

CENTRO UNIVERSITÁRIO DE FORMIGA - UNIFOR
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL
MIRIAN CARVALHO PEREIRA

REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS: TIPOS E PROPRIEDADES

FORMIGA - MG

2014

MIRIAN CARVALHO PEREIRA

REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS: TIPOS E PROPRIEDADES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG,
como requisito para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Paulo José Silva

FORMIGA - MG

2014

P436 Pereira, Mirian Carvalho.
Revestimentos asfálticos: tipos e propriedades / Mirian Carvalho Pereira.
– 2014.
77 f.

Orientador: Paulo José Silva.
Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil) - Centro
Universitário de Formiga–UNIFOR - MG, Formiga, 2014.

1. Revestimentos asfálticos. 2. Utilização do Concreto betuminoso
usinado a quente. 3. Evoluções asfálticas. I. Título.

CDD 625.85

Mirian Carvalho Pereira

REVESTIMENTOS ASFÁLTICOS: TIPOS E PROPRIEDADES

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil do UNIFOR-MG, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA



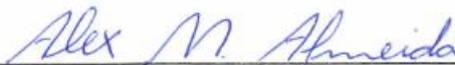
Prof. Dr. Paulo José Silva

Orientador



Profª. Ms. Aline Matos Leonel Assis

UNIFOR-MG



Prof. Dr. Alex Magalhães Almeida

UNIFOR-MG

Formiga, 03 de novembro de 2014.

DEDICATÓRIA

Dedico essa vitória primeiramente a Deus, o maior arquiteto do universo, quem me deu a vida, a fé e a força pra chegar até aqui.

Ao meu pai Marcos, meu doutor preferido, um exemplo de pai, que me ensinou a ir atrás dos meus sonhos, dos meus estudos e focar nos meus objetivos.

A minha mãe pela vida, por acreditar em meu potencial e me amar incondicionalmente.

E principalmente, a minha irmã Nátila que me ajudou neste trabalho quando precisei e está sempre ao meu lado me apoiando.

AGRADECIMENTOS

Consegui, e isso porque o Senhor se fez presente, transformando a fraqueza em força e a derrota em vitória; obrigada Deus.

Agradeço aos meus Pais, Marcos e Mirna, por abrirem as portas para o meu futuro, muitas das vezes sacrificando os seus sonhos em favor dos meus; sem vocês não seria ninguém.

Ao Ramon, que esteve sempre ao meu lado me apoiando e incentivando.

A todos os meus amigos, que conquistei ao longo desses cinco anos.

Ao professor orientador Dr. Paulo José Silva, um exemplo de profissional, que me disponibilizou materiais ao longo da realização do trabalho, agradeço por sua dedicação, comprometimento, eficiência e sabedoria.

RESUMO

O pavimento é composto de camadas, sendo elas: camada de fundação, camadas da estrutura do pavimento e a camada final chamada revestimento, destinada a receber o tráfego. O principal tipo de pavimento feito nas rodovias do Brasil é o pavimento flexível, constituído por um revestimento betuminoso. O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é o revestimento flexível mais utilizado em obras de pavimentação no mundo todo. Com a evolução das misturas asfálticas, surgiu a inserção de borracha de pneus moídos no CBUQ, denominado asfalto ecológico, uma evolução de pavimentos nobres e resistentes, devido a um bom planejamento e excelente projeto. Não só o asfalto ecológico, como também o pavimento permeável e sustentável é uma evolução asfáltica no Brasil, pois este está relacionado a uma grande permeabilidade e índice de vazios no seu pavimento, resultando na drenagem das águas caídas sobre ele que é escoado rapidamente para o aquífero. O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica que descreve o revestimento asfáltico, tipos e propriedades, o qual irá caracterizar além das citadas acima, técnicas como: Microrevestimento asfáltico, Tratamentos Superficiais, Camada Porosa de Atrito, Lama Asfáltica.

Palavras – chave: Rodovias. Revestimentos asfálticos. Pavimentos flexíveis. Utilização do Concreto betuminoso usinado a quente. Manutenção rodoviária. Evoluções asfálticas.

LISTA DE SIGLAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

BGS: Brita Graduada Simples

BMP: Borracha Moída de Pneu

CAP: Concreto Asfáltico de Petróleo

CBUQ: Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CPA: Camada Porosa de Atrito

DER: Departamento de Estrada e Rodagem

DNER: Departamento de Nacional de Estrada e Rodagem

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EVA: Etileno Acetato de Vinila

MRAF: Microrevestimento Asfáltico

NBR: Norma técnica Brasileira

PMF: Pré-Misturado a Frio

PMQ: Pré-Misturado a Quente

SBR: Estireno Butadieno

SBS: Estireno Butadieno Estireno

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esforços atuantes no pavimento e sua transferência de cargas da estrutura.	17
Figura 2 – Estrutura tipo de pavimento flexível.	18
Figura 3- Seção transversal típica de pavimento flexível.	19
Figura 4- Estrutura tipo de pavimento semi-rígido.	21
Figura 5 - Seção transversal típica de pavimento rígido.	22
Figura 6 - Estrutura tipo de pavimento rígido	22
Figura 7 – Comparação entre os tipos de estrutura do pavimento.	23
Figura 8 - Revestimento asfáltico novo, seguido de revestimento antigo.	24
Figura 9 - Esquema de uma usina asfáltica descontínua (por batelada).	26
Figura 10 - Usina asfáltica por batelada ou gravimétrica.	26
Figura 11 - Esquema de uma usina asfáltica contínua.	27
Figura 12 - Usina asfáltica contínua.	27
Figura 13 - Estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica.	28
Figura 14 - Tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica.	29
Figura 15 - Sistema de silos frios.	30
Figura 16 - Controle no fundo dos silos frios.	30
Figura 17 - Correia transportadora de agregados para o secador.	30
Figura 18 - Sistema de aquecimento do secador	31
Figura 19 - Secador de agregados com ventilador de exaustão.	31
Figura 20 - Secador de fluxo paralelo	32
Figura 21 - Secador de contrafluxo	32
Figura 22 - Esquema de coletores primário e secundário.	33
Figura 23 - Exemplo de sistema de coletores de pó	34
Figura 24 - Esquema de unidade de peneiramento da usina asfáltica por batelada.	35
Figura 25 - Elevador de agregados aquecidos e silos quentes.	35
Figura 26 – Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua.	36
Figura 27 - Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua.	36
Figura 28 - Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica	37
Figura 29 – Corpo de prova mostrando a camada de revestimento CBUQ.	38

Figura 30 - Corpo de prova extraído da pista mostrando a composição do revestimento asfáltico.....	40
Figura 31 - Esquema de fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras.	41
Figura 32 - Tipo de vibroacabadora.	42
Figura 33 - Rolo pneumático e Rolo tandem liso.....	42
Figura 34 – Rolo vibratório.	43
Figura 35 - Pneus sendo levados através de esteiras para a moagem.....	48
Figura 36 - Pneu no moedor e tambores magnéticos separando o aço contido nos pneus da borracha	49
Figura 37 - Borracha proveniente do pneu, pronta para ser usinada e inserida no CBUQ.....	49
Figura 38 - Funcionamento de uma usina de borracha.....	50
Figura 39 - Vibroacabadora de asfalto recebendo a mistura asfalto-borracha de um caminhão caçamba.	51
Figura 40 - Vibroacabadora espalhando o Asfalto Borracha.	51
Figura 41 - Rolo Pneumático compactando a mistura.....	52
Figura 42 - Rolo de chapa compactando e dando o acabamento final do Asfalto Borracha recém aplicado.....	52
Figura 43 - Aplicação de microrevestimento asfáltico em rodovia de tráfego pesado com restauração funcional.....	53
Figura 44 - Pavimento asfáltico a ser restaurado antes da aplicação do microrevestimento asfáltico.....	54
Figura 45 - Aplicação de microrevestimento asfáltico em via urbana expressa.	55
Figura 46 - Textura superficial do MRAF.....	56
Figura 47 - Usina móvel para aplicação do MRAF e detalhe da sua caixa distribuidora.	56
Figura 48 - Distribuidor de agregado para tratamento superficial.....	58
Figura 49 - Aplicação da taxa de emulsão asfáltica com caminhão espargidor.....	59
Figura 50 - Aplicação da taxa de agregado com distribuidor.....	59
Figura 51 - Acomodação do tratamento superficial com rolo pneumático.	60
Figura 52 - Aplicação da lama asfáltica	64
Figura 53 - Trecho em camada asfálticas seguido por trecho CPA.	66
Figura 54 - Trecho em CPA na Bahia.	67
Figura 55 - Vista geral da pista tendo como revestimento a CPA.....	67
Figura 56 - Realização de ensaio de permeabilidade.	68
Figura 57 - Textura superficial da Camada Porosa de Atrito.....	68

Figura 58 – Corpo de prova extraído de um pavimento permeável	70
Figura 59 – Caracterização das componentes do pavimento permeável.	70
Figura 60 – Seção transversal do concreto permeável.	71
Figura 61 – Exemplo de estacionamento feito pelo concreto permeável.	72

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVO	15
3	JUSTIFICATIVA.....	16
4	REFERÊNCIAL TEÓRICO.....	17
4.1	Classificação de Pavimentos.....	17
4.1.1	Pavimentos Flexíveis	18
4.1.2	Pavimentos Semi-Rígidos	20
4.1.3	Pavimentos Rígidos	21
4.2	Tipos de Revestimentos Betuminosos.....	23
4.2.1	Usina de asfalto.....	25
4.2.2	Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)	38
4.2.3	Revestimento Betuminoso com a utilização de Polímeros.....	44
4.2.4	Asfalto Ecológico	46
4.2.5	Microrevestimento Asfáltico	53
4.2.6	Tratamentos Superficiais	57
4.2.7	Lama Asfáltica.....	63
4.2.8	Camada Porosa de Atrito (CPA)	65
4.2.9	Pavimento Permeável e Sustentável	68
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
6	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

O deslocamento, seja de pessoas ou cargas, pode ser feito por vários meios, sendo transportes aquáticos, aéreos e terrestres. No transporte terrestre, as estradas é uma das formas mais utilizadas para se locomover.

Na construção de estradas, o pavimento é uma superestrutura constituída por um sistema de camadas de espessuras finitas, assentadas sobre uma infraestrutura ou terreno de fundação.

O pavimento mais utilizado nas vias é o flexível, o qual possui camadas que sofrem deformações elásticas. Essas camadas podem ser, subleito, reforço do subleito, base, sub-base e revestimento.

A camada de revestimento é a camada final do pavimento, que é destinada a receber as cargas do tráfego e as ações do clima. Tal camada pode ser tanto de forma impermeável, com a aplicação do CBUQ que é o concreto betuminoso usinado a quente e a aplicação do asfalto borracha, quanto de forma permeável, que é a execução de um pavimento permeável sustentável e a execução da camada porosa de atrito (CPA).

O CBUQ é uma mistura a quente, altamente impermeável, pelo fato do betume ter poder aglutinante e impermeabilizante vedando a passagem de água e materiais indesejáveis para a estrutura.

O asfalto ecológico, mais conhecido como asfalto borracha é produzido de forma ecológica e sustentável, porém não tem as mesmas funções do pavimento permeável e sustentável. O asfalto borracha é constituído de borracha de pneus moídos inservíveis.

Os pneus, após o término de sua vida útil ao invés de serem descartados em rios, aterros sanitários, lixões, margens de pistas, são utilizados na produção da massa asfáltica a quente (CBUQ), e sua função é obter mais durabilidade, flexibilidade e resistência que o concreto betuminoso convencional.

O pavimento permeável e sustentável é um tipo de concreto que vem sendo utilizado no Brasil desde 2006, mas foi iniciado nos Estados Unidos; ele tem alto índice de vazios, o que permite a passagem de grande quantidade de água sem obstruções. A água escoar diretamente para o solo, aliviando o sistema de drenagem e diminuindo o índice de enchentes em cidades.

A camada porosa de atrito (CPA) é responsável pela coleta de água da chuva para seu interior; essa água é capaz de percolar rapidamente até a chegada das sarjetas, por isso é

considerado um revestimento permeável. Porém as camadas inferiores à do revestimento, devem ser impermeáveis, para evitar a entrada de água no interior da estrutura do pavimento e conseqüentemente, entrar em contato com o solo, pois pode causar buracos ou desabamentos da superfície.

As técnicas e manutenções que serão expostas nesse estudo, são de grande importância para o processo construtivo do revestimento asfáltico, como por exemplo: tratamentos superficiais, microrevestimento asfáltico e lama asfáltica.

Essas são maneiras de resgatar revestimentos envelhecidos e desgastados somente superficialmente, ou seja, não corrige erros na estrutura do pavimento.

2 OBJETIVO

O objetivo principal deste trabalho é expor através da revisão bibliográfica, os tipos e as propriedades dos revestimentos asfálticos utilizados pela engenharia brasileira. Para tal, este trabalho foi dividido em três partes. Na primeira parte, apresentaram-se os tipos de pavimentos existentes relatando as peculiaridades de cada um deles. Na segunda parte, apresentou-se uma revisão teórica em que se abordou as características e propriedades dos diversos tipos de revestimentos flexíveis utilizados. Em seguida foram tecidas as considerações finais.

3 JUSTIFICATIVA

A proposta deste trabalho é focar nos tipos e propriedades dos revestimentos asfálticos, destacando-se novas técnicas construtivas surgidas no exterior e recém aplicadas no Brasil, técnicas essas que provém da produção do concreto de forma ecológica e sustentável.

O processo construtivo do revestimento asfáltico está ligado á produção da mistura, qualquer que seja ela e á aplicação desta á pista. Porém cada tipo de revestimento betuminoso com suas funções e características.

Trata-se de um assunto relevante, pois descreve tanto o método convencional das misturas quanto, métodos novos para o aumento da flexibilidade, resistência e aderência da camada de revestimento, relacionados ao fator ambiental.

4 REFERÊNCIAL TEÓRICO

4.1 Classificação de Pavimentos

O pavimento é uma estrutura dividida em camadas de espessuras finitas, construída sobre uma fundação, denominada de fundação do subleito que tem a função de resistir aos esforços vindos do tráfego de veículos, tende a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento. Geralmente, as camadas mais próximas da superfície têm melhores características e custos de implantação mais elevados. (BERNUCCI et al., 2008).

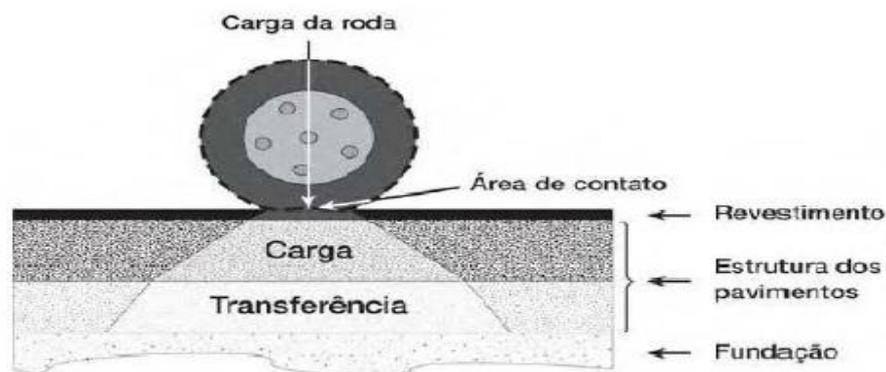
O pavimento está relacionado com o estado que a superfície de rolamento se encontra. A durabilidade das camadas de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, da intensidade do tráfego e também das características estruturais do pavimento. (MENDES e NUNES, 2009).

As principais funções de um pavimento, segundo a NBR 7207 (ABNT 1992), são:

- Resistir e distribuir ao subleito esforços verticais provenientes do tráfego;
- Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- Resistir aos esforços horizontais, tornando o mais durável possível a superfície de rolamento.

A FIG. 1 apresenta a imagem da seção transversal de um pavimento, com esforços atuantes.

Figura 1 - Esforços atuantes no pavimento e sua transferência de cargas da estrutura.



Fonte: (WIRTGEN, 2008, apud BARROS, 2013, p.19)

Pode-se classificar a estrutura de um pavimento em:

- Pavimentos flexíveis;
- Pavimentos semi-rígidos ou semi-flexíveis;
- Pavimentos rígidos.

4.1.1 Pavimentos Flexíveis

Pavimento em que todas as camadas sofrem deformações elásticas significativas, sob carregamento aplicado, então a carga se distribui entre as camadas. Exemplo típico: pavimento constituído por uma base de brita (brita graduada, macadame) ou por uma base de solo pedregulhoso, revestida por uma camada asfáltica. (DNIT, 2006).

A designação de pavimentos flexíveis (FIG. 2) refere-se a um pavimento constituído por uma ou mais camadas de misturas betuminosas que assentam diretamente sobre camadas granulares. 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	

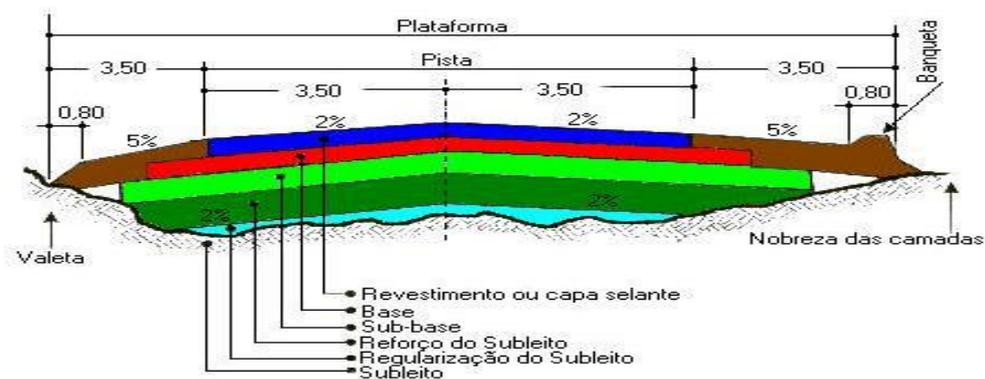
Fonte: SILVA, (2009, p.6).

Senço, (2007, p. 23), define que, “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”.

Marques, (2002, p. 4), relata que, “o pavimento flexível é constituído por um revestimento betuminoso sobre uma base granular ou de solo estabilizado granulometricamente”.

Um pavimento flexível é constituído das seguintes camadas: Revestimento ou capa selante, base, sub-base, reforço do subleito, regularização do subleito, subleito e fundação do subleito; camadas essenciais de uma estrutura flexível. (FIG. 3).

Figura 3- Seção transversal típica de pavimento flexível.



Fonte: MARQUES, (2002, p.3).

Os pavimentos flexíveis são constituídos por camadas que trabalham muito pouco à tração, quando comparadas às dos pavimentos rígidos. (MARQUES, 2002).

Os pavimentos flexíveis podem possuir misturas betuminosas fabricadas a quente ou misturas betuminosas fabricadas a frio, segundo Silva, (2009):

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.

As misturas fabricadas a quente são produzidas de forma a que, pelo menos, um dos componentes, agregado ou betume, seja aquecido. Os componentes são misturados em central

ou numa betoneira sendo posteriormente transportados, espalhados e compactados dando forma a uma camada de pavimento.

4.1.2 Pavimentos Semi-Rígidos

Marques, (2002, p. 4), define que, “pavimentos semi-rígidos são situações intermediárias entre os pavimentos flexíveis e rígidos. É o caso das misturas solo-cimento, solo-cal, solo-betume dentre outras, que apresentam razoável resistência à tração”.

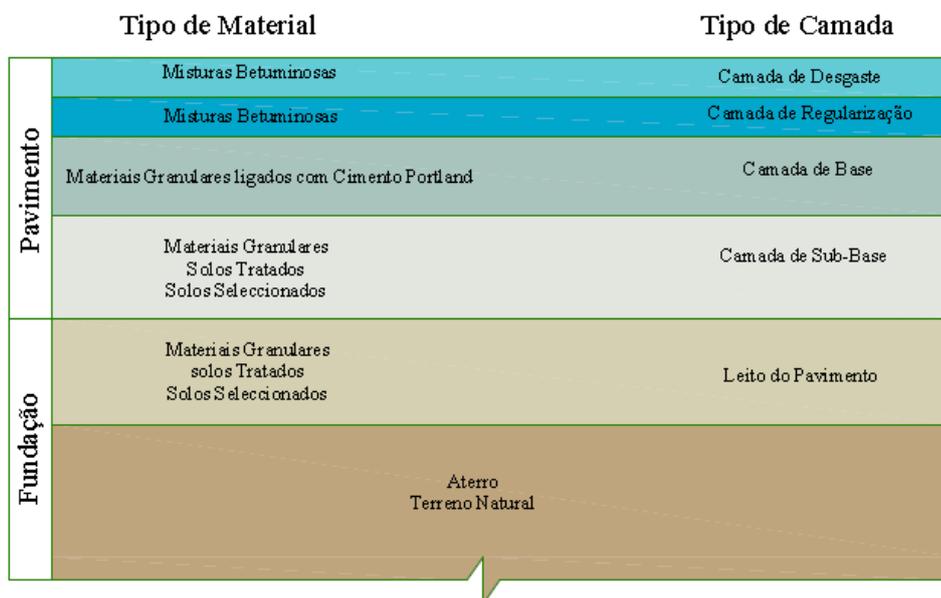
É aquele constituído por uma base cimentada de algum aglutinante com propriedades cimentícias, como por exemplo, uma camada de solo-cimento revestida por uma camada asfáltica. (DNIT, 2006).

O solo-cimento é adequado apenas para uso em bases ou sub-bases. Apresenta custo inicial baixo e boa durabilidade. É uma mistura de solo, água e cimento, realizada no local, que pode lançar mão de solo regional. (DNIT, 2006).

Conforme a Associação Brasileira de Concreto Portland, não é comum utilizar resíduos na sub-base porque é essencial ter um bom controle tecnológico. Pois o perigo de usar resíduo é a heterogeneidade. Por isso sempre usamos material de boa qualidade.

Os pavimentos semi-rígidos (FIG. 4) são constituídos superficialmente por uma camada de desgaste de materiais betuminosos que são assentados na camada de base, que tem função estrutural, constituída, por materiais granulares ligados ao cimento. A camada betuminosa de desgaste pode ter uma espessura reduzida, inferior a 10 centímetros, ou atingir espessuras superiores a 18 centímetros. (SILVA, 2009).

Figura 4- Estrutura tipo de pavimento semi-rígido.



Fonte: SILVA, (2009, p.15).

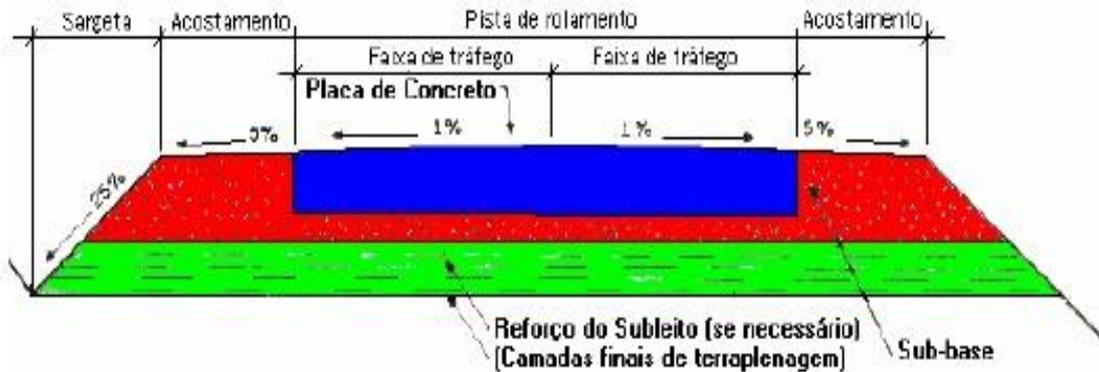
Para Medina (1997), quando se tem uma base cimentada sob o revestimento betuminoso, o pavimento é dito semi-rígido. O pavimento reforçado de concreto asfáltico sobre placa de concreto é considerado como pavimento composto.

4.1.3 Pavimentos Rígidos

O revestimento deste tipo de pavimento tem uma elevada rigidez em relação às camadas inferiores e, portanto, absorve praticamente todas as tensões provenientes do carregamento aplicado. Exemplo: pavimento constituído por lajes de concreto de cimento Portland. (DNIT, 2006).

Segundo Marques (2002), a placa de concreto de Cimento Portland é o principal componente estrutural, aliviando as tensões nas camadas subjacentes devido a sua rigidez à flexão, quando são gerados elevados esforços de tração na placa. (FIG. 5)

Figura 5 - Seção transversal típica de pavimento rígido.



Fonte: MARQUES, (2002, p.4).

Os pavimentos rígidos (FIG. 6) podem ser constituídos por betão simples, betão armado, betão pré-esforçado, betão com fibras, betão compactado a rolo, ou ainda betão de alta resistência. Estes podem apoiar-se diretamente no solo de fundação, numa sub-base, ou mesmo em pavimentos antigos. Resumindo os pavimentos rígidos são constituídos por placas de betão de cimento Portland apoiadas sob a fundação (SILVA, 2009).

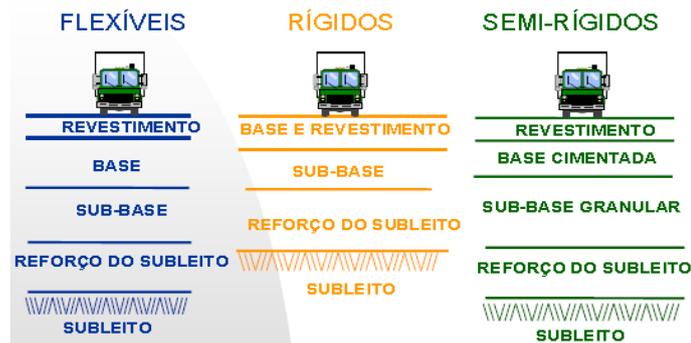
Figura 6 - Estrutura tipo de pavimento rígido

	Tipo de Material	Tipo de Camada
Pavimento	Betão de Cimento Portland	Camada de Desgaste
	Betão Pobre Solo-Cimento Materiais Granulares estabilizados com Cimento	Camada de Sub-Base
Fundação	Materiais Granulares Solos Tratados Solos Seleccionados	Leito do Pavimento
	Aterro Terreno Natural	

Fonte: SILVA, (2009, p.8).

Senço (2007, p. 23), relata que, “pavimentos rígidos são aqueles pouco deformáveis, constituídos principalmente de concreto de cimento. Rompem por tração na flexão, quando sujeitos a deformações”.

Figura 7 – Comparação entre os tipos de estrutura do pavimento.



Fonte: ADADA, (2008, p. 26).

Para dimensionar qualquer que seja o pavimento, flexível, semi-rígido ou rígido (FIG. 7) é necessário determinar os estados de tensão e deformação e os deslocamentos induzidos na estrutura do pavimento, provocados pela passagem dos veículos. Após esse procedimento, deve-se proceder a uma comparação de valores obtidos com os valores limite, dados por critérios de dimensionamento considerados adequados para a situação em análise. (SILVA, 2009).

4.2 Tipos de Revestimentos Betuminosos

“O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir diretamente às condições do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores”. (BERNUCCI et al., 2008, p. 09).

Os pavimentos são estruturas de múltiplas camadas, sendo o revestimento a camada que se destina a receber a carga dos veículos e mais diretamente a ação climática. Portanto, essa camada deve ser tanto quanto possível impermeável e resistente aos esforços de contato pneu-pavimento. (BERNUCCI et al., 2008, p. 158).

Senço (2007) define que, o revestimento asfáltico é a camada mais nobre do pavimento, por isso é necessário que essa camada seja adotada espessura que venha a aumentar a resistência e garantir a eficiência. Para vias simples é adotado duas faixas de tráfego e duas mãos de direção com espessuras de 3 a 5 cm; para auto-estradas, são feitos revestimento mais espessos, entre 7,5 e 10,0 cm; as larguras e espessuras das camadas devem ser estabelecidas em função da classe de projeto.

O mesmo autor também relata que, a camada de revestimento, é a de maior custo unitário de todas que compõem o pavimento, por isso é necessário muita cautela na execução e fixação de sua espessura. Quando há necessidade de manutenções nas camadas inferiores, para que a camada de revestimento seja aproveitada, é executada uma nova capa de rolamento tornando-a mais resistente e mais viável economicamente.

O revestimento asfáltico, geralmente, é formado pela combinação de ligante asfáltico e agregado mineral, (pó de pedra, brita, mistura asfáltica), podendo conter ainda material de preenchimento (filler mineral), aditivos etc. (MENDES; NUNES, 2009).

A FIG. 8 representa a diferença de um pavimento com novo revestimento asfáltico, seguido de um pavimento antigo e desgastado.

Figura 8 - Revestimento asfáltico novo, seguido de revestimento antigo.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 160).

Segundo Marques (2002), as principais funções de um revestimento são:

- Melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- Resistir às cargas horizontais que são ocasionadas pela frenagem e aceleração, tornando a superfície de rolamento mais durável;
- Tornar o pavimento impermeável, mantendo a estabilidade.

Nos tópicos seguintes serão apresentados os principais tipos de revestimentos betuminosos existentes, bem como suas características e propriedades.

4.2.1 Usina de asfalto

“Usina de asfalto é o conjunto de equipamentos mecânicos e eletrônicos interconectados de forma a produzir misturas asfálticas ou concreto betuminoso [...]”. (BERNUCCI et al., 2008, p. 374).

As misturas betuminosas podem ser produzidas de várias formas segundo Lobo, 2013:

- Mistura na pista;
- Mistura em usina móvel;
- Mistura em usina estacionária.

Segundo o mesmo autor, as usinas de asfalto classificam-se em:

- Usinas a quente: produção de concreto asfáltico, pré-misturados a quente, areia-asfalto, binder e rolled;
- Usinas a frio: produção de pré-misturado a frio, areia-asfalto, solo-asfalto, binder a frio.

O concreto betuminoso usinado a quente, assim como as demais misturas betuminosas exigem um controle de dosagem e de mistura bem eficazes. Essas misturas são produzidas em usinas próprias, cujo desenvolvimento tecnológico vem apresentando melhorias a cada ano que passa.

Segundo Bernucci et al., 2008, o objetivo principal dessas usinas é executar a mistura de agregados, aquecer essa mistura juntamente com o ligante asfáltico, misturar todos esses componentes até produzir a mistura asfáltica, posteriormente ser transportada por caminhão para a pista, onde será lançada por equipamento apropriado, denominado vibroacabadora. Essa mistura será compactada até atingir um grau de compressão que resulte a parte estrutural estável e resistente.

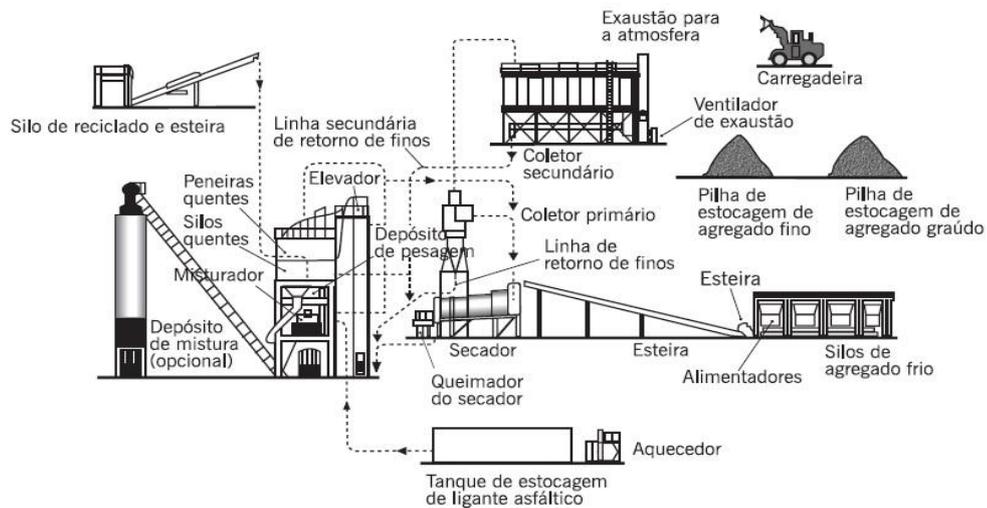
Ainda de acordo com o autor, se o ligante a ser misturado, é constituído de cimento asfáltico de petróleo, o agregado deve ser aquecido previamente para remoção de umidade e a sua temperatura deve ser elevada para que seja possível o seu envolvimento pelo ligante asfáltico. Esse procedimento descrito é característico de uma usina de asfalto de mistura asfáltica à quente. Quando o ligante utilizado for constituído de emulsão asfáltica as usinas

serão para misturas asfálticas à frio, usinas essas classificadas mais simples, por não terem necessidade de aquecimento nem do agregado e nem do ligante.

Essas usinas que produzem o concreto betuminoso ou misturas asfálticas, se dividem em dois tipos básicos existentes, que são:

- Usinas descontínuas - de produção batelada ou gravimétrica, que produz quantidades unitárias de misturas asfálticas. (FIG. 9), (FIG. 10).

Figura 9 - Esquema de uma usina asfáltica descontínua (por batelada).



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 374).

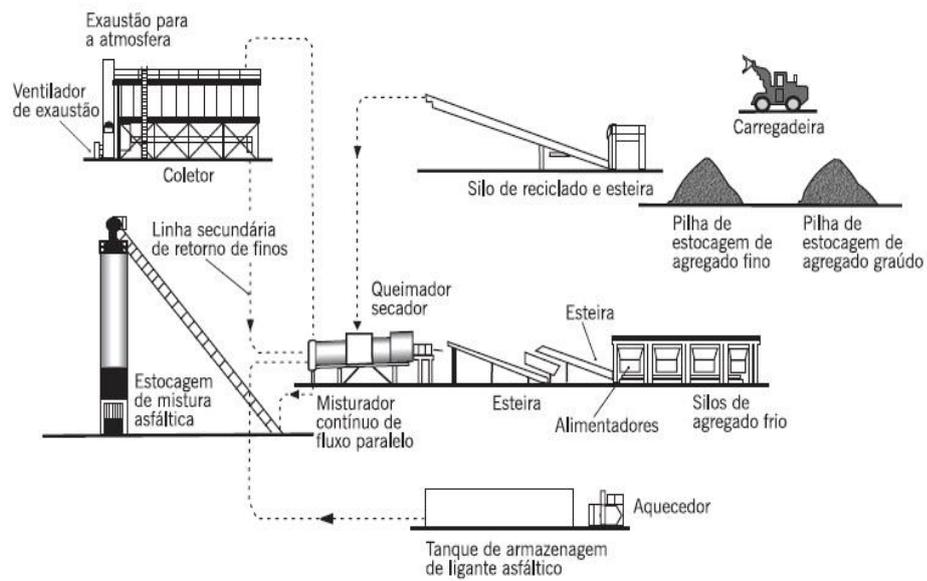
Figura 10 - Usina asfáltica por batelada ou gravimétrica.



Fonte: Bernucci et al., (2008, p. 375).

- Usinas contínuas – de produção contínua ou volumétrica, que também produz quantidades unitárias de misturas asfálticas. (FIG. 11), (FIG. 12).

Figura 11 - Esquema de uma usina asfáltica contínua.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008).

Figura 12 - Usina asfáltica contínua.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 375).

Operações básicas envolvidas na produção de misturas asfálticas a quente segundo Bernucci et al., 2008:

1- Estocagem e manuseio dos materiais componentes das misturas asfálticas na área da usina

Os agregados devem ser manuseados de maneira a evitar contaminação e minimizar sua degradação.

A área de estocagem (FIG. 13) deve ser:

- Limpa para a prevenção da contaminação do agregado;
- Drenada para evitar acúmulo de umidade;
- Ser feita em locais cobertos para evitar a ação de precipitações de águas.

Figura 13 - Estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 376).

O ligante asfáltico (FIG. 14) deve ser:

- Estocado em quantidade suficiente para manter a operação da usina de forma regular, possuindo geralmente dois ou mais tanques, sendo um tanque abastecedor durante a usinagem e os demais de estocagem do ligante asfáltico;
- Mantido fluido o suficiente para que possa se movimentar através dos dutos e ser utilizado na operação de usinagem;
- Os tanques devem possuir sistema de aquecimento através de circulação de óleo térmico ou elétrico;
- Nunca se deve utilizar aquecimento através de chama em contato com o tanque ou o seu conteúdo;

- Quando superaquecidos esses materiais podem sofrer degradação térmica, perdendo suas características aglutinantes.

Figura 14 - Tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 376).

2- Proporcionamento e alimentação do agregado frio no secador

O sistema de silos frios (FIG. 15) é um dos principais componentes de uma usina asfáltica, como:

- Recebem agregados frios, proporciona as diferentes frações granulométricas e conduz para o secador. São compostos por uma série de pelo menos quatro silos, que são carregados individualmente com frações de agregados provenientes da zona de estocagem;
- Cuidados devem ser tomados a fim de evitar a mistura de frações granulométricas dos diferentes silos. Isto inclui o adequado dimensionamento da largura desses silos, a instalação de divisores verticais nos limites entre silos e o não sobrecarregamento dos mesmos.
- Portas localizadas no fundo de cada silo controlam as quantidades de cada fração de agregado a ser transportada ao secador através de correia transportadora. (FIG. 16), (FIG. 17).

Figura 15 - Sistema de silos frios.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p.377).

Figura 16 - Controle no fundo dos silos frios.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 378).

Figura 17 - Correia transportadora de agregados para o secador.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 378).

- 3- Secagem e aquecimento eficiente do agregado à temperatura apropriada
- Os agregados provenientes dos silos frios são conduzidos ao tambor secador, onde serão secos e aquecidos à temperatura adequada. (FIG. 18).
 - O secador é um cilindro rotatório com diâmetro entre 1,5m e 3,0m e comprimento entre 6,0m e 12,0m, dependendo da capacidade da usina.
 - O sistema possui um queimador de óleo e gás numa extremidade e um ventilador de exaustão na outra extremidade. (FIG. 19).

Figura 18 - Sistema de aquecimento do secador



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 378).

Figura 19 - Secador de agregados com ventilador de exaustão

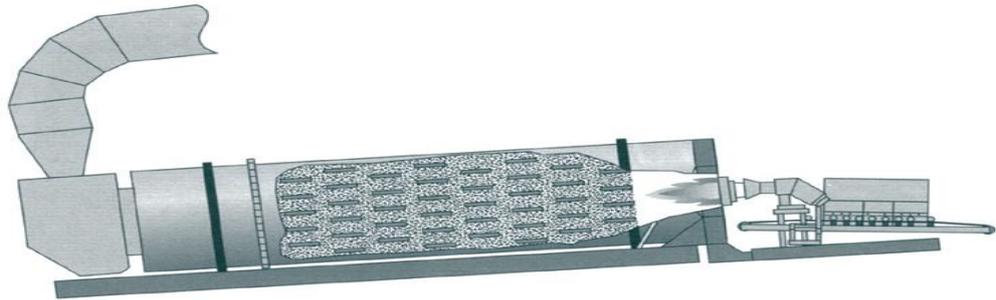


Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 378).

Há dois tipos básicos de secadores:

- Secadores de fluxo paralelo, FIG. 20, o agregado e o ar fluem na mesma direção; esse tipo de secadores, o agregado frio é introduzido no secador na mesma extremidade onde existe o queimador, e movimenta-se na direção da outra extremidade.

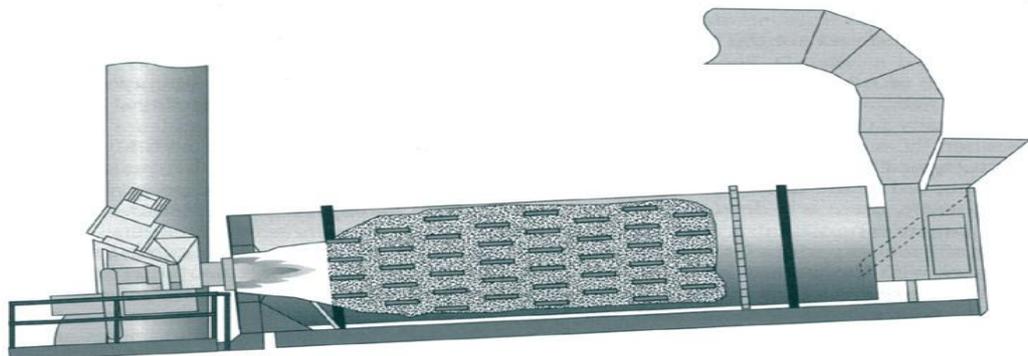
Figura 20 - Secador de fluxo paralelo



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 379).

-Secadores de contrafluxo, o agregado e o ar aquecido movimentam-se em direções opostas. (FIG. 21).

Figura 21 - Secador de contrafluxo



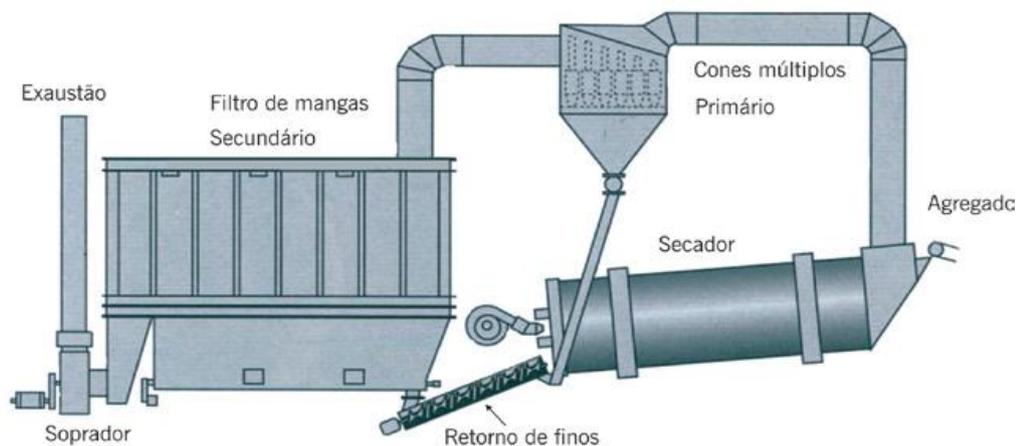
Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 379).

As usinas asfálticas mais modernas são em sua grande maioria equipadas com secadores do tipo contrafluxo.

4- Controle e coleta de pó no secador

- O ar que flui através do secador carrega com ele gases de exaustão e pequena quantidade de partículas de pó do agregado. Essas partículas devem ser recolhidas antes que sejam descarregadas na atmosfera, por meio de um sistema de controle de emissões.
- Esse sistema é composto, na maioria das usinas de asfalto, por coletores de pó, primários e secundários. (FIG. 22). Eles são instalados no final do secador e filtram o ar que entra no queimador e o que sai no sistema de exaustão.
- O coletor primário tem como função recolher as partículas maiores de pó contidas nos gases de exaustão (FIG. 23). Os mais usuais são a caixa de queda e o tipo ciclone.
- O coletor secundário filtra e recolhe as partículas de pó mais finas. Os mais usuais são o filtro de mangas e o de coleta úmida. O pó recuperado neste último não pode ser reincorporado à mistura asfáltica em produção.

Figura 22 - Esquema de coletores primário e secundário



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 380)

Figura 23 - Exemplo de sistema de coletores de pó



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 380).

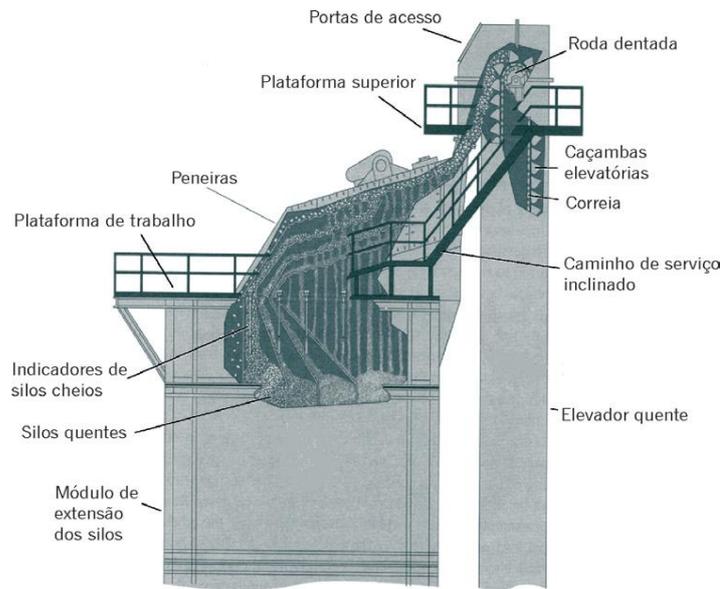
- 5- Proporcionamento, alimentação e mistura do ligante asfáltico com agregado aquecido
- O processo de mistura do ligante asfáltico com o agregado varia de acordo com o tipo de usina de asfalto utilizada.
 - Na usina de produção por batelada ou gravimétrica, o agregado seco e aquecido proveniente do secador, FIG. 24, é transportado através de um elevador e passa por uma série de peneiras que o separa em várias frações granulométricas e que são depositadas nos silos quentes. (FIG. 25).

Frações de agregados predeterminadas são pesadas e estocadas juntas em um depósito de pesagem. Deste depósito elas são transferidas a um misturador logo abaixo, onde são misturadas com o ligante asfáltico em proporção predeterminada.

- Na usina de produção contínua, a mistura do ligante asfáltico com agregado é realizada no próprio tambor secador, após a secagem e aquecimento do agregado, num processo contínuo.

O agregado entra na zona primária do tambor que é seco e aquecido pelo calor produzido no queimador. Movimenta-se para a zona secundária onde o ligante asfáltico é introduzido e vigorosamente misturado.

Figura 24 - Esquema de unidade de peneiramento da usina asfáltica por batelada.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 381).

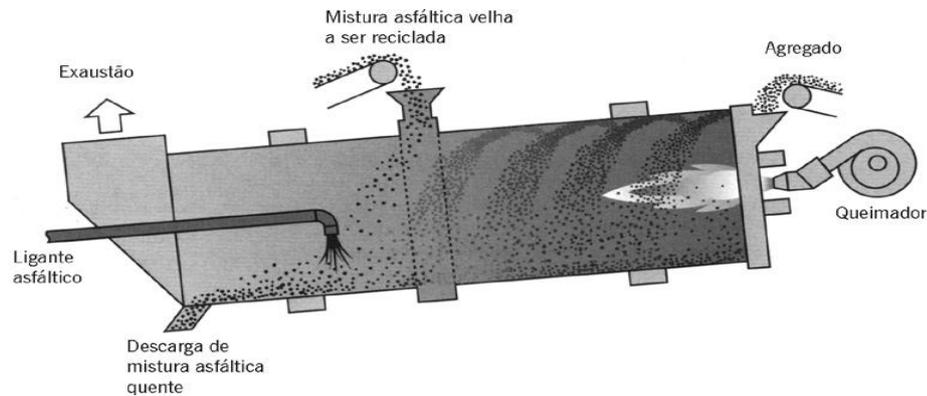
Figura 25 - Elevador de agregados aquecidos e silos quentes



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 382).

Durante esse processo o controle efetivo da temperatura da mistura asfáltica é fundamental para o seu desempenho futuro. Existem dois tipos principais de tambores secadores e misturadores. O primeiro é o de fluxo paralelo, FIG. 26, o agregado entra no tambor na extremidade do queimador e flui na mesma direção dos gases aquecidos. O ligante asfáltico é introduzido no último terço do tambor, juntamente com algum pó necessário à mistura asfáltica.

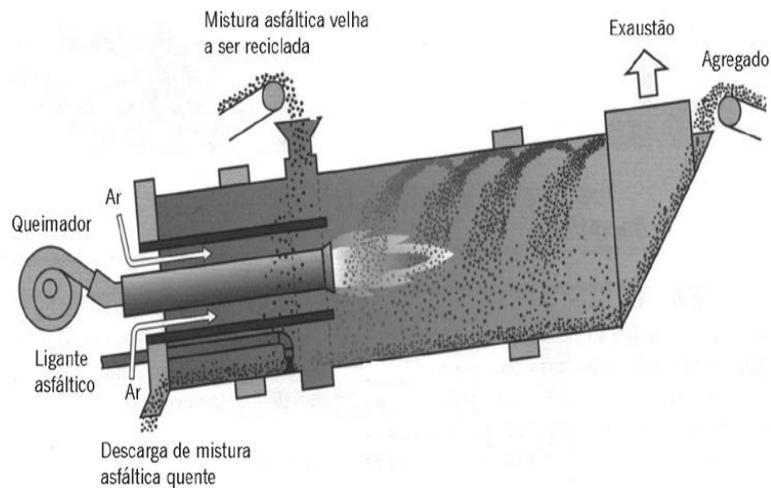
Figura 26 – Esquema de tambor secador-misturador de fluxo paralelo em usina contínua.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 383).

E o segundo é de contrafluxo, FIG. 27, o agregado entra na extremidade oposta ao queimador e flui na direção oposta aos gases aquecidos. O queimador é posicionado de modo que a injeção de ligante e a mistura deste com o agregado ocorram fora de sua zona de influência.

Figura 27 - Esquema de tambor secador-misturador de contrafluxo de usina contínua.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 383).

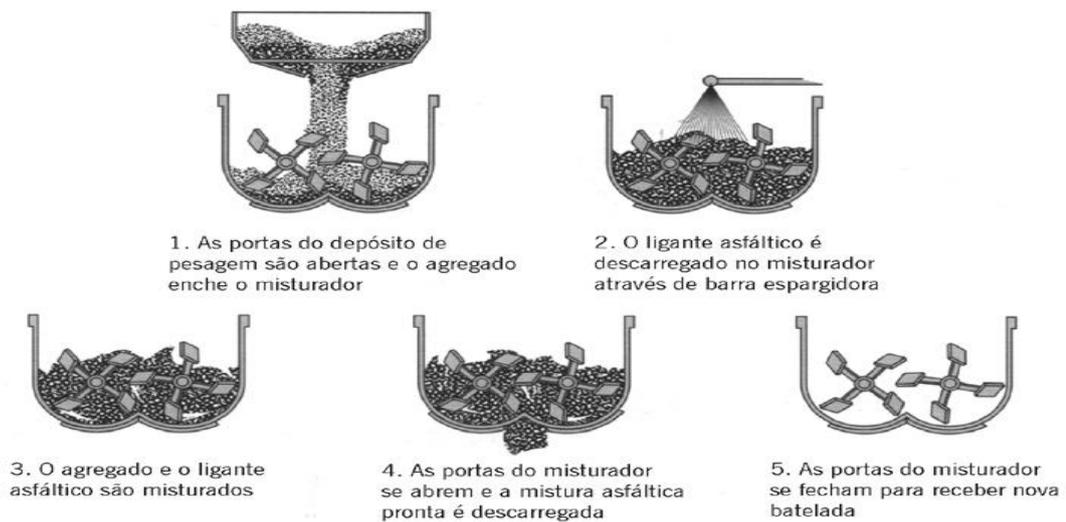
Esses tambores secadores admitem a introdução de material fresado para a sua reciclagem, devidamente afastado da chama para evitar danos. Existem variantes dos dois tipos principais de tambores secadores e misturadores, como o de cilindro duplo onde o

agregado é seco e aquecido em um tambor de contrafluxo e a mistura com o ligante asfáltico, ocorre em um tambor de maior diâmetro, que cobre dois terços do tambor interno.

Há o sistema com tambor triplo de contrafluxo onde as fases de secagem, aquecimento e misturas são realizados em três zonas distintas. E ainda o de tambor duplo, onde é utilizado um tambor de contrafluxo para secagem e aquecimento do agregado e um misturador rotatório no qual o ligante asfáltico e os finos são introduzidos e misturados.

Na FIG. 28, relata o processo da mistura de produção de uma batelada.

Figura 28 - Esquema de produção de uma batelada de mistura asfáltica



Fonte: BERNUCCI et al., (2008).

6- Estocagem, distribuição, pesagem e manuseio das misturas asfálticas produzidas

- A maioria das usinas asfálticas contínuas é equipada com silos de estocagem ou com depósitos de controle de produção das misturas asfálticas. Nesses, a prevenção de segregação da mistura asfáltica deve ser constante.

- Um sistema de pesagem deve ser conectado aos silos para controle de quantidade de mistura asfáltica a ser carregada em cada caminhão transportador.

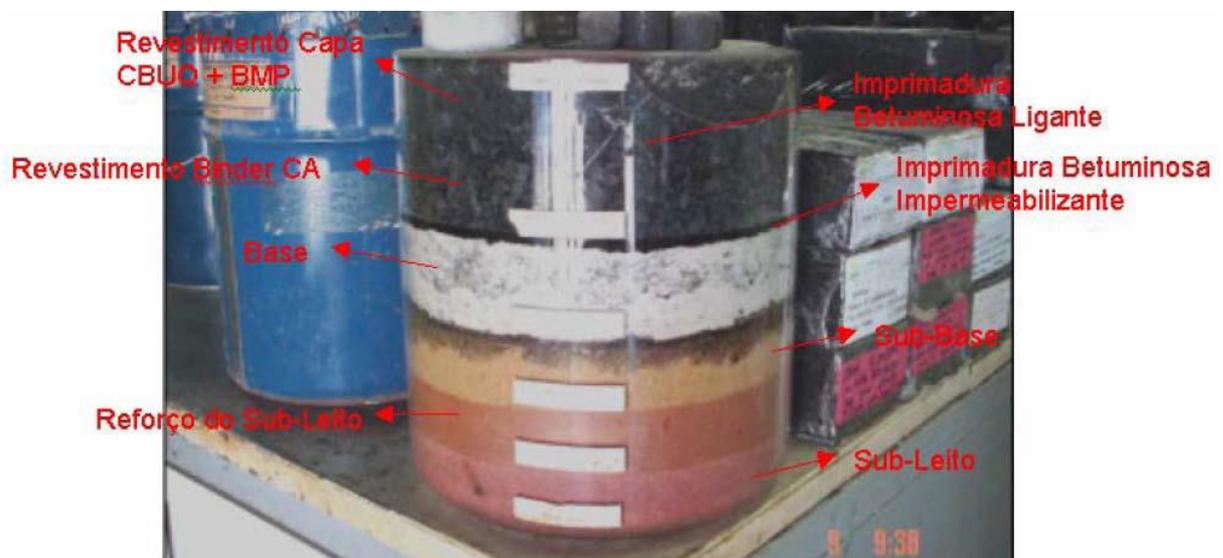
4.2.2 Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ)

O CBUQ é um revestimento flexível, resultante da mistura á quente em usina própria. Com características específicas compostas de agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e ligante betuminoso, dosado, espalhado e comprimido a quente. A mistura é feita com rigoroso controle de granulometria, teor de betume, temperaturas do agregado, transporte, estabilidade, aplicação e compressão, sendo o serviço de mais acurado controle dos que compõem as etapas de pavimentação, este tipo de pavimento é considerado um revestimento nobre. (DNER-ES 313/97).

O ligante betuminoso pode ser um cimento asfáltico, ou um cimento asfáltico modificado, e suas principais funções são: atuar como um elemento de ligação, colando as partículas minerais; transformando em agente impermeabilizante do pavimento. (MENDES; NUNES, 2009).

Na FIG. 29, demonstra o corpo de prova de um pavimento flexível, mostrando a camada de revestimento CBUQ.

Figura 29 – Corpo de prova mostrando a camada de revestimento CBUQ.



Fonte: MENDES; NUNES, (2009, p.35).

O ligante asfáltico apresenta grande variação na sua consistência quando é submetido à temperaturas abaixo de 100°C ou acima de 165°C, temperatura esta que pode influenciar no desempenho do pavimento. Se aplicarmos uma mistura asfáltica em um pavimento com uma

temperatura abaixo de 100°C, esse revestimento não vai conseguir uma compactação necessária para atender as necessidades dos esforços causados pelos veículos, podendo ocorrer futuramente possíveis trincas e futuros buracos. Já aplicando o CBUQ (Concreto betuminoso usinado a quente) com temperatura acima de 165°C, a massa provavelmente irá queimar, perdendo assim as propriedades do ligante asfáltico CAP (Cimento asfáltico de petróleo), fazendo com que o agregado da mistura se solte facilmente. (MENDES; NUNES, 2009).

O CBUQ deve ser aplicado no pavimento com asfalto à quente acima de 100°C, e é imprescindível que a temperatura esteja como na especificação do projeto, pois, quando está na temperatura correta tem a vantagem de que logo depois de compactada e fria, já pode ser submetida imediatamente ao tráfego. (CASTRO, UFMG).

Segundo Filho (2009), a diferenciação de betume e asfalto é:

- Asfalto: material aglutinante de consistência variável, cor pardo-escuro ou negro, no qual o constituinte predominante é o betume. Encontra-se na natureza em jazidas ou pode ser obtido pelo refino do petróleo.
- Betume: mistura de hidrocarbonetos obtidos em estado natural ou por diferentes processos físicos ou químicos, tem poder aglutinante e impermeabilizante.

Segundo DNER-ES 313/97, o concreto betuminoso usinado a quente poderá ser empregado como: revestimento, base, regularização ou reforço do pavimento.

A camada de base do pavimento é imprimada para depois receber a mistura, que depois de comprimida deverá apresentar a espessura de projeto. (CASTRO, UFMG).

“Os serviços de imprimação consistem na aplicação de material betuminoso sobre uma superfície de base granular concluída, antes da execução de um revestimento betuminoso qualquer [...]” (REIS et al., 2010, p. 61).

As camadas devem ter no máximo 7,5 cm de espessura, executada de uma só vez, acima disso, será necessário aumentar o número de camadas, neste caso executa-se uma camada de ligação entre as camadas, que é chamada de Binder. (CASTRO, UFMG). (FIG. 30).

Figura 30 - Corpo de prova extraído da pista mostrando a composição do revestimento asfáltico.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 161).

Neste tipo de revestimento o agregado graúdo pode ser pedra britada, cascalho e escória britada desde que estes se enquadrem nos padrões de qualidade exigidos em projeto. Já o agregado miúdo poderá ser constituído de areia, pó de pedra ou mistura de ambos, e o material de enchimento (filer) poderá ser pó de britagem, cal extinta, cimento Portland. (DNER-ES 313/97).

Equipamentos utilizados devem ser examinados de acordo com a Especificação (DNER-ES 313/97):

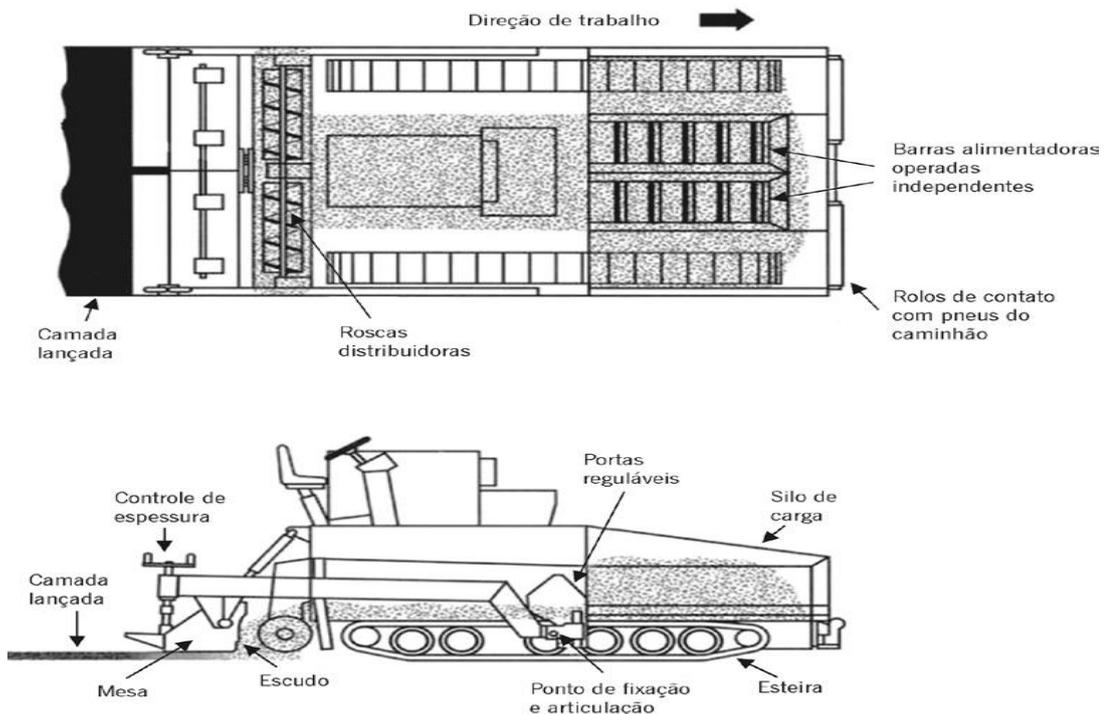
1. Depósito para ligante betuminoso: local onde estão presentes dispositivos capazes de aquecer o ligante, como também evitar o superaquecimento, seguindo especificações de temperatura. É instalado um sistema de recirculação para o ligante, obtendo a circulação contínua, do depósito até o misturador, durante a operação. A capacidade de depósito para o ligante betuminoso tem que ter no mínimo, três dias de serviço.
2. Depósito para agregados: os silos deverão ter capacidade total, de no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e serão divididos em compartimentos, de modo a separar e estocar, as frações apropriadas do agregado. Cada compartimento deverá possuir dispositivos apropriados de descarga. Haverá um silo adequado para o filer, com dispositivo para sua dosagem.
3. Caminhões para transporte das misturas: para o transporte do material betuminoso, caminhões basculantes, deverão ter caçambas metálicas robustas, limpas e lisas, lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, para evitar a aderência da

mistura às chapas. A utilização de produtos como: óleo, diesel, gasolina, não serão permitidos, pois, são susceptíveis de dissolver o ligante betuminoso.

4. Equipamento para espalhamento: o equipamento para espalhamento e acabamento deverá ser pavimentadoras automotrizes ou vibroacabadoras, capazes de espalhar e aderir à mistura ao alinhamento. As acabadoras deverão ser equipadas com parafusos sem fim, para inserir as misturas exatamente nas faixas, deverão também possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, marchas para frente e para trás, ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

A FIG. 31 e FIG. 32 mostra uma vibroacabadora de esteiras com suas funções e um tipo da mesma.

Figura 31 - Esquema de fluxo de mistura asfáltica em uma vibroacabadora de esteiras.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 388).

Figura 32 - Tipo de vibroacabadora.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p.388).

5. Equipamento para a compressão: o equipamento para a compressão utilizado será o rolo pneumático ou rolo metálico liso, tipo tandem (FIG. 33) ou rolo vibratório (FIG.34). Os rolos pneumáticos, autopropulsores, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm² (35 a 120 psi).

Figura 33 - Rolo pneumático e Rolo tandem liso.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 390).

Figura 34 – Rolo vibratório.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 391).

6. Execução: sendo decorridos mais de sete dias entre a execução da imprimação e a execução do revestimento, se houver trânsito sobre a superfície imprimada ou a imprimação for recoberta com areia, pó de pedra, etc; deverá ser feita uma pintura de ligação.

A temperatura do cimento asfáltico empregado na mistura deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura - viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o asfalto apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 150 segundos, o método “Saybolt-Furol” (DNER –ME 004), indica a viscosidade de 85 a 95 segundos. Portanto, a temperatura do ligante não deve ser inferior a 107°C e nem exceder a 177 °C.

7. Produção do CBUQ: a produção do concreto betuminoso usinado a quente é feito em usinas próprias, que serão descritas no próximo tópico.

8. Transporte do CBUQ: o transporte será feito em caminhões basculantes como especificado na norma, onde o concreto betuminoso produzido deverá sair da usina até o ponto de aplicação. Para que a mistura seja colocada na pista à temperatura especificada, cada carregamento deverá ser coberto com lona ou outro material aceitável, com tamanho suficiente para proteger a mistura, quando necessário.

9. Distribuição e compressão da mistura: a distribuição do concreto betuminoso é feita por máquinas acabadoras. Se ocorrerem irregularidades na superfície da camada, o concreto betuminoso deverá ser espalhado por meio de ancinhos e rodos metálicos. Após a distribuição do concreto betuminoso, dá-se início a rolagem, a temperatura de rolagem é a mais elevada que a mistura betuminosa, temperatura essa, especificada para cada caso.

Se forem empregados rolos de pneus, de pressão variável, inicia-se a rolagem com baixa pressão a qual será aumentada à medida que a mistura vai sendo compactada, e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

A compressão será iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, de acordo com a superelevação, a compressão deve começar sempre do mais baixo para o ponto mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte, em pelo menos metade da largura rolada. Em qualquer caso, a operação de rolagem perdurará até o momento em que seja atingida a compactação especificada.

Durante a rolagem não serão permitidas: mudanças de direção, inversões bruscas de marcha, estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-rolado. As rodas do rolo deverão ser umedecidas, de modo a evitar a aderência da mistura.

10. Abertura ao tráfego: os revestimentos recém-acabados deveram ser mantidos sem tráfego, até seu completo resfriamento.

4.2.3 Revestimento Betuminoso com a utilização de Polímeros

Atualmente o asfalto convencional, satisfaz relativamente às condições do tráfego com a aplicação de misturas asfálticas, porém o volume de transportes pesados e comerciais vem ocupando o trecho, diminuindo assim a vida útil de tal pavimento. Para solução deste fato, foi necessário o uso de modificadores nas propriedades asfálticas, e um tipo de modificador da mistura tem como nome, polímeros, que melhora o desempenho do ligante. BERNUCCI et al., (2008).

Os asfaltos modificados com polímeros dão à mistura alta flexibilidade, coesão e durabilidade, incrementando a resistência dos agregados ao arranque, sob a ação dos esforços tangenciais gerados pelas cargas oriundas do tráfego, ao longo da sua vida útil. (GUSMÃO, 2009).

Segundo o mesmo autor, a adição de polímeros ao CAP, cimento asfáltico de petróleo melhora suas propriedades elásticas conseguindo maior estabilidade ao pavimento. Ao estabelecer a comparação entre o asfalto puro e o modificado, conclui-se que CAP's modificados por polímeros reduzem a susceptibilidade térmica e a deformação permanente causada pelo grande número de solicitações de cargas induzidas pelo tráfego, que por sua vez aumenta a vida útil dos pavimentos.

Para entender melhor o que é revestimento betuminoso com a adição de polímeros é necessário a definição de polímeros. Polímeros (do grego muitas partes) são macromoléculas (“grandes moléculas que resultam no encadeamento de dez mil ou mais átomos de carbono, unidos pela ligação covalente”, podendo ser naturais: madeira, borracha, lã, asfalto; ou sintéticas: plásticos, borrachas, adesivos). Os polímeros aceleram o comportamento reológico do asfalto conferindo elasticidade e melhorando suas propriedades mecânicas. BERNUCCI et al., (2008).

Quanto ao seu comportamento, frente às variações térmicas, os polímeros são classificados em categorias como sugerido por Dumke, 2005:

- Termorrígidos: são aqueles que não se fundem, degradam numa temperatura limite e endurecem irreversivelmente quando aquecidos a uma temperatura que depende de sua estrutura química. Apresentam cadeias moleculares que formam rede tridimensional que resiste a qualquer mobilidade térmica. Por exemplo: resina epóxi, poliéster, poliuretano.
- Termoplásticos: são aqueles que se fundem e se tornam maleáveis reversivelmente quando aquecidos. Normalmente consistem de cadeias lineares, mas podem ser também ramificadas. São incorporados aos asfaltos à alta temperatura. Por exemplo: polietileno, polipropileno, PVC;
- Elastômeros: são aqueles que, desde que vulcanizados, apresentam propriedades elásticas. Quando aquecidos, decompõem-se antes de amolecer. Não vulcanizados apresentam comportamento plástico. Por exemplo: SBR (estireno butadieno);
- Elastômeros termoplásticos: são aqueles que, a baixa temperatura, apresentam comportamento elástico, mas quando aumenta a temperatura passam a apresentar comportamento termoplástico. Por exemplo: SBS (Estireno butadieno estireno) e EVA (Etileno acetato de vinila). Os asfaltos mais adequados às condições brasileiras no que diz respeito a resistência à fadiga são os modificados por polímeros SBS, SBR, BMP e EVA.

Os modificados por polímeros SBS, BMP e EVA são os mais adequados a resistirem à deformação permanente. A escolha do teor e tipo de polímero depende do clima, tráfego e do tipo de serviço desejado.

Suas principais vantagens segundo Marques (2002), são:

- Diminuição da suscetibilidade térmica;
- Melhor característica adesiva e coesiva;
- Maior resistência ao envelhecimento;
- Elevação do ponto de amolecimento;

- Alta elasticidade;
- Maior resistência à deformação permanente;
- Melhores características de fadiga.

Devido a estas vantagens, tem sido muito utilizado em serviços de impermeabilização e pavimentação.

4.2.4 Asfalto Ecológico

O asfalto ecológico, mais conhecido como asfalto borracha, resolve um grande problema ambiental, pois ele é modificado por borracha moída de pneus não mais utilizados, que são empregados em grande volume para melhoria e nobreza das misturas alfálticas. (BERNUCCI et al., 2008).

Esta técnica utilizada em todo o mundo entrou em vigor em 1963, nos Estados Unidos da América, onde Charles Henry Macdonald o chamado “pai” do sistema asfalto borracha, desenvolveu pesquisas de um asfalto com propriedades altamente elásticas na utilização da borracha de pneu moído, melhorando este, quanto a sua durabilidade, flexibilidade e resistência. (FILHO, 2009).

Porém, no Brasil, as aplicações de asfalto borracha em rodovias, iniciaram-se após o ano 2000, sendo os primeiros lugares, o Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro e São Paulo, asfaltando não só trechos de rodovias, como também ruas das cidades locais.

O asfalto borracha é um produto elaborado pela adição de borracha moída de pneu (BMP) ao cimento asfáltico antes de ser misturado ao agregado. A BMP é adicionada a teores de 15 a 25% ao ligante modificando-o permanentemente a temperaturas de 190 °C durante 20 minutos. Sendo utilizado em remendos, selante de trincas e camada de reforço. (FERRARA, 2006).

O asfalto melhora tanto nas propriedades das misturas quanto o desempenho do revestimento asfáltico, aumentando assim a sua vida útil e sua segurança, com um preço razoável e pouca necessidade de manutenção. Ele possui alta elasticidade, diminuição das trepidações, aumento da segurança nas freadas, resistência ao envelhecimento como presença de anti-oxidantes e carbono na borracha dos pneus que auxilia na redução do envelhecimento por oxidação. Tem como vantagem excelente relação benefício e custo. (PETROBRÁS).

O ligante modificado por borracha de pneus apresenta também as seguintes vantagens técnicas segundo, (FERRARA, 2009):

- Redução da suscetibilidade térmica: misturas com a utilização do ligante asfalto borracha são mais resistentes às variações de temperatura, pois, o seu desempenho tanto em altas temperaturas como em baixas temperaturas é melhor quando comparado aos pavimentos construídos com ligante convencional (uso do CBUQ);
- Aumento da flexibilidade: maior concentração de elastômeros na borracha de pneus;
- Melhor adesividade aos agregados;
- Maior resistência à propagação de trincas e à formação de trilhas de roda;
- Melhor aderência pneu-pavimento;
- Redução do ruído provocado pelo tráfego.

Segundo Filho (2009), há também uma desvantagem em relação ao asfalto ecológico ou asfalto-borracha. Ele é produzido em usinas próprias que quando em maiores temperaturas para juntar a borracha e o asfalto convencional (CBUQ), há um percentual de poluição ao meio ambiente, poluição esta que não se compara ao benefício de dar fim à pneus inutilizados.

Para Ferrara (2006), a borracha utilizada para modificação do asfalto é composta de borracha natural, borracha sintética e negro de fumo. Quanto menor o tamanho das partículas da borracha, mais fácil se torna a sua incorporação ao asfalto, fazendo com que possua maior compatibilidade e, conseqüentemente, maior estabilidade quanto à estocagem.

A adição da borracha ao ligante deve ser executada em reator especial (Terminal Blend) por via úmida, e através de um processo físico químico adequado, somente desta forma é possível chegar à mistura estável de asfalto-borracha. (FERRARA, 2006).

Segundo o mesmo autor, para obtenção do pó de borracha, existem três tipos: processo de moagem a frio, regeneração e criogenia.

O processo de moagem é o mais utilizado no mundo todo, realizado de forma que o pneu seja cortado em pedaços de aproximadamente 6 a 10 cm, o atrito gerado durante o processo aumenta a temperatura da borracha, tendo como principal objetivo a redução do tamanho das partículas e retirada do aço e nylon ali existentes; onde o aço é removido por meios magnéticos e o nylon é removido por peneiramento e aspersão.

O processo de regeneração, como o próprio nome dito, é a regeneração dos pneus inservíveis, que pretende a separação da borracha vulcanizada de outros componentes como, por exemplo, metais e tecidos. Os pneus são cortados em lascas e purificados por peneiras. As

lascas são moídas e submetidas á digestão em vapor e produtos químicos, como álcalis e óleos minerais para o processo de desvulcanização.

Criogenia é feito com a utilização de nitrogênio líquido e com congelamento, onde o pneu será esmagado e congelado, até que se cumpra a granulometria desejada.

Dos três processos citados acima, a moagem a frio é o mais utilizado, pelo seu custo ser inferior ao processo de regeneração e criogenia, tanto para instalações quanto para operações. (FERRARA, 2006).

Os equipamentos necessários para a usinagem do Asfalto Borracha segundo Ferrara, 2006, são:

- Equipamento de secagem e aquecimento de agregado, capaz de eliminar a umidade do mesmo, de aquecê-lo e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;
- Moedor ou triturador de borracha (para transformar os pneus em borracha moída);
- Tambores magnéticos, responsáveis por separar os metais que constituem os pneus;
- Equipamento misturador, capaz de efetuar uma mistura homogênea e intimamente ligada entre o agregado mineral, a borracha moída e o material betuminoso;
- Silos para armazenagem dos agregados minerais e da borracha moída;
- Tanques para armazenagem de Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP);
- Tanques térmicos para armazenagem da mistura já pronta.

A FIG. 35 apresenta pneus sendo levados por esteiras, para chegar ao processo de moagem; na FIG. 36, o pneu sendo moído e tambores magnéticos separando o aço contido no pneu. A borracha do pneu moído, pronta para ser usada na mistura. (FIG. 37).

Figura 35 - Pneus sendo levados através de esteiras para a moagem.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 54).

Figura 36 - Pneu no moedor e tambores magnéticos separando o aço contido nos pneus da borracha



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 54).

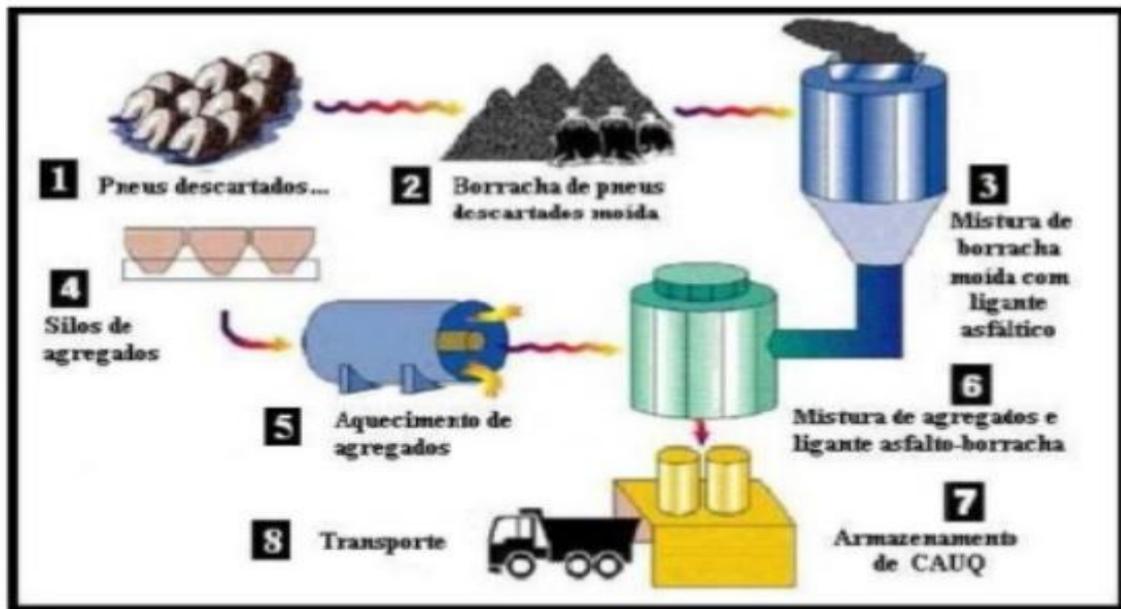
Figura 37 - Borracha proveniente do pneu, pronta para ser usinada e inserida no CBUQ.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 55).

FIG. 38 representa o processo e as etapas de uma usina de borracha, dos pneus inservíveis até a fase de transporte do material levado ao local a ser inserido no pavimento.

Figura 38 - Funcionamento de uma usina de borracha



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 53).

Equipamentos necessários para execução do asfalto borracha segundo, Mendes e Nunes, 2009:

- Caminhão-caçamba - veículos para transporte dos materiais (FIG. 39);
- Caminhão espargidor - equipamento de aquecimento do material betuminoso, capaz de aquecer e mantê-lo dentro dos limites especificados de temperatura;
- Termômetro - controle de temperatura do material betuminoso e do agregado;
- Soquetes manuais;
- Rolo pneumático, rolo metálico liso tipo tandem, rolo liso vibratório: equipamentos para compactação do pavimento, os rolos pneumáticos, autopropulsores, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5kgf/cm² a 8,4kgf/cm² (35 a 120 psi), devendo estar de acordo com as especificações do fabricante, afim de não deixar marcas de pneu no asfalto, que possam comprometer o acabamento;
- Ferramentas de pequeno porte: pás, garfos, ancinhos, enxadas, vassoura, rastelo, carrinho de mão;
- Usinas misturadoras móveis, vibroacabadoras e soquetes mecânicos: poderão ser utilizados quando existir necessidade.

Figura 39 - Vibroacabadora de asfalto recebendo a mistura asfalto-borracha de um caminhão caçamba.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 49).

A FIG. 40 apresenta a aplicação do asfalto borracha em uma vibroacabadora; na FIG. 41 a compactação do asfalto borracha por um rolo pneumático e a FIG. 42, a compactação do asfalto borracha por um rolo liso ou chapa.

Figura 40 - Vibroacabadora espalhando o Asfalto Borracha.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 49).

Figura 41 - Rolo Pneumático compactando a mistura.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 50).

Figura 42 - Rolo de chapa compactando e dando o acabamento final do Asfalto Borracha recém aplicado.



Fonte: MENDES E NUNES, (2009, p. 50).

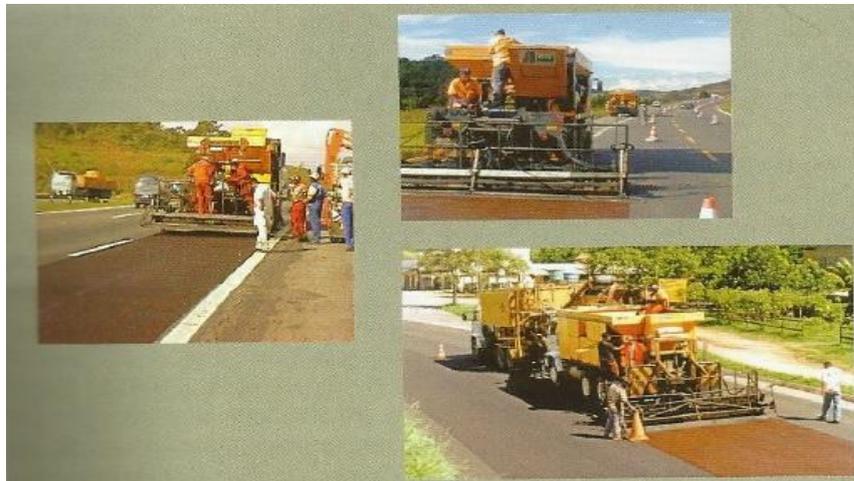
O monitoramento feito em pistas, nos Estados Unidos, nos últimos 40 anos aponta para uma durabilidade que é o dobro da encontrada nos pavimentos construídos com ligantes convencionais (CBUQ), um dos fatores influentes nessa caracterização é o retardamento da reflexão de trincas, onde pavimentos construídos com asfalto borracha chega a ser 3 vezes menor que nos pavimentos convencionais, ou seja, as trincas levam 3 vezes mais tempo para aparecer na superfície do revestimento asfáltico. (MENDES e NUNES, 2009).

Segundo o mesmo autor é possível constatar devido a simuladores e ao monitoramento, a análise de pavimentos asfálticos que medem a fadiga e a deformação permanente, ou seja, trilhas de rodas, simulando a vida útil.

4.2.5 Microrevestimento Asfáltico

Esta técnica surgiu na Europa no ano 1970 e a partir daí se espalhou pelo mundo todo. O microrevestimento asfáltico (MRAF), FIG. 43, derivou-se do sistema chamado lama asfáltica, porém com um emprego mais amplo utilizando emulsões modificadas com polímero para aumentar a sua vida útil, reabilitando pavimentos de médio a alto tráfego funcionalmente. (REIS et al., 2010).

Figura 43 - Aplicação de microrevestimento asfáltico em rodovia de tráfego pesado com restauração funcional.



Fonte: BERNUCCI et al., (2008, p. 189).

Ainda de acordo com o autor, o microrevestimento asfáltico, é o resultado da mistura a frio processada em usina móvel especial, de agregado mineral, material de enchimento (fíler), água, emulsão asfáltica modificada por polímero e caso necessário, aditivos químicos para controle da velocidade de ruptura da emulsão e fibras de reforço, para melhoria das propriedades mecânicas de flexibilidade do revestimento.

As emulsões asfálticas modificadas por polímeros conferem ao microrevestimento as seguintes características: menor suscetibilidade térmica com redução dos riscos de exsudação em climas quentes e maior flexibilidade e elasticidade em climas frios, melhores características adesivas ao substrato e na selagem de fissuras e maior resistência ao desgaste e ao envelhecimento da mistura asfáltica. (REIS et al., 2010, p.85).

Segundo Reis et al., (2010), a principal aplicação do MRAF é na manutenção de pavimentos que necessitam de rejuvenescimento, aderência pneu-pavimento, é utilizado também como camada de revestimento final de pavimentos flexíveis ou rígidos, bases granulares ou recicladas e como camadas para a redução da espessura de reforço; selando trincas e fissuras. (FIG. 44), (FIG. 45).

Figura 44 - Pavimento asfáltico a ser restaurado antes da aplicação do microrevestimento asfáltico.



Fonte: REIS et al., (2010, pag. 84).

Figura 45 - Aplicação de microrevestimento asfáltico em via urbana expressa.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 91).

Vantagens do MRAF segundo Reis et al., 2010:

- Durabilidade superior à da lama asfáltica convencional;
- Oferece boas condições de drenagem superficial;
- Melhora a visibilidade do usuário e os índices de conforto e de segurança;
- Corrige os defeitos superficiais, através do enchimento das trilhas de roda e selagem das trincas;
- Redução da espessura do revestimento asfáltico de reforço estrutural, quando empregada como camada intermediária;
- Preserva a estrutura do pavimento, pela diminuição da entrada de água e ar no pavimento;
- Alta produtividade e mínima perturbação ao tráfego;
- Rapidez na execução e liberação dos serviços, evitando congestionamentos durante a operação;
- Excelente adesão ao pavimento;
- Melhoria das condições de meio ambiente e saúde (SMS), pela técnica ser empregada à temperatura ambiente, não contendo solventes derivados de petróleo e sem riscos de explosões.

A FIG. 46 apresenta a aplicação do microrevestimento asfáltico, antes e depois da cura e a FIG. 47, uma usina móvel para a sua aplicação.

Figura 46 - Textura superficial do MRAF.

A) Antes da cura

B) Depois da cura



Fonte: REIS et al., (2010, p. 91).

Figura 47 - Usina móvel para aplicação do MRAF e detalhe da sua caixa distribuidora.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 91).

O ganho estrutural é mínimo ou inexistente na tecnologia microrevestimento asfáltico, esse material não tem a função de corrigir problemas estruturais, caso haja buracos, ondulações, é necessário que se faça a manutenção corretiva para cada caso; a técnica é utilizada para o melhoramento da rugosidade do revestimento. Como qualquer técnica, o microrevestimento asfáltico também necessita de ensaios, a dosagem é obtida de acordo com as recomendações da International Slurry Surfacing Association (ISSA). (BERNUCCI et al., 2008; REIS et al., 2010).

4.2.6 Tratamentos Superficiais

São os revestimentos betuminosos por penetração invertida com aplicação de material betuminoso seguida de espalhamento e compressão de agregado de granulometria apropriada. Sua espessura é aproximadamente igual ao diâmetro do agregado empregado. Pode ser executado com os objetivos de impermeabilização, modificar a textura de um revestimento existente ou como revestimento final de um pavimento. (MARQUES, 2002, p. 150).

Os tratamentos superficiais compreendem uma família de revestimentos de superfície, que inclui o tratamento superficial propriamente dito, a capa selante, o tratamento antipó, a lama asfáltica e os macadames betuminosos. (LARSEN, 1992, apud RABÊLO, 2006, p. 17)

Conforme esse pesquisador, o que existe em comum para essa família de revestimentos são suas reduzidas espessuras e a modalidade de aplicação dos materiais, que são espalhados separadamente, sendo o envolvimento do agregado (quando houver) pela penetração do ligante.

Reis et al., (2010), define que o tratamento superficial é um revestimento flexível composto pela aplicação simples, (Tratamento Superficial Simples) ou múltipla, (Tratamento Superficial Duplo e Tratamento Superficial Triplo) de ligante asfáltico e agregados, que na maioria das vezes são espalhados alternadamente dando-se o nome de tratamento superficial por penetração e tratamento antipoeira.

Este tipo de serviço, é executado a frio no local da obra, tem grande economia de energia nos processos executivos e economia nas operações de transporte e estocagem de materiais. (REIS et al., 2010).

Segundo a especificação de serviço rodoviário ES-P 1805, tratamentos superficiais por penetração podem ser classificados em três tipos, envolvendo aplicações alternadas de ligante asfáltico e agregados minerais:

- Penetração direta: forma de penetração do ligante, que é espargido sobre a camada de agregado mineral;
- Penetração indireta: forma de penetração do ligante, que é espargido antes da camada de agregado mineral;
- Penetração mista: forma de penetração do ligante, que é espargido parte da taxa de ligante betuminoso antes da aplicação da camada de agregado mineral seguida de outra parte da taxa de ligante sobre a camada de agregado.

Para que seja feita a aplicação de agregados e ligantes, é necessário um bom preparo da superfície, executando limpeza, sinalização adequada devido a normas de segurança em rodovias, autorização e licenciamento ambiental, aprovação do projeto de dosagem e calibragem do equipamento espargidor pelo DER. Em dias de chuva e em clima inferior a 10° não é permitido a execução deste serviço. Portanto, qualquer carregamento de ligante que chegar à obra deve possuir certificado de análise, procedência, tipo, quantidade e distância de transporte entre a refinaria ou fábrica e o canteiro de serviço.

A FIG. 48 se refere ao exemplo da aplicação de agregado para o tratamento superficial e a FIG. 49, a aplicação de emulsão asfáltica com caminhão espargidor. A FIG. 50 apresenta a aplicação da taxa de agregado com distribuidor.

Figura 48 - Distribuidor de agregado para tratamento superficial.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 72).

Figura 49 - Aplicação da taxa de emulsão asfáltica com caminhão espargidor.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 73).

Figura 50 - Aplicação da taxa de agregado com distribuidor.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 73).

A FIG. 51 mostra o tratamento superficial com rolo pneumático.

Figura 51 - Acomodação do tratamento superficial com rolo pneumático.



Fonte: REIS et al., (2010, p. 73).

As principais funções do tratamento superficial são as de proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência contra desgaste; proteger a infraestrutura do pavimento; proporcionar um revestimento antiderrapante; e proporcionar um revestimento de alta flexibilidade que possa acompanhar deformações relativamente grandes da infra-estrutura, sem praticamente ocorrer o trincamento por fadiga. (LARSEN, 1992, apud RABÊLO, 2006, p.17).

Segundo Bernucci et al., (2008), as principais funções do tratamento superficial são:

- Executar o método para que a camada de rolamento tenha pequena espessura, mais alta resistência ao desgaste;
- Impermeabilizar o pavimento;
- Proteger a infra-estrutura do pavimento;
- Proporcionar um pavimento antiderrapante;
- Proporcionar alta flexibilidade no revestimento, onde possa acompanhar as deformações da infraestrutura.

A utilização dos tratamentos superficiais como revestimento de superfícies não se limita apenas às estradas de baixo volume de tráfego, sendo também utilizado em rodovias de trânsito intenso e de alta velocidade, bem como na conservação de revestimentos betuminosos. Conhecido por sua versatilidade, o tratamento superficial constitui-se em uma capa econômica de baixo consumo de energia, destacando-se pelo seu baixo consumo de matéria-prima e pela sua rápida execução. O tratamento superficial pode ainda ser utilizado para complementar o rejuvenescimento de asfaltos envelhecidos e melhorar a aderência entre

o pneu e o pavimento. Possui como desvantagens não oferecer substancial resistência estrutural ao pavimento, dada a sua reduzida espessura, e não corrigir imperfeições transversais e longitudinais que eventual possam ocorrer na pista de rolamento (RABÊLO, 2006).

De acordo com o número de camadas sucessivas de ligantes e agregados, tem-se:

- Aplicação simples:
 - TSS – Tratamento Superficial Simples;
- Aplicação múltipla:
 - TSD – Tratamento Superficial Duplo;
 - TST – Tratamento Superficial Triplo.

O tratamento simples inicia-se, obrigatoriamente, pela aplicação única do ligante, que é coberto logo em seguida por uma única camada de agregado, onde o ligante penetra de baixo para cima (penetração invertida). O tratamento múltiplo inicia-se em todos os casos comuns, pela aplicação do ligante que penetra de baixo para cima na primeira camada de agregado, enquanto a penetração das seguintes camadas de ligante é tanto invertida como direta. (RABÊLO, 2006).

4.2.6.1 Tratamento Superficial Simples

O Tratamento Superficial Simples como o próprio nome já diz, quando há uma aplicação única do ligante asfáltico ou material betuminoso, que posteriormente será coberto por uma camada de agregado, a penetração do asfalto é de baixo para cima, chamada penetração invertida. (BERNUCCI et al., 2008, apud MARQUES, 2002, p. 152).

Segundo Senço (1929), “tratamento superficial simples é uma camada de agregado e uma pintura de betume”.

A utilização deste método tem por função, melhorar as condições de um pavimento existente como, por exemplo, um pavimento liso e derrapante; rejuvenescer um pavimento antigo, ressecado e gasto. (MARQUES, 2002, p. 152).

Segundo Marques (2002), os agregados deveram estar limpos, sem presença de pó para que não prejudique a adesão do betume; as partículas de agregados menores são cobertas pelo betume, já as maiores devem possuir sua forma cúbica ou piramidal, porque caso elas

não sejam aderidas pelo betume ou ligante pode causar “ricochete” perigoso ao tráfego. Os tipos mais usados de agregados são; pedra britada, escória britada e cascalho, seixos rolados.

Segundo o mesmo autor, os ligantes possuem fatores que influenciam em sua escolha que são: temperatura da superfície, temperatura ambiente, umidade, vento, tipos de condições do agregado e equipamentos utilizados. Os materiais betuminosos mais utilizados são:

- Cimento asfáltico do petróleo, tipo CAP-7 e CAP-150/200;
- Asfalto diluído, tipo CR-250;
- Emulsão asfáltica, RR-2C.

Os equipamentos utilizados no tratamento superficial simples, segundo Marques (2002) são:

1. Distribuidor de betume sob pressão: Veículos com tanques de estocagem de material betuminoso, tanques estes com condutores, termômetros, anteparos de circulação, porta de visita, tubo de ladrão. O tanque necessita de bombas para enchê-lo, circular o material na barra espargidora, conduzir o material da barra espargidora para o tanque e bombear o material do tanque para o recipiente de armazenamento.
2. Espalhador de agregados: pode ser feito através da portinhola traseira do caminhão basculante, espalhador giratório, espalhador mecânico (Spreader), espalhador de agregado auto propulsor.
3. Rolos compressores: Preferência para rolos pneumáticos. Os rolos tandem liso normalmente são evitados, pois as rodas lisas formam espécie de ponte sobre as partículas maiores causando pequenas depressões. Podem esmagar partículas maiores causando deterioração do revestimento. A compactação deve ser feita até garantir a retenção do agregado no material betuminoso. A compactação deve ser paralisada quando houver esmagamento.

O tratamento múltiplo tem a função de aplicação do ligante asfáltico que penetra de baixo para cima na primeira camada de agregado, enquanto que nas outras camadas seguintes a penetração é tanto invertida como direta. (BERNUCCI et al., 2008).

Segundo Bernucci et al., 2007, os tratamentos múltiplos se dividem em:

- Tratamento superficial duplo (TSD);
- Tratamento superficial triplo (TST).

4.2.6.2 Tratamento Superficial Duplo

O Tratamento Superficial Duplo é um tipo de revestimento por penetração executado da seguinte maneira: duas aplicações de ligante asfáltico, cobertas cada uma por agregado mineral, sendo a primeira de agregado graúdo e a segunda de agregado miúdo, na execução de cada camada é feita a operação de compressão e acabamento. As propriedades dos ligantes e agregados, os equipamentos assim como os controles são os mesmos indicados para o Tratamento Superficial Simples. (MARQUES, 2002, p. 157).

O tratamento superficial duplo tem sido considerado o revestimento mais utilizado seguido pelo CBUQ, justamente pela questão do custo ser menor. (Castro, UFMG).

Segundo Senço (1929), “tratamento superficial duplo são duas camadas de agregado e duas pinturas de betume”.

4.2.6.3 Tratamento Superficial Triplo

Camada de rolamento composta de material betuminoso e agregado na qual o agregado graúdo é aplicado uniformemente sobre uma aplicação inicial de material betuminoso e seguido de duas aplicações subsequentes de material betuminoso coberto respectivamente por agregados médios e miúdos. (MARQUES, 2002, p. 158).

Segundo Senço (1929), “tratamento superficial triplo são três camadas de agregado e três pinturas de betume. É o mais utilizado para pavimentação”.

Três aplicações de material asfáltico, cobertas cada uma por agregado mineral, sendo a primeira de agregado graúdo, a segunda de agregado médio e a última de miúdo, na execução de cada camada é feita a operação de compressão e acabamento.

4.2.7 Lama Asfáltica

Segundo DNER-ES 314/97, lamas asfálticas, consiste de uma associação, em consistência fluida, de agregados minerais ou agregados miúdos, material de enchimento ou

fíler, emulsão asfáltica e água, uniformemente misturadas e espalhadas no local da obra em uma superfície previamente preparada.

Sua principal aplicação, FIG. 52, é na manutenção de pavimentos, em revestimentos asfálticos com pequeno grau de trincamento e em revestimentos envelhecidos e desgastados superficialmente, pela ação do tráfego e do clima. (BERNUCCI et al., 2008).

È feito a aplicação de uma capa selante, para resultar em uma impermeabilização e rejuvenescimento da superfície de rolamento. Este material não corrige irregularidades profundas, pois caso exista desgaste maior, faz parte da manutenção estrutural daquela superestrutura. (BERNUCCI et al., 2008).

Figura 52 - Aplicação da lama asfáltica



Fonte: REIS et al. (2010, p. 81).

A técnica é recomendada para acostamento de rodovias, vias urbanas e secundárias ou que suportam tráfego baixo ou médio, apresentando desempenho limitado ao longo do seu tempo sob tráfego intenso, principalmente pela redução das condições de aderência pneu-pavimento. Nesse caso pode ser utilizada como revestimento selante antes da aplicação do microrevestimento asfáltico. (REIS et al., 2010).

Segundo Bernucci et al., (2008, p. 185), a lama asfáltica é processada em usinas especiais móveis que têm um silo de agregados e um de emulsão, em geral de ruptura lenta, um depósito de água e um de fíler, que se misturam em proporções preestabelecidas imediatamente antes de serem espalhadas através da barra de

distribuição de fluxo contínuo e tanto quanto possível homogêneo, em espessuras delgadas de 3 a 4 mm, sem compactação posterior.

A especificação correspondente é a DNER-ES 314/97, a dosagem da lama asfáltica é realizada segundo as recomendações da ISSA- International Slurry Surfacing Association.

Caso seja requerida tecnicamente em áreas tais como estacionamentos, aeroportos, recomenda-se o emprego do rolo pneumático de 10t com pressão máxima de 80 lb/in², equipado com o sistema de aspersão de água e de limpeza das rodas. (REIS et al., 2010).

Vantagens segundo, Reis et al., 2010:

- Fácil execução e elevada produtividade;
- Minimiza a frequência de interdição da via para grandes manutenções (tapa-buracos);
- Reduz a perda de agregados pela passagem do tráfego;
- Gera textura superficial apropriada para pinturas de sinalização;
- Impermeabiliza a superfície do revestimento, impedindo a entrada de água para as camadas subjacentes;
- Minimiza as repercussões junto aos dispositivos de drenagem (meio-fio, boca de lobo, etc.), bem como aos passeios, comparativamente a outras soluções de restauração;
- Rejuvenesce a textura, melhorando as características estéticas e, principalmente, antiderrapantes (devido ao seu alto coeficiente de atrito) em vias urbanas e secundárias;
- A lama asfáltica é compactada pelo próprio tráfego;

4.2.8 Camada Porosa de Atrito (CPA)

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.

As principais característica dessa mistura asfáltica, 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.

A FIG. 53 e FIG 54 expõe a diferença de duas misturas asfálticas em uma faixa de rolamento em dia chuvoso, no primeiro trecho CA (concreto asfáltico) denso, percebe-se a presença de água na superfície, no segundo trecho CPA camada porosa de atrito, executada sobre uma camada de mistura densa e estrutural, não se observa o mesmo; esse tipo de revestimento é responsável pela coleta de água da chuva para seu interior que é capaz de percolar rapidamente até a chegada das sarjetas, por isso é considerado um revestimento permeável.

Figura 53 - Trecho em concreto asfáltico seguido por trecho CPA.



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

Figura 54 - Trecho em CPA na Bahia.



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

De acordo com Bernucci et al., (2008), a FIG. 55 é o trecho seguido por revestimento CPA, porém a sua camada inferior deve ser necessariamente impermeável para evitar a entrada de água no interior da estrutura do pavimento e consequentemente o contato com o solo. A FIG. 56 mostra a imagem de ensaio de permeabilidade e a FIG. 57 é da textura superficial da camada porosa de atrito.

Figura 55 - Vista geral da pista tendo como revestimento a CPA.



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

“A dosagem destas misturas abertas é realizada com corpos-de-prova compactados no Marshall com 50 golpes por lado”. (BERNUCCI et al., 2008, p. 253).

Figura 56 - Realização de ensaio de permeabilidade.



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

Figura 57 - Textura superficial da Camada Porosa de Atrito.



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

4.2.9 Pavimento Permeável e Sustentável

No Brasil há um crescente impacto nos processos hidrológicos, as cidades se desenvolveram sem o planejamento correto como, por exemplo, o aumento das superfícies impermeáveis. Este fato agravante está causando muitos danos ao país, pelo fato das chuvas catastróficas que causam enchentes. (POLASTRE e SANTOS, 2006).

De acordo com Holtz (2011), uma alternativa para reverter o grande impacto ambiental que a impermeabilização urbana acarreta ao meio ambiente, tanto direta como indiretamente, seria a adoção de tecnologias mais limpas, que permitissem uma maior infiltração da água pluvial, tal como os pavimentos de concreto permeável.

Segundo Polastre e Santos (2006), para uma real solução de todos os problemas descritos surgiu á várias décadas na Europa, nos Estados Unidos, Japão e Chile o pavimento permeável e sustentável. No Brasil ainda está em fase de teste, porém, em abril de 2006 começou a ser construído o Parque Tecnológico de Belo Horizonte, que foi executado ecologicamente correto de caráter inédito na América Latina. A pavimentação do parque foi feita pelo concreto permeável uma vez que diminui o perigo de enchentes e alimenta as nascentes do parque.

É fundamental que o Brasil acompanhe e contribua para esse desenvolvimento. Como ainda são escassas as pesquisas e as referências sobre concreto permeável no Brasil.

Concreto permeável, ou pavimento permeável e sustentável, é um tipo de concreto com alto índice de vazios interligados, preparado com pouca ou nenhuma areia, o que permite a passagem desobstruída de grandes quantidades de água. Se utilizado como pavimentação externa, captura a água da chuva e permite que ela infiltre diretamente no solo, aliviando, assim, o sistema público de drenagem. (POLASTRE E SANTOS, 2006).

A alta permeabilidade (FIG. 58) é, portanto, a principal razão desse material está sendo investigado e produzido nos dias atuais. Quando o concreto permeável é utilizado em pavimentação externa, a água da chuva pode infiltrar diretamente no solo, diminuindo a vazão que segue para o sistema de drenagem urbano. (HOLTZ, 2011).

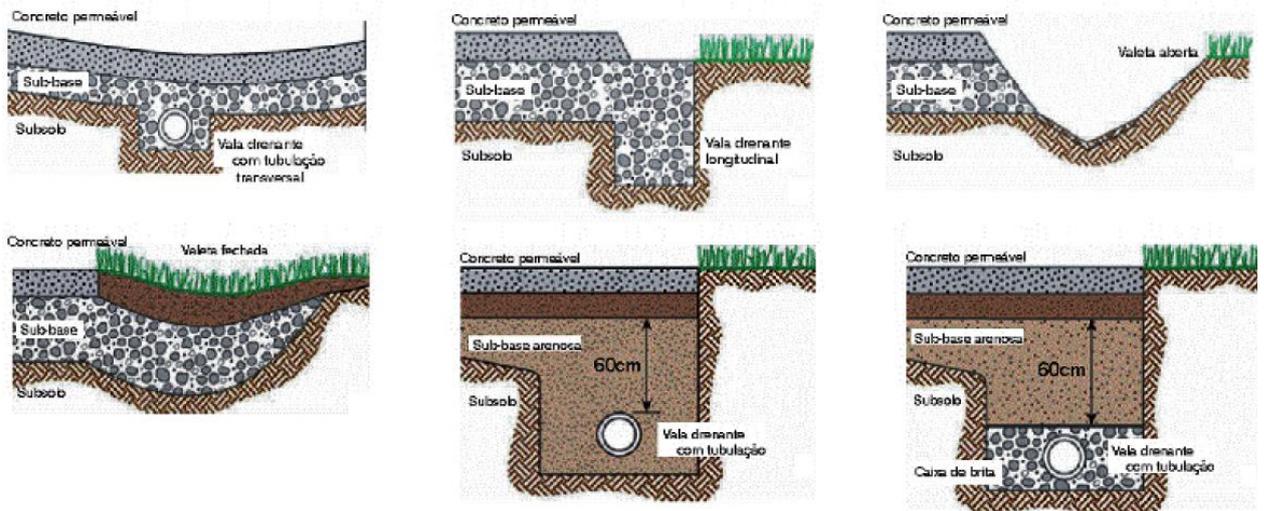
Figura 58 – Corpo de prova extraído de um pavimento permeável



Fonte: POLASTRE E SANTOS, (2006).

Holtz (2011) declara que, além disso, a sua adoção também contribui para a manutenção dos aquíferos subterrâneos e à redução da velocidade e da quantidade do escoamento superficial dessas águas. E, por permitir a infiltração natural das águas pluviais, ele acaba contribuindo para um uso mais eficiente do solo, pois não são mais necessárias obras de drenagem, como pontos de retenção, valas, tubulações e outros mais. (FIG. 59).

Figura 59 – Caracterização das componentes do pavimento permeável.



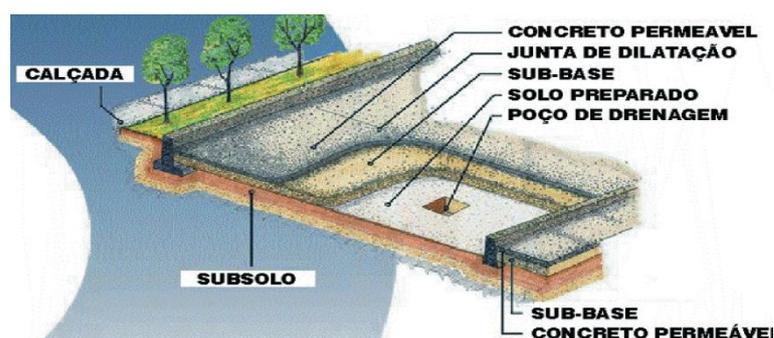
Fonte: POLASTRE E SANTOS, (2006).

O concreto permeável possui outros pontos positivos, tais como (HOLTZ, 2011):

- proporcionar um menor custo durante o seu ciclo de vida;
- absorver menos radiação solar e facilitar a sobrevivência da arborização em áreas pavimentadas, por permitir a chegada de água e ar até as raízes;
- colaborar para reduzir o problema das enxurradas urbanas, que acabam levando uma enorme quantidade de resíduos e poluentes aos corpos de água.

Para garantir a permeabilidade do concreto, Polastre e Santos (2006) mencionam que o concreto deve possuir um alto teor de índice de vazios interligados, com pouca ou nenhuma porção de areia na sua composição, para permitir a percolação de grande quantidade de águas pluviais. A FIG. 60 representa a seção transversal do concreto permeável.

Figura 60 – Seção transversal do concreto permeável.



Fonte: POLASTRE E SANTOS, (2006)

Com o adequado dimensionamento, o grau de permeabilidade é suficiente para permitir a passagem de todo o fluxo precipitado, praticamente anulando o escoamento superficial. A sua porosidade permitiu a passagem de uma quantidade de água que chega a 580 mm/h, o que se traduz em 11,4 a 19 l/min. (HUFFMON, 2005, apud HOLTZ, 2011, p. 42).

De acordo com as ideias de Holtz (2011), para a produção do concreto permeável é muito importante que se formem vazios interligados, fato fundamental para garantir a permeabilidade. Por essa razão, na maioria das misturas, não se utiliza agregado miúdo (areia), sendo o concreto confeccionado apenas com água, cimento e agregado graúdo.

Esse material é um conglomerado, formado por partículas de agregado graúdo recobertas com uma camada razoavelmente espessa de cimento e água. Em alguns casos usam-se pequenas quantidades de areia para aumentar o volume da camada de recobrimento, sem aumentar o custo.

Com essa estratégia geralmente se obtém um material com um índice de vazios entre 15 a 25%, e capacidade de percolação na ordem de 200 l/m²/min. Porém devido à sua alta porosidade, a resistência desse concreto pode ser mais reduzida, quando comparada ao concreto convencional. Por isso seu uso é muitas vezes limitado a áreas de tráfego leve ou pouco intenso.

O mesmo autor citado acima acredita que o pavimento permeável e sustentável recebeu interesse por conta da legislação de controle de qualidade da água resultante do escoamento superficial. Há possibilidade de que, ao optar pela utilização do concreto permeável, seja eliminada a necessidade de grandes obras de drenagem por causa da capacidade desse concreto em infiltrar as águas pluviais diretamente no solo. Em um ambiente urbano, isso representa um ganho ambiental e econômico, elevando o valor da terra.

Segundo Polastre e Santos (2006), o concreto permeável tem uma resistência da ordem de 25 MPa, ou seja, apesar do elevado índice de vazios, o contato entre os agregados graúdos que compõem o esqueleto do concreto permeável, garante uma resistência razoável. A argamassa de cimento garante que os agregados permaneçam unidos, evitando o desmoronamento e dificultando a perda de material por abrasão.

Ainda de acordo com Holtz (2011), os pavimentos de concreto permeável podem ter um custo ao longo da vida útil menor que os pavimentos asfálticos tradicionais. Apesar dos custos iniciais de instalação, que é alto, o mesmo compensa o investimento ao longo do tempo, devido à sua maior durabilidade. Os pavimentos de concreto permeável requerem poucos reparos, em relação ao asfalto, e possuem uma longevidade relativamente alta. (FIG. 61).

Figura 61 – Exemplo de estacionamento feito pelo concreto permeável.



Fonte: POLASTRE E SANTOS, (2006).

A sustentabilidade desse pavimento advém de três características básicas (HOLTZ, 2011, p. 46):

- auxilia na redução do aquecimento terrestre, por permitir a troca de calor entre o subsolo e a superfície;
- é um material reciclável, podendo ser reaproveitado após o seu ciclo de vida;
- pode ser confeccionado com materiais locais.

Em termos de efeitos térmicos, cabe ressaltar que outra vantagem ambiental é minimizar os efeitos de ilha de calor dos centros urbanos, pois é uma pavimentação de material mais claro e que armazena água.

Outro atributo é a sua capacidade de filtragem, pois quando chove, a água percola através do pavimento e parte das impurezas é retida, melhorando a qualidade da água.

Os benefícios estruturais são devido a apresentar pouca ou nenhuma quantidade de agregados miúdos, possui uma textura única na superfície. Ele é comosto por agregados angulares e circulares, como o cascalho e a brita, ficando expostos, acabam por melhorar o poder de tração dos veículos e prevenir derrapagens. (HOLTZ, 2011).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise feita sobre os revestimentos asfálticos, não foi com o intuito de realizar testes, cálculos e análise de resultados e sim com o levantamento da bibliografia sobre o assunto. Foi evidenciado que a última camada a ser construída em uma pavimentação, é o revestimento asfáltico e deve seguir requisitos técnicos de qualidade e um projeto adequado, garantindo a impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade e resistência.

A escolha do pavimento depende da seleção da estrutura mais econômica, considerando as condições de serviço a que está sujeito, os materiais e tecnologias disponíveis para a sua construção. Além disso, o tipo de tráfego é de grande influência para garantir as características estruturais e funcionais.

O revestimento asfáltico é a camada mais nobre, pois a última camada é a destinada à proteger as camadas inferiores e a receber às cargas dos veículos e os intemperismos. Ele torna o pavimento impermeável, melhorando as condições de rolamento, o conforto e a segurança. É a camada construtiva de maior custo das que compõem o pavimento.

O concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é considerado o revestimento mais nobre e convencional de todos os métodos construtivos existentes na pavimentação brasileira. Ele possui um processo construtivo desde o depósito dos materiais até a inserção da massa asfáltica na pista. Constatou-se que seu custo é inferior ao asfalto borracha, pois o asfalto ecológico além de utilizar o concreto asfáltico (CA), faz-se o processo de moagem da borracha dos pneus inservíveis para adicionar à mistura.

Os agregados e ligantes passam por usinas asfálticas resultando em misturas asfálticas; cada mistura com a sua usina própria, a qual apresenta vários tipos e características.

O microrevestimento asfáltico (MRAF) é uma técnica construtiva derivado da lama asfáltica que é utilizado no Brasil desde 1970.

A estrutura que receberá o MRAF não terá ganho estrutural, pois não tem a função de corrigir os problemas estruturais e sim é utilizado para possíveis manutenções. Constatou-se então que, por o MRAF ser a evolução da lama asfáltica, a sua durabilidade é superior.

O tratamento superficial, por ser executado a frio no local da obra, tem grande economia de energia nos processos executivos e no transporte.

Apresenta uma camada de rolamento de pequena espessura e é utilizada para correção de irregularidades, ou seja, há custos menores na quantidade de matérias primas gastas. Mas

devido à sua reduzida espessura, possui a desvantagem de não oferecer resistência estrutural ao pavimento. Porém é de alta resistência contra desgastes e proteção da infraestrutura.

Há também o aumento da segurança dos veículos, pois proporciona um revestimento antiderrapante e de alta flexibilidade, acompanhando deformações na infraestrutura, sem ocorrer o trincamento da superfície.

A camada porosa de atrito (CPA) e o pavimento permeável sustentável são da mesma família pois, apresentam uma elevada capacidade de drenagem. A diferença dos dois é que o CPA é utilizado em rodovias e o pavimento permeável é utilizado em centros urbanos, estacionamentos e em tráfego de veículos leves.

O revestimento betuminoso com a utilização de polímeros surgiu para sanar os problemas do tráfego de veículos pesados que diminui a vida útil da estrutura. Assim houve a busca constante de novos materiais que melhorassem o desempenho dos pavimentos flexíveis, levando ao desenvolvimento e ao uso de asfaltos modificados, que visem ampliar a faixa de utilização dos ligantes asfálticos.

Maior atenção tem sido dada aos pavimentos permeáveis de concreto asfáltico, pois acredita que essa é uma lacuna que necessita ser sanada, pois o concreto permeável pode ter um papel relevantes na melhoria da drenagem das cidades, mitigando os problemas de inundações e colaborando para aumentar a sustentabilidade e reduzir o impacto ambiental.

Isso demonstra que essa nova tecnologia pode de fato ajudar a mitigar as enxurradas, revertendo, pelo menos em parte, o quadro problemático associado com a alta impermeabilização.

Para os concretos permeáveis com matriz cimentícia, o desafio é grande, pois não se tem estudos científicos desse porte sobre o tema, aqui no Brasil. Existe uma carência, também, de estudos que avaliem os eventuais benefícios ambientais e econômicos.

Porém devido à sua alta porosidade, a resistência desse concreto pode ser mais reduzida, quando comparada ao concreto convencional. Por isso seu uso é muitas vezes limitado a áreas de tráfego leve ou pouco intenso, como estacionamentos.

O asfalto borracha é um tipo de revestimento betuminoso com a utilização de polímeros, pelo fato de a borracha ser um tipo de polímero. Essa técnica é necessária, pois, o volume de transportes pesados e comerciais que vem ocupando o trecho, esta diminuindo a vida útil do pavimento. E esse sistema é característico de pavimentos mais resistentes e duráveis.

A lama asfáltica é uma técnica ainda utilizada, mas com o surgimento do MRAF tornou-se menos eficaz.

Os principais tipos de revestimentos betuminosos citados no trabalho, bem como suas características e propriedades estão dispostos a melhorar a aderência pneu-pavimento, reduzir a perda de agregados pela ação do tráfego e proteger a camada de rolamento, são de grande importância para a realização de um projeto final bem feito e com vida útil prolongada.

6 REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 7207. Terminologia e classificação de pavimentação.** Rio de Janeiro, 1982.

BERNUCCI, Liedi Bariani et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros.** 4. Ed. Rio de Janeiro: Abeda, 2008.

CASTRO, Bruno Almeida Cunha, **Construção de estradas e vias urbanas.** 2010. Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER-ES 314/97.** Pavimentação – Lama Asfáltica. Rio de Janeiro. 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - **DNER-ES 313/97.** Concreto Betuminoso. Rio de Janeiro. 1997.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. Especificação de serviços rodoviários **DER/ PR ES-P 1805. Tratamento Superficial.** 2005.

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

DUMKE, Marilan Pedro. **Concreto asfáltico drenante com fibras de celulose, ligante modificado por polímero e asfalto-borracha.** 2005. Tese de Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC – Florianópolis, 2005.

FERRARA, Renata D' Avello, **Estudo comparativo do custo x benefício entre o asfalto convencional e asfalto modificado pela adição de borracha moída de pneus.** 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Anhembí Morumbi, São Paulo, 2006.

FILHO, Antônio Fontana, **Análise Laboratorial de misturas asfálticas abertas usinadas a quente com a utilização de diferentes ligantes**. 2009. Dissertação em Engenharia Geotécnica – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

HOLTZ, FABIANO DA COSTA. **Uso do concreto permeável na drenagem urbana: Análise da viabilidade técnica e do impacto ambiental**. 2011. 139 p.

LOBO, Adriana Verchai de Lima. **Avaliação do uso de agregados miúdos reciclados de concreto em concretos betuminosos usinados a quente**. 2013. Pós-graduação em Engenharia de construção civil – Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2013.

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

MEDINA, J., 1997, **Mecânica dos Pavimentos**. 1ª edição, 380 p. Rio de Janeiro, Editora UFRJ.

MENDES, C. B. A.; NUNES, F. R. **Asfalto Borracha – Minimizando os impactos ambientais gerados pelo descarte de pneus inservíveis no meio ambiente**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção - Civil) – Faculdade Brasileira – UNIVIX – Vitória, 2009.

PETROBRÁS: Asfalto Borracha. Disponível em:

[http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/autoborracha!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ_dQQ_2CbEdFAGNDEBo!/. Acesso em: 10 ago. 2014.](http://www.br.com.br/wps/portal/portalconteudo/produtos/asfalticos/autoborracha!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hLf0N_P293QwP3YE9nAyNTD5egIEcnQ_dQQ_2CbEdFAGNDEBo!/)

POLASTRE B.; SANTOS L. D. **Concreto Permeável**. 2006. Universidade de São Paulo, 2006.

RABÊLO, Antônio Nobre. **Contribuição ao Estudo da Imprimação Betuminosa das Bases Rodoviárias do Estado do Ceará**. 2006. Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes – Universidade Federal do Ceará, 2006.

REIS, Rafael M. Martins et al. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas**. ABEDA. 2. ed. Rio de Janeiro, 2010.

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

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

