura solta	2,495 [g/mL]	2,473 [g/mL]	2,458 [g/mL]	2,443 [g/mL]	2,763 [g/mL]

Fonte: Arteris

Através dos seus índices de vazios é possível determinar as condições ideais do material em relação a porcentagem de CAP da mistura, na qual é possível encontrar o teor ótimo. Os resultados encontrados estão representados conforme a tabela 6:

Tabela 5: Resultados da Porcentagem de Vazios

% DE CAP	Massa Específica Aparente Compactada	Massa Específica Real (RICE) (%VV=0)	Porcentagem de Vazios no CP (%VV)
4,0 [%]	2,289 [g/mL]	2,488 [%]	8,0 [%]
4,5 [%]	2,340 [g/mL]	2,469 [%]	5,2 [%]
5,0 [%]	2,368 [g/mL]	2,450 [%]	3,3 [%]
5,5 [%]	2,377 [g/mL]	2,432 [%]	2,3 [%]
6,0 [%]	2,359 [g/mL]	2,413 [%]	2,2 [%]

Fonte: Arteris

Através dos resultados do volume de vazios Vv (%) foi possível terminar com segurança qual a porcentagem de teor ótimo que atende o projeto de dosagem e apresenta o melhor comportamento físico/mecânica entre o agregado e o CAP. Para esse projeto 12,5 mm encontrou-se o resultado esperado no CP com CAP de 4,5% e 5,0 % , apresentou o resultado de densidade aparente 2.340 a 2.368, densidade real 2,469 a 2,450 e a porcentagem de índice de vazios de 5,2% e 3,3%. Tirando uma média entre os dois resultados encontramos o teor ótimo de CAP na mistura de 4,8%.

6 CONCLUSÃO

Pavimentar uma via de circulação é, portanto, uma obra civil que enseja antes de tudo, a melhoria operacional para o tráfego, na medida em que é criada uma superfície mais regular (garantia de melhor conforto no deslocamento do veículo), mais aderente (garantia de segurança em condições climáticas adversas) e uma superfície menos ruidosa diante da ação dinâmica dos pneumáticos (garantia de melhor conforto ambiental), seja qual for a melhoria física oferecida (Balbo, 2007).

Se comparado a outros tipos de obras de engenharia, a pavimentação é a que apresenta menores índices de vida útil. Por esse motivo, pesquisas tornam-se essenciais para ajudar a elevar-se a qualidade do produto gerado em misturas asfálticas. Por isso, a importância da dosagem correta no projeto de mistura asfáltica, o estudo de cada material utilizado e alguns dos ensaios responsáveis por garantir a eficiência do projeto.

Este estudo tem como objetivo apresentar alguns parâmetros físicos e mecânicos dos comportamentos dos agregados numa classificação da faixa de trabalho. O agregado e o CAP atenderam os ensaios de classificação conforme descrito no item 4. Reforça-se também a necessidade de se explorar melhor a granulometria, conhecer as características físicas e o comportamento mecânico de cada material disponíveis além de se dosar cada mistura em função do asfalto escolhido e da estrutura na qual será empregada.

A falta ou excesso de dosagem de uma mistura causa algumas patologias graves na estrutura do pavimento conforme item 3, aumentando o custo da obra, diminuindo a vida útil do pavimento, trazendo problemas ao usuário e desclassificação da qualidade da obra. O estudo desenvolvido trouxe como resultado o teor ótimo de 4.8%, através da % do índice de vazios, um resultado satisfatório dentro das especificações de serviço.

Para um bom projeto é preciso compatibilizar as características do concreto asfáltico com toda a estrutura do pavimento, o que não é garantido quando se obtém o teor de projeto a partir de requisitos tradicionais. O presente trabalho foi realizado seguindo todas as normas técnicas e em pequena escala, importante que a reprodução dos resultados do teor ótimo ocorra em grande escala nas usinas asfálticas e a fiscalização no campo, pois todo sucesso de qualquer projeto passa pela fabricação e aplicação correta da mistura.

Com todas estas informações, conclui-se que, que a aplicação do CBUQ na dosagem correta trás um ganho no tempo de durabilidade do pavimento, aumenta a qualidade das vias e diminuindo o custo da obra.

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se fazer ensaios mais para comparar o efeito do índice de vazios com os resultados obtidos no ensaio de Marshall, ensaios de módulos, determinando a fadiga do pavimento com os teores obtidos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

MANUAL DO DNIT – 2006 - Disponível em<
https://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/manuais/Manual_de_Pavimentacao_Versao_Final.pdf

BERNUCCI, L. B; MOTTA, L. M. G; CERATI, J. A. P; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação para engenheiros**. Rio de Janeiro: PET ROBRAS: ABEDA, 2006.

CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTES. **Pesquisa CNT de rodovias 2017**: relatório gerencial. Ed. Brasília: CNT: SEST: SENAT, 2017.

DOMINGUES, F. A. A. MID – **Manual de Identificação de Defeitos de Revestimentos asfálticos de Pavimentos**. São Paulo. 1993

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

CERATTI, J. A. P; NUÑES, W. P. **Projeto de Pesquisa CONCEPA - LAPAV**: Estudo de Desempenho de Pavimento Experimental com objetivo de validar método racional de dimensionamento de Pavimentos Flexíveis. Porto Alegre: 2011.

DNIT - DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES
Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semirrígidos - Procedimento NORMA DNIT 006 / 2003 - PRO. Rio de Janeiro, 2003.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO (DER/SP). **Manual Básico de Estradas e Rodovias Vicinais**. São Paulo, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT.
Manual de drenagem de rodovias. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES DNIT.
Manual de pavimentação. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2006.