

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE

CAMPUS ARACAJU

DEPARTAMENTO DE DESENVOLVIMENTO DE ENSINO

COORDENADORIA DE ENGENHARIA CIVIL

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PHILIPPE RIBEIRO SAMPAIO

**UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EM CBUQ EM PAVIMENTOS DE VIAS
URBANAS – ESTUDO DE DEFEITOS NO REVESTIMENTO EM UMA RUA DA
CIDADE DE ARACAJU**

MONOGRAFIA

ARACAJU

2017

PHILIPPE RIBEIRO SAMPAIO

**UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EM CBUQ EM PAVIMENTOS DE VIAS
URBANAS – ESTUDO DE DEFEITOS NO REVESTIMENTO EM UMA RUA DA
CIDADE DE ARACAJU**

Monografia apresentada como requisito parcial
à obtenção do título de Bacharel, da
Coordenação do Curso de Engenharia Civil, do
Instituto Federal de Sergipe – Campus Aracaju.

Orientador: Prof. Dr. José Resende Goes.

Co-Orientador: Prof^a. Dra. Tatiana Máximo
Almeida Albuquerque.

ARACAJU

2017

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
CAMPUS ARACAJU**

CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia Nº 1

**UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EM CBUQ EM PAVIMENTOS DE VIAS
URBANAS – ESTUDO DE DEFEITOS NO REVESTIMENTO EM UMA RUA DA
CIDADE DE ARACAJU**

PHILIPPE RIBEIRO SAMPAIO

Esta monografia foi apresentada às 9:30 horas do dia 05 de julho de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. M.Sc Airton Teles de Mendonça
(IFS - Campus Aracaju)

Prof. M.Sc Rodolfo Santos da
Conceição
(IFS - Campus Aracaju)

Prof. Dr. José Resende Goes
(IFS - Campus Aracaju)
Orientador

Prof^a. Dra. Tatiana Máximo Almeida
Albuquerque
(IFS – Campus Aracaju)
Co-orientadora

Dedico esse trabalho primeiramente a Deus por me guiar pelo meu caminho, me dando esperança e forças para continuar.

Aos meus pais, Claudia Ribeiro e Marcus Silveira, pelo amor e dedicação na formação de meu caráter e construção dos meus valores, sem esquecer de meu pai Humberto Sampaio, que mesmo distante, sempre me apóia e acredita em mim.

E aos meus amigos que trilharam por esse caminho comigo de forma direta ou indireta, me fortalecendo ao longo do percurso.

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. José Resende Goes, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A minha Co-orientadora Prof^a. Dra. Tatiana Máximo Almeida Albuquerque, por toda ajuda em todos os momentos.

Ao Prof. Dr Fernando Silva Albuquerque, pelas sugestões e conhecimentos, os quais auxiliaram na realização do trabalho.

Aos meus colegas de sala e amigos.

A Coordenação do Curso, pela cooperação.

Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

SAMPAIO, Philipe. **UTILIZAÇÃO DO REVESTIMENTO EM CBUQ EM PAVIMENTOS DE VIAS URBANAS – ESTUDO DE DEFEITOS NO REVESTIMENTO EM UMA RUA DA CIDADE DE ARACAJU**. Número total de folhas 72. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe – Campus Aracaju. 2017.

O aparecimento precoce de defeitos nos revestimentos asfálticos é bem comum no Brasil, trazendo desconforto e insegurança aos usuários das vias. Na cidade de Aracaju-SE, esses defeitos podem ser encontrados em diversas vias. O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo do processo de execução da pavimentação asfáltica em uma rua do Bairro Aruana, zona de expansão da cidade de Aracaju. Foram realizadas pesquisas bibliográficas para a fundamentação teórica e apresentado um estudo de caso composto de duas partes. Na primeira parte foi acompanhado todo o processo de produção e aplicação do Concreto Betuminoso Usinado a Quente. Na segunda parte, após um ano da execução da pavimentação, foi realizada uma avaliação objetiva das condições do revestimento de acordo com os procedimentos da norma técnica vigente. Os resultados obtidos comprovaram várias irregularidades encontradas, tendo sido o revestimento da rua objeto do estudo classificado como um revestimento ruim.

Palavras-chave: Revestimento; CBUQ; Defeitos; Avaliação Objetiva.

ABSTRACT

SAMPAIO, Philipe. **USING THE COATING IN CBUQ IN URBAN ROAD FLOORS - STUDY OF DEFECTS IN THE COATING IN A STREET OF THE CITY OF ARACAJU.** Total number of sheets 72. Monograph (Bachelor in Civil Engineering) - Federal Institute of Education, Science and Technology of Sergipe - Campus Aracaju. 2017.

The early appearance of defects in asphalt coatings is very common in Brazil, bringing discomfort and insecurity to road users. In the city of Aracaju-SE, these defects can be found in several roads. The objective of this work was to accomplish a study of the execution process of the asphaltic paving in a street of the Aruana Neighborhood, zone of expansion of the city of Aracaju. Bibliographical researches were accomplished for the theoretical basis and it was presented a study of a case composed of two parts. In the first part, it was accompanied the whole process of production and application of Bituminous Concrete Machined to Hot. In the second part, after one year of the execution of the pavement, an objective evaluation of the conditions of the coating was carried out according to the procedures of the current technical standard. The results obtained confirmed several irregularities found, and the street covering that was the object of the study was classified as a bad coating.

KEYWORD: Coating; CBUQ; Defects; Objective Evaluation.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	OBJETIVOS.....	13
1.1.1	Objetivo Geral.....	13
1.1.2	Objetivos Específicos.....	13
1.2	METODOLOGIA	13
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	14
2	PAVIMENTO RODOVIÁRIO	15
2.1	PAVIMENTOS RÍGIDOS	15
2.2	PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS	16
2.3	PAVIMENTOS FLEXÍVEIS	16
2.3.1	O Subleito	17
2.3.2	Reforço do Subleito	18
2.3.3	Sub-base e Base	18
2.3.3.1	Estabilização do solo para base e sub-base	19
2.3.4	Revestimento Flexível (Asfalto)	19
3	CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)	21
3.1	PREPARAÇÃO.....	21
3.1.1	Estocagem e Manuseio dos Materiais Componentes das Misturas Asfálticas na Área da Usina.....	21
3.1.2	Proporcionamento e Alimentação do Agregado Frio no Secador	22
3.1.3	Secagem e Aquecimento Eficiente do Agregado à Temperatura Apropriada.....	23
3.1.4	Controle e Coleta de Pó no Secador	24
3.1.5	Proporcionamento, Alimentação e Mistura do Ligante Asfáltico com o Agregado Aquecido.....	24
3.1.6	Estocagem, Distribuição, Pesagem e Manuseio das Misturas Asfálticas Produzidas	27
3.2	TRANSPORTE	27
3.3	APLICAÇÃO	28
4	PRINCIPAIS DEFEITOS DO REVESTIMENTO EM CBUQ	33
4.1	FENDAS	33
4.1.1	Trincas Isoladas Longitudinais ou Transversais à Via	35
4.1.2	Trincas Parabólicas	35
4.1.3	Trinca tipo "Pele de crocodilo"	36
4.2	AFUNDAMENTO	37
4.2.1	Afundamento plástico	39
4.2.2	Afundamento de consolidação.....	39
4.3	ONDULAÇÃO OU CORRUGAÇÃO.....	40
4.4	ESCORREGAMENTO DO REVESTIMENTO BETUMINOSO	41
4.5	DESGASTE	42

4.6	PANELA OU BURACO	43
4.7	REMENDO	44
5	MANUTENÇÃO	46
6	ESTUDO DE CASO	49
6.1	ÁREA DE ESTUDO	49
6.2	ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE PAVIMENTAÇÃO	50
6.2.1	Produção do CBUQ	50
6.2.2	Aplicação do Revestimento Asfáltico	51
6.2.3	Resultados e Discussões	52
6.3	AVALIAÇÃO OBJETIVA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL	56
6.3.1	Defeitos Observados	58
6.3.2	Resultados e Discussões	60
7	CONCLUSÕES	64
8	TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66
	ANEXO A - QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS - CODIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO	70
	APÊNDICE A - LEVANTAMENTO DOS DEFEITOS DA RUA AVALIADA	71
	APÊNDICE B - CÁLCULO DO IGG DA RUA AVALIADA	72

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das cidades desde séculos antes de Cristo, o homem já enxergava a necessidade do uso de transportes, tanto para cargas quanto para pessoas, um exemplo disso pode ser notado na pré-história, no uso de troncos para mover animais pesados que fossem abatidos (ALVES, 1987).

Com o passar dos tempos, o transporte foi sendo desenvolvido cada vez mais para suprir as necessidades vigentes. No império romano ele foi muito utilizado, principalmente, no poderio militar. Nesse período, também houve intensa construção de estradas que já eram regulamentadas pela lei das XII Tábuas (Século V a.C.) (ALVES, 1987).

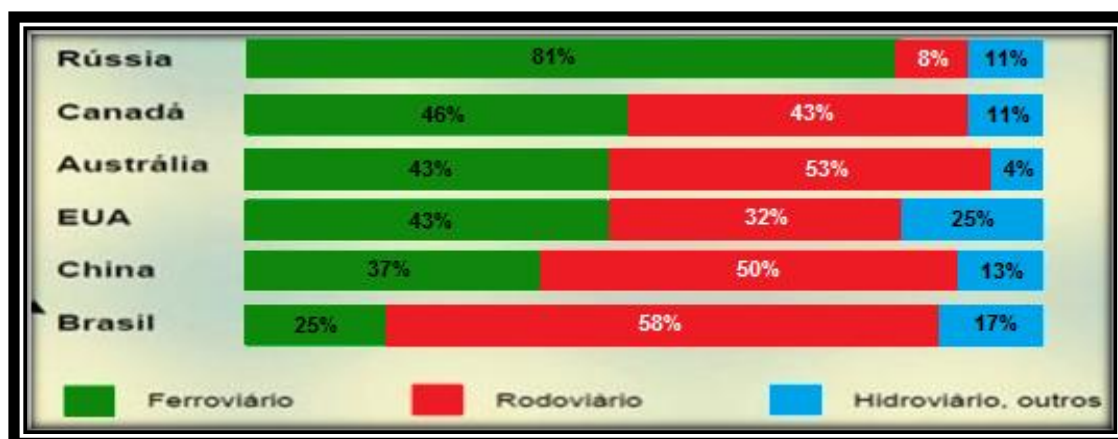
Na lei da Tábua número VII, dizia que toda propriedade tinha que ter sua estrada, porém, essa lei não falava sobre manutenção, a não ser em caso de destruição proposital, onde quem destruiu tinha obrigação de reconstruir o que destruiu (ALVES, 1987).

Já no século IV a.C., com o aumento populacional na Grécia e na Roma, que foram os grandes impérios da época, surgiu a necessidade de transportar cada vez mais cargas e pessoas. Com isso, os gregos fabricaram as primeiras “CARROZZIERI”, uma pequena vagoneta que era utilizada em serviços regulares a tração animal (denominada “CARPENTVM”), e foram utilizadas até a queda do império romano (TEMA TRANSPORTES, 2015).

Em 1826 foi criado o primeiro conceito de ônibus como modalidade de transporte público, em Nantes – França, o qual transportava passageiros e correios dos centros das cidades até as periferias. No Brasil, o primeiro serviço de ônibus efetivo surgiu em julho de 1838 no Rio de Janeiro com dois carros de dois pavimentos (MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO, 2005).

De acordo com Colavite e Konishi (2015), o gráfico da Figura 6.1 mostra a comparação dos modais de transporte mais utilizados nos principais países do mundo.

Figura 1.1 – Comparação dos modais de transporte nos principais países do mundo



Fonte: COLAVITE e KONISHI (2015).

De acordo com a Figura acima, a matriz de transportes no Brasil se concentra no modal rodoviário, mas com uma baixa utilização do modal ferroviário se comparado a países de grande extensão territorial.

A importância do transporte rodoviário no Brasil se dá desde o início da república, quando os governos começaram a priorizar o transporte rodoviário, em detrimento ao transporte ferroviário e hidroviário. Em 1861 foi utilizada a primeira rodovia pavimentada no Brasil, com a inauguração da estrada ligando o estado do Rio de Janeiro ao de Minas Gerais, nomeada Estrada União Indústria (CNT, 2014).

Nos anos 50 a malha rodoviária brasileira contava com 968 km de estradas pavimentadas, como consequência do Decreto-Lei nº 8463/1945, que deu autonomia técnica e financeira ao Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Após isso, teve um grande crescimento das rodovias, ocasionando uma grande expansão do modal rodoviário (CNT, 2014).

De acordo com os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT) de 2015, existem no país 1.720.607 km de rodovias, dos quais apenas 213.299 km são pavimentadas, isto é, aproximadamente 12,4% da malha. Das rodovias pavimentadas, 66.712 km são federais. Dessas, apenas 8,7% são de pista dupla (5.830 km) e 2,4% (1.587 km) são vias em fase de duplicação, os demais 88,9% são de pista simples.

Dentre os 12% de pavimentação existente no Brasil, estão presentes diversas tipologias, os quais são estruturas constituídas por um sistema de camadas de espessuras finitas assentadas sobre um terreno de fundação denominado subleito. O subleito deve ser estudado e considerado até a profundidade onde atua, o que

depende da carga imposta pelo tráfego que o utilizam. Essa profundidade deve situar-se numa faixa de 0,60m a 1,5m. Nesta camada apoiam-se a sub-base e a base, que são camadas finitas com composições variadas de acordo com especificações de projeto, que tem como principal função transmitir as cargas oriundas do tráfego, sobre o revestimento, ao subleito. O revestimento é a camada mais externa do pavimento (DNIT, 2006).

Segundo pesquisa realizada em 2011 pela Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (ABEDA), mais de 90% das estradas pavimentadas nacionais são de Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ).

O CBUQ é normalmente composto por um agregado miúdo (areia), agregado graúdo (brita) e um ligante (CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo), obtido da destilação fracionada do petróleo. A fim de obter o traço para produção do revestimento adequado, devem-se realizar alguns ensaios em laboratório, onde os mais conceituados são os ensaios Marshall (DNER, 1995) e o de resistência a tração (DNER, 1994). A mistura dos agregados com o ligante é realizada numa temperatura de 140 a 175°C em uma usina de asfalto apropriada, para que se consiga chegar à composição e dosagem estabelecidas pelas normas do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Após esse processo, a mistura é transportada até o local de sua aplicação por caminhões especialmente equipados, chamados de vibroacabadora. Feito o lançamento, a mistura é compactada por rolos compactadores até atingir a densidade especificada em projeto (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Apesar de 90% das estradas pavimentadas serem de CBUQ, a falta de fiscalização na sua preparação, assim como, a falta de drenagem, de manutenção e a má execução em campo, têm ocasionado defeitos nas estruturas dos pavimentos asfálticos, como: fissuras, trincas, afundamentos, desgastes, buracos, etc., o que oferece riscos a todos os usuários, e principalmente, aos que trafegam transportando cargas consideradas perigosas. A resolução desses problemas implica em custos elevados, sobretudo com a restauração dos pavimentos e operação dos veículos, além de requerer soluções técnicas mais onerosas e robustas para a reversão desses casos (CNT, 2014).

A cidade de Aracaju-SE embora seja a capital do menor estado do Brasil e destacada como de qualidade de vida, tem apresentado muitos desses defeitos nos revestimentos do pavimento em suas ruas e avenidas.

Nesta pesquisa, através de acompanhamento do processo de pavimentação e avaliação da condição dos pavimentos nas ruas da cidade, pode-se identificar a qualidade do revestimento e citar as possíveis causas dos defeitos existentes.

As análises realizadas têm por finalidade demonstrar os defeitos no revestimento de CBUQ de uma rua pouco movimentada no bairro Aruana na cidade de Aracaju e indicar as condições do pavimento, assim como, as possíveis causas do seu aparecimento.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Acompanhar o processo executivo do revestimento de CBUQ na pavimentação de uma Rua da cidade de Aracaju-SE e avaliar as condições desse revestimento um ano depois de executado de acordo com a norma do DNIT 006 de 2003 e identificar os principais defeitos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Estudar a utilização do Concreto Betuminoso Usinado a Quente em revestimentos de pavimentos do sistema viário e apresentar os principais defeitos que nele ocorrem.
- Acompanhar o processo de execução do revestimento em CBUQ, desde a preparação até a aplicação em uma rua da cidade de Aracaju.
- Realizar uma avaliação objetiva das condições do revestimento em CBUQ em uma rua da cidade de Aracaju, de acordo com a norma do DNIT 006, 2003.

1.2 METODOLOGIA

Em primeiro momento, foi realizada a revisão bibliográfica a respeito do tema em questão. Num segundo momento, foi feito o acompanhamento do processo de produção do CBUQ na usina de asfalto da Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB) e sua aplicação em uma rua da cidade de Aracaju. Por ultimo, foi realizado uma avaliação objetiva das condições do revestimento

preconizadas pela norma do DNIT 006 (2003) para discutir os resultados obtidos e identificar as possíveis causas dos principais defeitos.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente monografia está desenvolvida em oito capítulos. Esses capítulos apresentam a estrutura de desenvolvimento do trabalho, e posteriormente são seguidos pelas referências bibliográficas utilizadas e os anexos.

No Capítulo 1, encontra-se a introdução sobre o tema proposto, a metodologia do trabalho e os objetivos que direcionaram o desenvolvimento desta monografia.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica sobre os temas ligados a pavimentos rodoviários. Esse capítulo discorre sobre os tipos de pavimentos rodoviários no Brasil e no mundo, em especial sobre os pavimentos flexíveis.

O Capítulo 3 aponta as características sobre os processos de produção e aplicação do revestimento de CBUQ.

O Capítulo 4 destaca e caracteriza os principais defeitos encontrados no revestimento de CBUQ e as principais causas.

O Capítulo 5 comenta sobre os tipos de manutenção do revestimento em CBUQ, utilizados no Brasil.

O Capítulo 6 mostra o estudo de caso do trabalho e os métodos utilizados para atingir as etapas propostas nos objetivos. Esse capítulo foi dividido em duas partes: a primeira mostra o acompanhamento do processo de pavimentação de uma rua da cidade de Aracaju-SE, da produção do CBUQ em usina até a sua aplicação; e a segunda parte, a avaliação objetiva dos defeitos encontrados após o período de um ano de sua utilização, com seus respectivos resultados e discussões.

Por fim, no capítulo 7 são apresentadas as conclusões do trabalho, seguidas pelas sugestões de trabalhos futuros, Referências, Anexos e Apêndices.

2 PAVIMENTO RODOVIÁRIO

Segundo SENÇO (2007), o pavimento é uma estrutura constituída por um sistema de camadas finitas, assentadas sobre o terreno de fundação, considerado como infinito e designado como subleito. Essa estrutura deve atender os requisitos de resistência aos esforços produzidos pelo tráfego e distribuí-los ao subleito, além de ter durabilidade em quaisquer condições climáticas, proporcionando conforto e segurança aos usuários.

De acordo com Pinto e Preussler (2002), os pavimentos podem ser classificados em três classes, sendo eles os rígidos, semi-rígidos e os flexíveis. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1982), tem-se a seguinte definição:

O pavimento é uma estrutura construída após terraplenagem e destinada, econômica e simultaneamente, em seu conjunto, a:

- a) Resistir e distribuir ao subleito os esforços verticais produzidos pelo tráfego;
- b) Melhorar as condições de rolamento quanto à comodidade e segurança;
- c) Resistir aos esforços horizontais que nela atuam, tornando mais durável a superfície de rolamento.

2.1 PAVIMENTOS RÍGIDOS

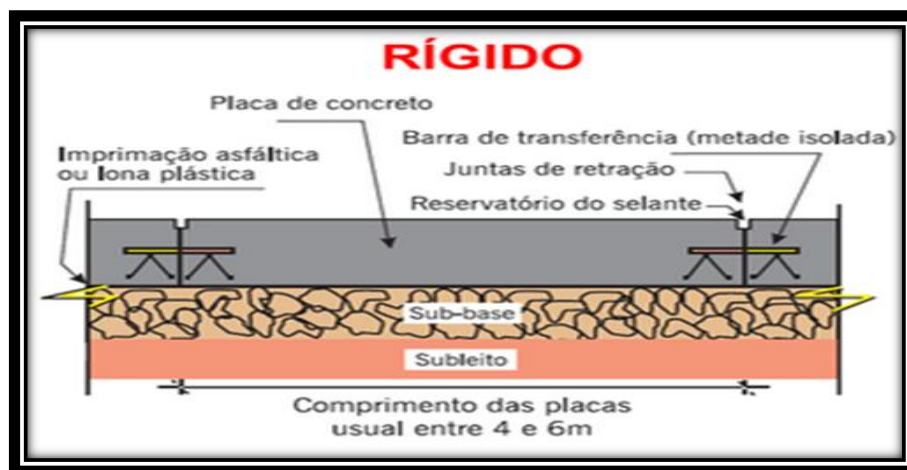
De acordo com o DNIT (2004), os pavimentos rígidos são aqueles que utilizam em sua camada de revestimento, placas de concreto de cimento Portland que podem ser armadas ou não com barras de aço (Figura 2.1). Por possuir uma grande capacidade de rigidez, comparando-se com suas camadas inferiores, o pavimento rígido absorve grande parte das tensões aplicadas sobre ele.

Os principais constituintes do pavimento rígido são: o cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras (plástico ou aço), selante de juntas (moldado), material de enchimento de juntas (fibras ou borracha) e aço. (DNIT, 2004)

Segundo a *Portland Cement Association* (1984), os pavimentos rígidos podem ser divididos em quatro categorias principais, são elas: pavimentos de concreto simples, pavimentos de concreto simples com juntas e barras de transferência de

esforços, pavimentos de concreto armado com juntas e barras de transferência de esforços, pavimentos continuamente armados.

Figura 2.1 - Camadas de um Pavimento Rígido



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

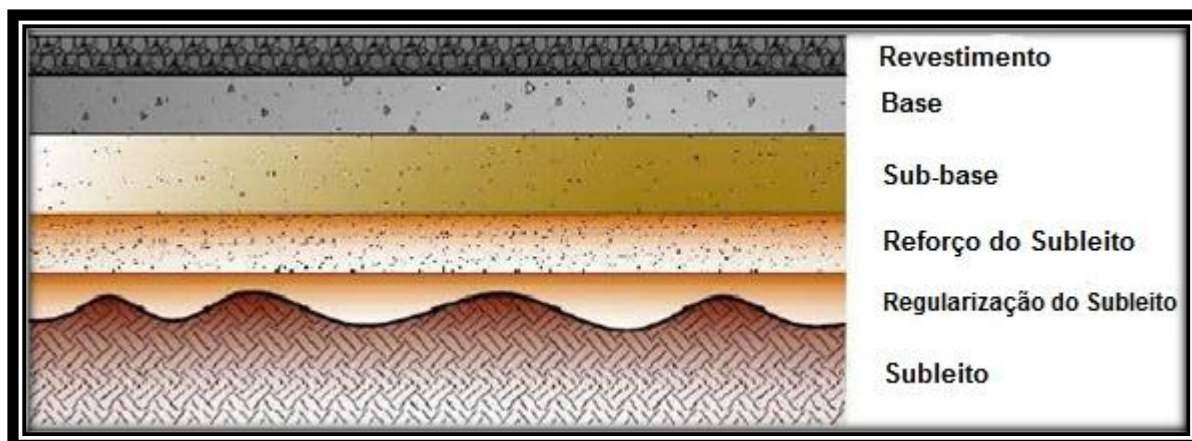
2.2 PAVIMENTOS SEMI-RÍGIDOS

De acordo com Marques (2007), o pavimento semi-rígido apresenta uma situação intermediária entre os pavimentos rígidos e flexíveis, diferem-se pois apresentam a base da estrutura executada com adição de cimento, cal, etc. Devido ao aumento de rigidez que estas adições proporcionam, consequentemente, o aumento do módulo de elasticidade, esta base absorve parte da tração, e por isso resiste razoavelmente a este tipo de esforço.

2.3 PAVIMENTOS FLEXÍVEIS

Os pavimentos flexíveis, geralmente, são constituídos por revestimentos asfálticos (betuminosos) sobre camadas granulares ou acima de camada de solo estabilizada granulometricamente. Diferentemente do pavimento rígido, o pavimento flexível possui mais camadas, conseguindo transferir as cargas oriundas do tráfego para uma seção mais concentrada do subleito. De acordo com o DNER (1997), este pavimento possui diferentes tipos de camadas, conforme apresentada na Figura 2.2.

Figura 2.2 - Camadas de um Pavimento Flexível



Fonte: MARQUES, 2007.

Estas diferentes camadas são melhor detalhadas a seguir.

2.3.1 O Subleito

De acordo com Marques (2007), o subleito é o terreno onde o pavimento será assentado. Deve-se estudar o subleito até a profundidade onde as tensões irão atuar.

Para a preparação do subleito, os materiais a serem empregados podem ou não ser do próprio solo já existente, desde que, atenda as especificações mínimas de projeto. Devem-se utilizar alguns equipamentos apropriados como: Motoniveladora com escarificador, carro tanque distribuidor de água, rolos compactadores, grade de discos, pulvimisturadora e outros equipamentos, de acordo com a necessidade na hora da execução (DNIT, 2010).

Segundo o DNIT (2010), a regularização do subleito é a operação destinada a conformar o leito da estrada transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas de projeto. Para este serviço, podem ser executados cortes ou aterros de até 20 cm. Deve-se fazer a escarificação geral na profundidade de 20 cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.

Os materiais utilizados na regularização, de preferência, devem ser os do próprio subleito, caso tenha a necessidade de substituir ou adicionar material, estes devem ser provenientes de jazidas indicadas no projeto e com características específicas.

2.3.2 Reforço do Subleito

De acordo com Marques (2007), o reforço do subleito é uma camada de espessura constante transversalmente e variável longitudinalmente que serve para melhorar a qualidade do subleito.

De acordo com o DNIT (2010), o reforço do subleito é utilizado quando é necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base e são originadas quando o subleito possui uma baixa capacidade de suporte e é definido como uma camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente regularizado.

Os materiais utilizados são solos ou misturas de solos, de qualidade superior a do subleito e são executados por operações de mistura e pulverização, umedecendo ou secando os materiais na pista, seguida de espalhamento, compactação e acabamento.

2.3.3 Sub-base e Base

De acordo com Marques (2007), a sub-base é a camada que complementa a base, no caso de não ser possível executar a base diretamente no subleito regularizado ou reforço. E a base é a camada que resiste os esforços da superfície de rolamento e distribui ao subleito.

Para Silva (2008), a sub-base é a camada superior ao subleito regularizado ou reforçado, e os materiais que podem ser empregados na composição da sub-base são: o cascalho, solo-cal e solo-cimento.

Já a base é a camada superior à sub-base, e tem como função aliviar as tensões nas camadas inferiores, permitir a drenagem das águas que se infiltram no pavimento e resistir às tensões e deformações atuantes. Os materiais que podem ser empregados como base são: brita graduada simples (BGS), brita graduada tratada com cimento (BGTC), macadames hidráulico e seco, concreto compactado a rolo (CCR), solo-cal, solo-cimento e solo-brita. A tensão máxima de cisalhamento ocorre na base, logo estes materiais devem ser de excelente qualidade e bem executados (SILVA, 2008).

A execução da sub-base e base segue as mesmas recomendações do subleito, compreendendo as operações de mistura e pulverização, seguida pelo

espalhamento, compactação e acabamento, atendendo as especificações de projeto, e se necessário o solo deve ser estabilizado (DNER-ES, 1997).

2.3.3.1 Estabilização do solo para base e sub-base

Por definição a estabilização do solo pode ser uma alteração em qualquer uma das suas propriedades, a fim de melhorar seu comportamento no ponto de vista da engenharia. É um tratamento artificial, por um processo químico, físico ou físico-químico, tornando estável o solo para o limite de sua utilização, permanecendo sob ação de cargas externas e ações climáticas variáveis (FALCÃO, 2013).

Segundo MEDINA (1997), a estabilização do solo visa modificar as suas propriedades, tais como: Resistência ao cisalhamento tornando-a menos sensível as mudanças ambientais, principalmente a umidade, além de torná-la compatível com as cargas que a estrutura vai absorver; Permeabilidade, aumentando-a ou diminuindo-a a depender das solicitações; Compressibilidade, reduzindo-a.

2.3.4 Revestimento Flexível (Asfalto)

De acordo com Marques (2007), o revestimento é a camada que recebe diretamente a ação do rolamento dos veículos e serve para melhorar as condições da via, proporcionando conforto e segurança, devendo resistir ao desgaste e aos esforços atuantes.

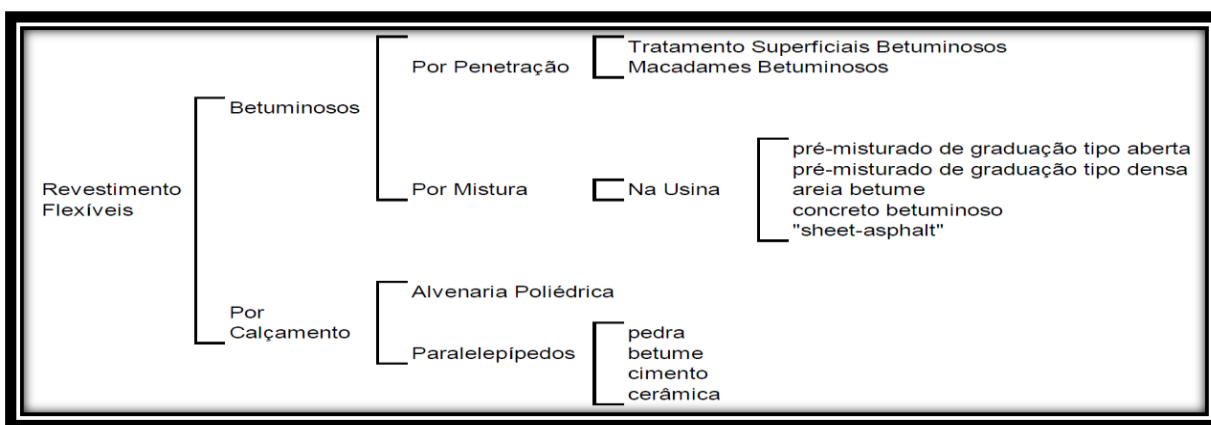
Segundo a NBR 12950 de 1993, todas as camadas do pavimento têm a sua finalidade, e a imprimação do revestimento flexível torna-se necessária para promover a aderência da base com o revestimento, atuar como impermeabilizante da base e aumentar a coesão superficial da base através da penetração do material asfáltico empregado. Esta imprimação consiste na aplicação de uma fina película de material betuminoso sobre uma superfície granular concluída de uma das camadas do pavimento, seja ela a base ou sub-base.

De acordo com a norma do DNER (1997), os ligantes betuminosos empregados na imprimação poderão ser os asfaltos diluídos CM- 30 e CM-70. A escolha deste ligante betuminoso adequado deve ser feita em função da textura do material da base.

Antes da execução da imprimação deve-se fazer uma varredura da base, ou seja, uma limpeza no local de modo a eliminar todo e qualquer material solto e depois umedecê-la superficialmente, observando se as declividades estipuladas em projeto já estão totalmente concluídas. Em seguida pode-se fazer uma distribuição uniforme do ligante corrigindo falhas entre a pista e o acostamento. Não se deve aplicar em dias de chuvas e também não se deve transitar sobre a imprimação, para que não ocorram falhas nessa camada (DNER-ES, 1997).

Segundo o Manual de pavimentação do DNIT (2006), os revestimentos flexíveis podem ser classificados de acordo com a Figura 2.3.

Figura 2.3 - Classificação dos Revestimentos Flexíveis



Fonte: DNIT, 2006.

Dos tipos de revestimentos asfálticos existentes, o concreto betuminoso usinado a quente (CBUQ) é o mais utilizado no Brasil, por ser segundo SENÇO (2007) o mais nobre dos revestimentos flexíveis, satisfazendo rigorosas especificações, sendo misturado com elevado controle de materiais e temperatura, além de ter custo satisfatório.

3 CONCRETO BETUMINOSO USINADO A QUENTE (CBUQ)

O concreto betuminoso usinado a quente é uma mistura de agregados minerais (naturais ou artificiais, britado ou em sua forma disponível), de material fino (pó de pedra, cimento Portland, etc.) e de cimento asfáltico de petróleo (CAP). Tem-se a homogeneização, a quente, desses materiais em uma usina onde é misturada (BALBO, 2007).

Nessa mistura deve-se realizar a dosagem desses materiais, obtida previamente em laboratório através dos ensaios Marshall (DNER-ME 043/95) e o de resistência a tração (DNER-ME 138/94), com finalidade de obter uma composição granulométrica de agregados que misturada ao CAP, em temperaturas adequadas, formem um material que deve oferecer condições mecânicas adequadas para suportar as solicitações impostas ao pavimento (tráfego de veículos, ações climáticas, etc.), sem sofrer grandes deformações elásticas ou plásticas, desagregação dos componentes ou perda de compactação. Além de que, uma dosagem de mistura asfáltica visa, entre outros objetivos, obter uma mistura adequadamente trabalhável, com baixa deformação permanente, estável a ações de cargas estáticas ou móveis e pouco suscetível à fissuração por fadiga (BALBO, 2007).

As técnicas executivas de revestimentos asfálticos são apresentadas a seguir.

3.1 PREPARAÇÃO

Após os resultados dos ensaios serem satisfatórios, as operações envolvidas na preparação de misturas asfálticas a quente são as seguintes: (BERNUCCI *et al.*, 2006)

3.1.1 Estocagem e Manuseio dos Materiais Componentes das Misturas Asfálticas na Área da Usina

Os agregados devem ser manuseados e estocados de maneira a evitar contaminação e minimizar sua degradação e segregação. A área de estocagem deve ser limpa para a prevenção da contaminação do agregado. Deve ser também

devidamente drenada para evitar acúmulo de umidade. Preferencialmente, a estocagem de agregados deve ser feita em locais cobertos para evitar a ação de precipitação de águas (Figura 3.1). O ligante asfáltico deve ser estocado em quantidade suficiente para manter a operação da usina de forma regular.

Geralmente dois ou mais tanques são necessários, sendo um tanque abastecedor durante a usinagem e os demais de estocagem do ligante asfáltico. A Figura 3.2 apresenta um exemplo de tanque horizontal de ligante asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.1 - Exemplo de estoques e silos cobertos para proteção dos materiais de uma usina gravimétrica



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 3.2 - Exemplo de tanques horizontais para armazenamento com aquecimento de ligantes asfálticos de uma usina gravimétrica



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1.2 Proporcionamento e Alimentação do Agregado Frio no Secador

O sistema de silos frios é um dos principais componentes de uma usina asfáltica. Ele recebe 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, conforme mostra a Figura 3.3.

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 (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.3 - Exemplo de Sistema de Silos Frios



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1.3 Secagem e Aquecimento Eficiente do Agregado à Temperatura Adequada

Os agregados devidamente proporcionados provenientes dos silos frios são conduzidos ao tambor secador onde são secos e aquecidos à temperatura adequada. 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. A Figura 3.4 mostra um exemplo de secador. O sistema possui um queimador de óleo ou gás numa extremidade e um ventilador de exaustão na outra (Figura 3.5) (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.4 - Sistema de Aquecimento do Secador



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 3.5 - Secador de Agregados com Ventilador de Exaustão



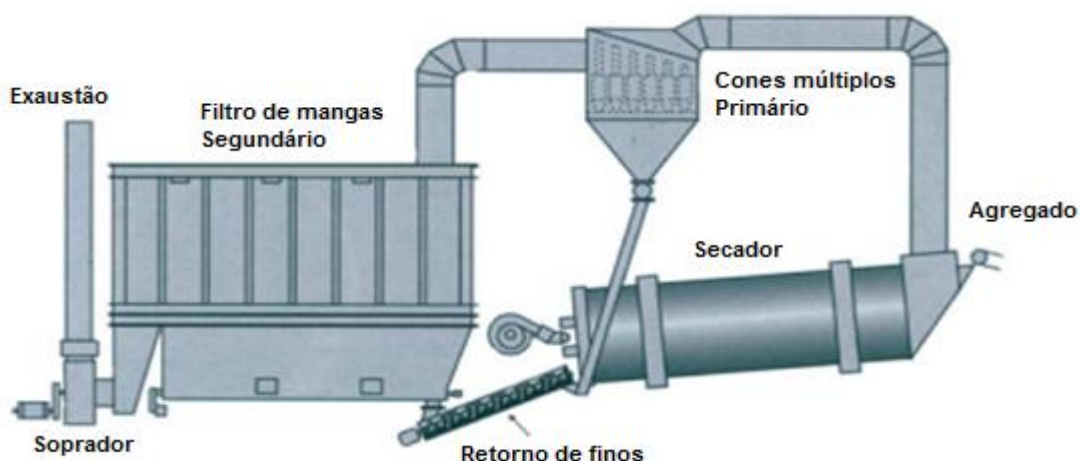
Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1.4 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. Eles são instalados no final do secador e filtram o ar que entra no queimador e o que sai no sistema de exaustão, conforme o esquema da Figura 3.6.

O coletor primário tem como função recolher as partículas maiores de pó contidas nos gases de exaustão. Os coletores primários mais usuais são a caixa de queda e o tipo ciclone. O coletor secundário filtra e recolhe as partículas de pó mais finas. Os coletores secundários 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 (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.6 - Esquema de Coletores Primário e Secundário

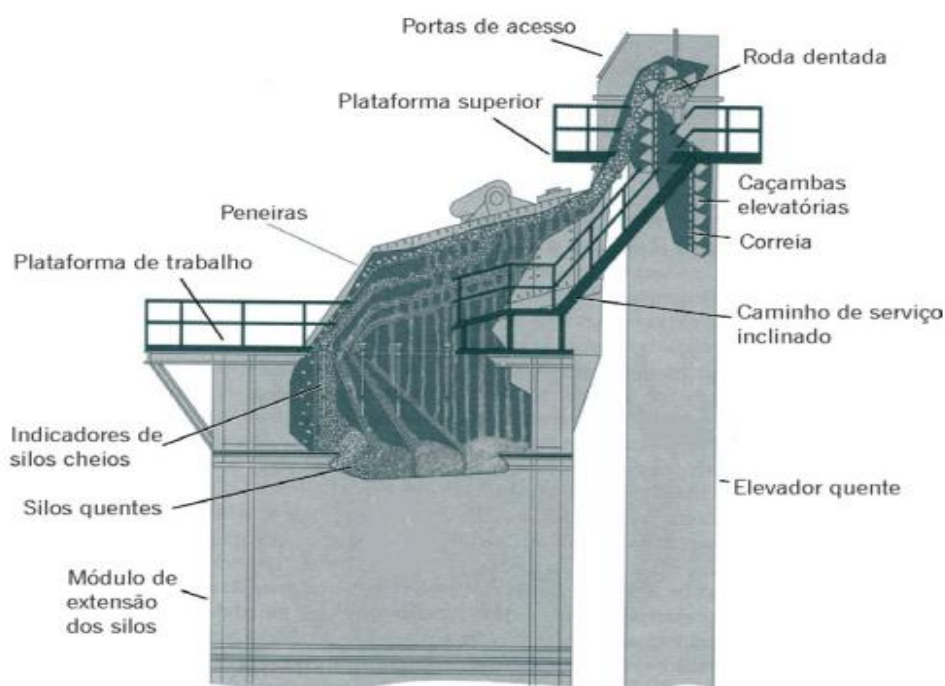


Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1.5 Proporcionamento, Alimentação e Mistura do Ligante Asfáltico com o Agregado Aquecido

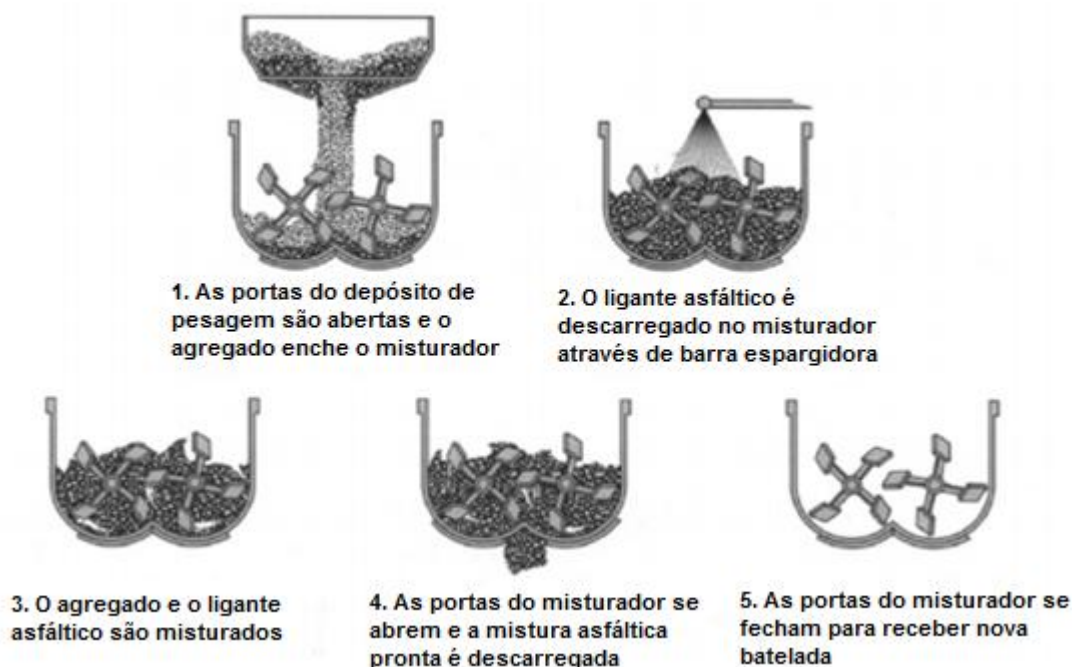
O processo de mistura do ligante asfáltico com o agregado varia de acordo com o tipo de usina de asfalto utilizado. Na usina de produção por batelada ou gravimétrica, o agregado seco e aquecido proveniente do secador é transportado através de um elevador e passa por uma série de peneiras que o separa em várias frações granulométricas e que são depositadas nos silos quentes, conforme mostra o esquema da Figura 3.7. 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. A Figura 3.8 ilustra o processo de mistura (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.7 - Esquema de Unidade de Peneiramento de Usina Asfáltica por Batelada



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 3.8 - Esquema de Produção de uma Batelada de Mistura Asfáltica

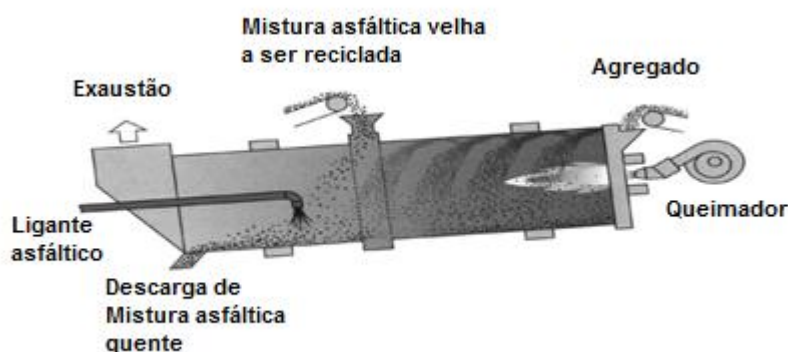


Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

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 e é seco e aquecido pelo calor produzido pelo queimador. Movimenta-se então para a zona secundária onde o ligante asfáltico é introduzido e vigorosamente misturado. Durante esse processo o controle efetivo da temperatura dos componentes da mistura asfáltica é fundamental para o seu desempenho futuro (BERNUCCI *et al.*, 2006).

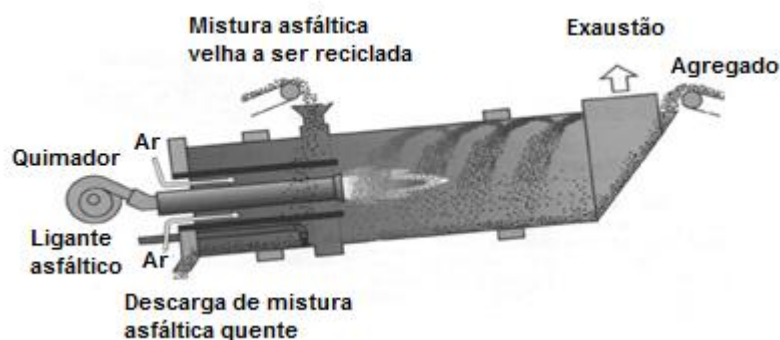
Dois são os tipos principais de tambores secadores e misturadores. No de fluxo paralelo, o agregado entra no tambor na extremidade do queimador e flui na mesma direção dos gases aquecidos. O ligante asfáltico é introduzido no último terço do tambor, juntamente com algum pó necessário à mistura asfáltica, conforme a Figura 3.9. No de contrafluxo 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, conforme a Figura 3.10 (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.9 - Esquema de Tambor Secador-Misturador de Fluxo Paralelo em Usina Contínua



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 3.10 - Esquema de Tambor Secador-Misturador de Contrafluxo de Usina Contínua



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

3.1.6 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 (BERNUCCI *et al.*, 2006).

3.2 TRANSPORTE

Chegando ao Concreto Betuminoso adequado, o seu transporte para o local a ser pavimentado deve ser feito através de caminhões basculantes com caçambas

limpas e lisas. Para se evitar a aderência da mistura asfáltica nas chapas metálicas da caçamba deve-se lubrificá-las com solução de cal, água e sabão, óleo cru fino ou parafínico e sempre mantendo a temperatura adequada da mistura, cobrindo quando precisar todo o CBUQ com lona. Não é permitida a utilização de produtos na caçamba como óleos ou produtos que possam interferir na qualidade do ligante betuminoso (NOGUEIRA, 1961).

3.3 APLICAÇÃO

De acordo com o DNIT (2009), o CBUQ é aplicado utilizando a vibroacabadora de asfalto (Figura 3.11) em temperatura entre 150 e 160°C, onde ele é despejado em faixas e espessuras pré-determinadas em projeto, em seguida através do Rolo Pneumático realiza-se a compactação da camada e por último o Rolo chapa que tem a função de acabamento, vem retirando as marcas do rolo de pneu completando também a compactação do CBUQ.

Para Bernucci *et al.* (2006), o lançamento de uma mistura asfáltica e o início de um serviço de compactação de uma camada de revestimento asfáltico devem ser precedidos por um planejamento onde são considerados detalhes importantes no processo, como por exemplo:

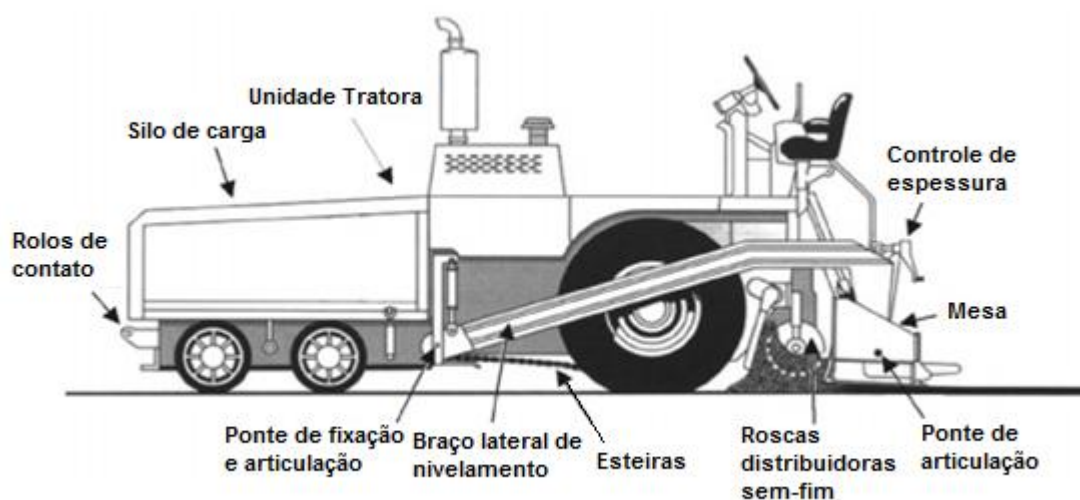
- Continuidade e sequência de operações;
- Número de vibroacabadoras necessárias para a execução do serviço;
- Número e tipos de rolos compactadores necessários;
- Número de caminhões transportadores necessários;
- A cadeia de comando para dar e receber instruções;
- Razões para possível rejeição de mistura asfáltica;
- Condições climáticas e de temperatura;
- Controle de tráfego.

Além da consideração desses detalhes, devem ser realizadas todas as preparações e inspeções necessárias para garantir seu sucesso. Normalmente os seguintes itens são verificados:

- Superfície da base ou revestimento existente apropriadamente preparada (imprimação ou pintura de ligação executadas);

- Plano de execução do serviço;
- Sincronia apropriada de produção da mistura asfáltica, lançamento e compactação;
- Equipamentos em boas condições e calibrados;
- Meios para pesagem da mistura asfáltica;
- Planejamento de amostragem e ensaios de controle.

Figura 3.11 - Esquema do Fluxo de mistura Asfáltica em uma Vibroacabadora de Esteiras



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

A compactação de uma camada asfáltica de revestimento aumenta a estabilidade da mistura asfáltica, reduz seu índice de vazios, proporciona uma superfície suave e desempenada e aumenta sua vida útil. No país, a espessura máxima de mistura asfáltica compactada em uma única vez é de 100mm e está relacionada com a eficiência dos equipamentos de compactação disponíveis. Usualmente essas espessuras em uma única camada de compactação não ultrapassam 75 a 80mm. Para que a compactação possa ser executada de maneira eficiente, duas condições fundamentais devem estar presentes: existência de confinamento ao compactar e temperatura adequada da mistura asfáltica. O confinamento é adequado quando a mistura asfáltica a ser compactada é contida em todas as direções de modo que ela possa ser comprimida, estruturando os agregados e reduzindo o volume de vazios (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Para Bernucci *et al.* (2006), o processo de execução de uma camada asfáltica geralmente é compreendido por duas fases: a rolagem de compactação e a rolagem de acabamento. É na fase de rolagem de compactação que se alcança a densidade, a impermeabilidade e grande parte da suavidade superficial. Na rolagem de acabamento são corrigidas marcas deixadas na superfície da camada pela fase de rolagem anterior.

A compactação obtida por meio dos rolos estáticos é devida ao seu peso próprio. Em alguns rolos compactadores este peso pode ser aumentado pela utilização de lastros, que consiste em pesos adicionais inseridos dentro dos tambores. Três são os tipos de rolos compactadores estáticos: de pneus, em tandem liso e de três rodas liso. Com o rolo de pneus obtém-se um ajuste adicional pela possibilidade de variação da pressão dos pneus. A Figura 3.12 mostra exemplo de rolo de pneus e a figura 3.13 de rolo tandem liso (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.12 - Exemplo de Rolo de Pneu



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 3.13 - Exemplo de Tandem Liso



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Outro tipo de rolo compactador são os rolos vibratórios que são compostos por um ou dois tambores de aço com pesos giratórios. Estes pesos são os responsáveis pela vibração dos tambores e criam forças dinâmicas que, somadas ao seu peso próprio, aumentam o esforço de compactação. Na Figura 3.14 é mostrado um rolo vibratório (BERNUCCI *et al.*, 2006).

Figura 3.14 - Exemplo de Rolo Vibratório

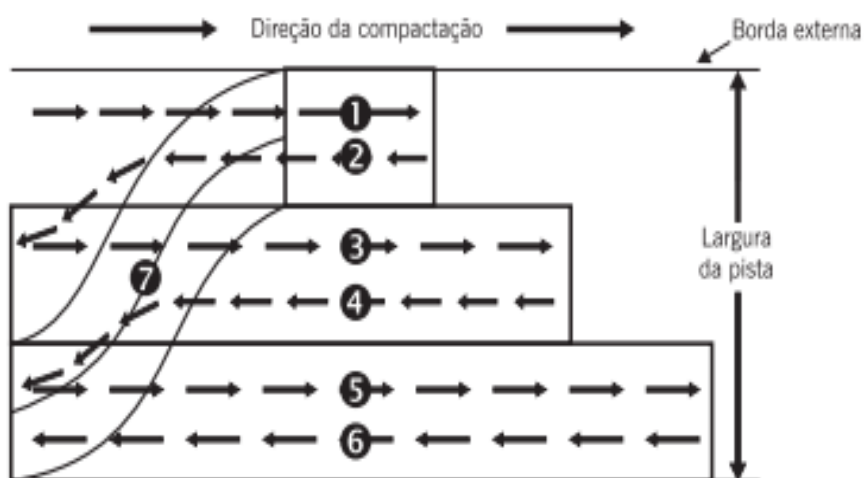


Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2008.

Ainda segundo Bernucci *et al.* (2006), uma compactação eficiente é obtida a partir de uma correta escolha do padrão de rolagem a ser utilizado, conforme esquematizado na Figura 3.15. A figura apresenta a sequência de rolagem (1 a 6) a partir de uma borda externa. Com isso é alcançada a uniformidade e a eficiência necessárias para se obter a densidade e a suavidade superficial de acordo com as especificações e com volume de produção adequado. A escolha do padrão de rolagem adequado deve ser realizada através da execução de uma pista-teste com monitoramento de densidade por meio de densímetros. Nesta pista teste devem ser definidos quatro parâmetros:

- Número de passagens necessárias para uma cobertura da largura da faixa ou pista em execução;
- Número de repetições necessárias para alcançar o grau de compactação de projeto;
- Velocidade de rolagem;
- Faixa de temperatura correta de aplicação e rolagem.

Figura 3.15 - Exemplo de Padrão de Rolagem de uma Camada de Mistura Asfáltica



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

4 PRINCIPAIS DEFEITOS DO REVESTIMENTO EM CBUQ

Segundo Fontes (2009), ao longo da vida dos pavimentos flexíveis, há aparecimento de degradações, as quais contribuem para a perda de sua qualidade. Assim, essas deteriorações do pavimento podem ocorrer mais brevemente, sobretudo em função de fatores como: Condições ambientais; Capacidade de suporte do pavimento e do subleito; Volume de tráfego; Carga por eixo do caminhão; Qualidade dos materiais utilizados e do processo construtivo.

No Brasil, existe um documento que define os termos técnicos relativos à classificação das degradações que ocorrem nos pavimentos flexíveis e que é utilizado também para padronizar a linguagem adotada na elaboração das normas, manuais, projetos e textos relativos aos pavimentos flexíveis, que é a norma do DNIT (2003). Os anexos dessa Norma possuem quadro resumo das degradações, sua codificação e classificação, a representação das degradações e ilustrações fotográficas das mesmas.

Segundo o DNIT (2006), foram constatados que os principais defeitos que ocorrem nos pavimentos brasileiros atualmente são os afundamentos plásticos e os fendilamentos por fadiga.

Os principais defeitos de acordo com a norma do DNIT (2003) são classificados seguindo anexo A e citados abaixo.

4.1 FENDAS

A fenda se traduz como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob as formas de fissura ou de trinca. A fissura é classificada como a fenda de largura capilar existente no revestimento, posicionada longitudinal, transversal ou obliquamente ao eixo da via, somente perceptível à olho nú de uma distância inferior a 1,50 m e a trinca é uma fenda existente no revestimento, facilmente visível a vista desarmada, com abertura superior à da fissura. Dentro desta família apresentam-se três tipos de degradações: Fendas Isoladas longitudinais ou transversais à via; Fendas parabólicas; e tipo “Pele de Crocodilo” (DNIT, 2003).

Uma das causas para o aparecimento das fendas é a fadiga nos pavimentos rodoviários que é um fenômeno originado pela passagem repetida de veículos que

induzem nos materiais ligados extensões de tração constituídas por duas componentes: uma reversível (ou elástica) e outra irreversível (ou plástica). (PEREIRA e MIRANDA, 1999)

Para Antunes *et al.* (2005) o fendilhamento por fadiga quando relacionado com as extensões elásticas horizontais de tração na base das camadas betuminosas (ligadas), está associado aos estados limites de ruína de um pavimento. Abaixo é apresentado na Figura 4.1 o fendilhamento das camadas betuminosas (fendilhamento por fadiga, com início na base das camadas betuminosas pela passagem dos rodados dos veículos).

Figura 4.1 - Fendilhamento das Camadas Betuminosas



Fonte: ANTUNES *et al.* 2005

A fenda se traduz como qualquer descontinuidade na superfície do pavimento, que conduza a aberturas de menor ou maior porte, apresentando-se sob as formas de fissura ou de trinca. podendo apresentar-se sob a forma de trinca isolada ou trinca interligada (DNIT, 2003).

Este tipo de degradação contribui para o enfraquecimento das camadas granulares e do solo de fundação do pavimento com a possível penetração da água pelas fendas (ANTUNES *et al.*, 2005).

Os tipos de fendas são melhor detalhadas a seguir:

4.1.1 Trincas Isoladas Longitudinais ou Transversais à Via

As trincas isoladas apresentam duas formas, às trincas longitudinais, as quais apresentam direção predominantemente paralela ao eixo da via onde se inserem, conforme a Figura 4.2, e as trincas transversais que apresentam direção predominantemente ortogonal ao eixo da via conforme a Figura 4.3. (MAIA, 2012)

As causas prováveis do aparecimento deste defeito podem ser várias:

- Retração térmica da camada de desgaste;
- Retração térmica ou hidráulica das camadas tratadas com ligante hidráulico (no caso de pavimentos semi-rígidos);
- Má execução da junta longitudinal de trabalho;
- A fadiga estrutural por solicitações excessivas do tráfego na camada de base;
- Sub-dimensionamento das camadas, também pode estar na causa do aparecimento desta deformidade;

Figura 4.2 - Trinca Logitudinal



Fonte: DNIT, 2003

Figura 4.3 - Trinca Transversal



Fonte: DNIT, 2003

4.1.2 Trincas Parabólicas

As trincas parabólicas ou ramificadas são degradações que tendem a uma regularidade geométrica, podendo os blocos apresentar vários tamanhos, conforme Figura 4.4.

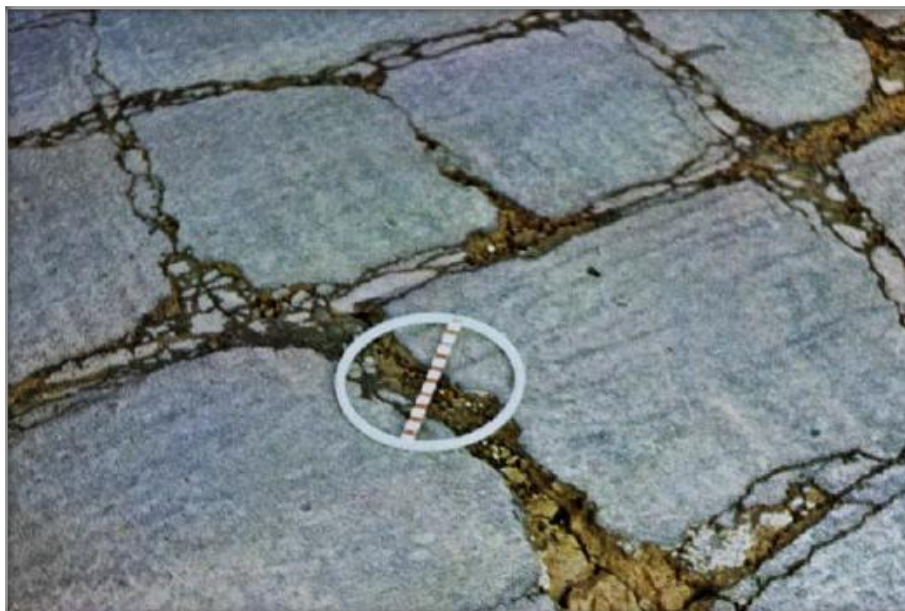
Estas se manifestam na zona de passagem do tráfego, com o eixo da parábola orientado no sentido longitudinal. Surgem como consequência de vários fatores, sendo eles: (MAIA, 2012)

- Esforços tangenciais;

- Grandes variações de temperatura ao longo do dia, onde se insere o pavimento;
- Incapacidade do ligante asfáltico (betume) para expandir e contrair com ciclos de temperatura devido a: betume envelhecido, ou má escolha do betume das misturas betuminosas;
- Má ligação (colagem) da camada de desgaste às camadas subjacentes.

Esta degradação possibilita a entrada de umidade, infiltração de água através da fenda, provocando a sua evolução pela combinação com o desgaste (ANTUNES *et al.*, 2005).

Figura 4.4 - Trinca Parabólicas ou Interligadas



Fonte: DNIT, 2003

4.1.3 Trinca tipo "Pele de crocodilo"

Por último, tem-se a degradação do tipo “pele de crocodilo”, com a forma geral de uma malha ou grelha superficial (DNIT, 2003).

Trata-se de um trincamento excessivo à superfície do pavimento, resultante da rotura por fadiga, em tração das camadas betuminosas (Figura 4.5). Este defeito está associada ao estado limite de ruína de um pavimento.

Figura 4.5 - Trinca tipo “Pele de Crocodilo”



Fonte: DNIT, 2003

Relativamente às causas possíveis do seu aparecimento, estas são muito semelhantes às das três degradações anteriormente enunciadas (MAIA, 2012):

- Rotura da camada de desgaste devido à solicitação do tráfego;
- Espessura das camadas sub-dimensionadas em relação à necessária, projeto estrutural inadequado;
- Fadiga e envelhecimento do material;
- Falta de capacidade de suporte do conjunto pavimento, causado por vários fatores: perda de base, sub-base ou leito do pavimento, deficiência nos elementos de drenagem, ou degelo da primavera, resultando em uma base menos rígida;
- Construção de baixa qualidade (compactação inadequada).

4.2 AFUNDAMENTO

O afundamento trata-se da deformação permanente caracterizada por depressão da superfície do pavimento, acompanhada, ou não, de solevamento, podendo apresentar-se sob a forma de afundamento plástico ou de consolidação (Figura 4.6). (DNIT, 2003)

Os afundamentos são deformações plásticas que ocorrem devido ao amplo fluxo de tráfego e pelo excesso de carga, devido à ação repetida da passagem das

cargas de roda dos pneus e devido ao fluxo canalizado dos veículos nas vias que causam as deformações (SILVA, 2008).

As causas prováveis do seu aparecimento dos afundamentos são (MAIA, 2012):

- Cargas induzidas pelo tráfego lento e pesado que ocorre geralmente nas faixas de automóveis onde o tráfego pesado é canalizado ou nas vias lentas (vias direitas das estradas), havendo temperaturas elevadas (o fato destes circularem durante muito tempo seguido, o que origina um elevado aquecimento dos pneus, essencialmente em dias quentes e nas zonas onde estão parados designadamente junto a semáforos);
- Assentamento do solo de fundação. O problema está essencialmente no solo ou nas camadas granulares do pavimento, a sua capacidade estrutural é baixa e deforma-se quando sujeito a solicitações elevadas. O teor de umidade afeta de um modo muito significativo o comportamento estrutural do solo, baixando consideravelmente o seu módulo com o aumento do teor de umidade;
- Pode também a sua origem estar relacionada com problemas nos elementos de drenagem da via de circulação, decorrentes da ineficácia da drenagem para o traçado projetado. Assim, reveste-se de grande importância a drenagem dos solos de fundação.

Figura 4.6 - Afundamento



Fonte: DNIT 2003

Os tipos de afundamentos são apresentados a seguir:

4.2.1 Afundamento plástico

Afundamento causado pela fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, acompanhado de solevamento (Figura 4.7). Quando ocorre em extensão de até 6m é denominado afundamento plástico local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento plástico da trilha de roda (DNIT, 2003).

Os afundamentos plásticos ocorrem devido a deformações em uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito, geralmente apresentam elevações ao longo dos lados do afundamento (SILVA, 2008).

Figura 4.7 - Afundamento Plastico



Fonte: SILVA, 2008

4.2.2 Afundamento de consolidação

Afundamento de consolidação é causado pela consolidação diferencial de uma ou mais camadas do pavimento ou subleito sem estar acompanhado de solevamento (Figura 4.8). Quando ocorre em extensão de até 6m é denominado

afundamento de consolidação local; quando a extensão for superior a 6m e estiver localizado ao longo da trilha de roda é denominado afundamento de consolidação da trilha de roda (DNIT, 2003).

Figura 4.8 - Afundamento de Consolidação



Fonte: DNIT, 2003

4.3 ONDULAÇÃO OU CORRUGAÇÃO

Para Bernucci *et al.* (2006), ondulações são deformações transversais ao eixo da pista, em geral compensatórias, com depressões intercaladas de elevações, com comprimento de onda entre duas cristas de alguns centímetros ou dezenas de centímetros (Figura 4.9). E em geral ocorre em área de aceleração ou desaceleração, rampas sujeitas ao tráfego de veículos pesados e lentos, curvas, entre outros locais. Não se deve confundir com a ondulação causada por adensamento diferencial do subleito que provoca comprimentos de ondas da ordem de metros.

Figura 4.9 - Ondulações ou Corrugações



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

4.4 ESCORREGAMENTO DO REVESTIMENTO BETUMINOSO

Conforme a norma do DNIT 005 (2003) escorregamento é o deslocamento do revestimento em relação à camada subjacente do pavimento, com aparecimento de fendas em forma de meia-lua.

Para Bernucci *et al.* (2006), o escorregamento de massa asfáltica por fluência decorrente de excesso de ligante, em geral junto às depressões localizadas, às trilhas de roda e às bordas de pavimentos (Figura 4.10) e difere-se do escorregamento do revestimento asfáltico por falhas construtivas e de pintura de ligação (Figura 4.11).

Segundo Balbo (2007) escorregamento do revestimento é comumente ocorrido em faixas solicitantes por veículos comerciais na qual poderão se associar a afundamentos e trincas. Algumas possíveis causas para ocorrer esse defeito, assim como as ondulações ou corrugações, é pela imprimação inadequada do revestimento sobre a camada inferior, ocasionando deslocamentos transversais da mistura asfáltica (geralmente nos trechos em curvas), viscosidade inadequada do cimento asfáltico para as condições de uso, excesso de ligante asfáltico na mistura,

falha na produção do concreto ou emprego de misturas asfálticas ricas em betume e em agregados miúdos.

Figura 4.10 - Escorregamento de Massa



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 4.11 - Escorregamento de Revestimento



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

4.5 DESGASTE

Segundo DNIT (2003) o desgaste é o efeito do arrancamento progressivo do agregado do pavimento, caracterizado por aspereza superficial do revestimento (Figura 4.12).

Bernucci *et al.* (2006) citam que as prováveis causas para que possa ocorrer o desgaste nos pavimentos são:

- As falhas de adesividade ligante-agregado;
- Presença de água aprisionada sobre repressão em vazios da camada de ligante, gerando deslocamento de ligante;
- Problemas no teor do ligante;
- Falhas de bico em tratamentos superficiais;
- Problemas na execução ou de projeto;
- Baixa temperatura na compactação do revestimento.

Figura 4.12 - Desgaste

Fonte: DNIT, 2003.

4.6 PANELA OU BURACO

Para Bernucci *et al.* (2006), a panela ou buraco é uma cavidade no revestimento asfáltico, podendo ou não atingir camadas subjacentes. E completa, em local onde há trincas interligadas, com a ação do tráfego e intempéries, pode haver remoção do revestimento ou mesmo de parte da base, além de falha construtiva como a deficiência na compactação, umidade excessiva em camadas de solo, falha na imprimação, desagregação por falha na dosagem ou ainda segregação, são fatores que podem causar o aparecimento desse defeito de maiores magnitudes (Figura 4.13). Em casos dessa deformidade em pequenas magnitudes, podem ser ocasionados pela falha na pintura de ligação do revestimento (Figura 4.14).

Segundo a norma DNIT 005 (2003) esse defeito pode ser causado por várias hipóteses como a falta de aderências entre as camadas superpostas, causando o deslocamento das camadas gerando cavidades no revestimento, podendo chegar a camadas inferiores do pavimento, provocando a desagregação dessas camadas.

Balbo (2007) relata panelas ou buracos como sendo cavidades na superfície do pavimento, caracterizadas pela ausência de materiais, podendo atingir as camadas de base ou até mesmo o subleito da estrutura, suas formas e dimensões

são bem variáveis, não devendo ser confundidos com o afundamento. Algumas possíveis causas para esse defeito é a desagregação de revestimento trincado, evolução de afundamentos localizados e a evolução de processo de descolamento do revestimento sobre antigos revestimentos ou bases.

Figura 4.13 - Panela Atingindo a Base



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

Figura 4.14 - Panela na Pintura de Ligação



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

4.7 REMENDO

Para Bernucci *et al.* (2006), o remendo é o preenchimento de depressões ou painelas com massa asfáltica e apesar de ser uma atividade de conservação, é considerado um defeito por apontar um local de fragilidade do revestimento (Figura 4.15).

Segundo o DNIT 005 (2003), é uma panela preenchida com uma ou mais camadas de pavimento na operação denominada de “tapa-buraco” e pode ser subdividido em dois tipos, os remendos profundos e os remendos superficiais. Os remendos profundos são aqueles em que há substituição do revestimento e, eventualmente, de uma ou mais camadas inferiores do pavimento tendo forma usual retangular. E os remendos superficiais são correções, em área localizada, da superfície do revestimento pela aplicação de uma camada betuminosa.

Figura 4.15 - Remendo



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006.

5 MANUTENÇÃO

Segundo o Manual de Pavimentação do DNIT (2006), a manutenção de rodovia compreende um processo sistemático a que, de forma contínua, deve ser submetida uma rodovia, no sentido de que esta, de conformidade com suas funções e magnitude de tráfego, venha a oferecer ao usuário, permanentemente, um tráfego econômico, confortável e seguro.

Ao término de qualquer implantação de um pavimento, o órgão responsável pela gestão da rodovia deve identificar e efetuar as atividades de conservação preventivas necessárias, para que com isso consiga permitir que o tráfego flua de forma regular, e não se precise utilizar meios de conservação corretiva, os quais possuem elevados custos.

Ainda de acordo com o Manual do DNIT (2006), a conservação se divide em preventiva e corretiva, sendo a preventiva, o conjunto de operações de conservação realizadas periodicamente com o objetivo de evitar o surgimento ou agravamento de defeitos, e a corretiva, é aquela realizada de acordo com uma programação, com base em mesma técnica, para eliminação de imperfeições existentes.

Para definir um método para restauração, é necessário fazer um estudo das condições do pavimento existente, analisando o pavimento funcional e estruturalmente (BERNUCCI *et al.*, 2006).

A avaliação funcional verifica a condição da superfície do pavimento e a irregularidade longitudinal. Os principais defeitos verificados nesse tipo de avaliação são: área trincada e severidade de trincamento, irregularidade longitudinal e deformação permanente. Já a avaliação estrutural verifica as condições do pavimento em suportar cargas. Os principais parâmetros considerados na avaliação estrutural são a deflexão na superfície e a bacia de deformação (BERNUCCI *et al.*, 2006).

A análise dos dados das avaliações através dos procedimentos específicos, ajuda na escolha da solução de restauração apropriada em cada caso (BERNUCCI *et al.*, 2006).

De acordo com Gonçalves (1999), as principais técnicas de manutenção preventiva são: remendo superficial e profundo, lama asfáltica e tratamentos superficiais. Ainda segundo Gonçalves (1999), as principais medidas adotadas no Brasil para a manutenção corretiva estão citadas no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 – Tipos de manutenção corretiva

TIPOS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA
Recapeamento simples em CBUQ, na espessura do revestimento
Fresagem total ou parcial do revestimento e aplicação de camada em CBUQ que aumente a capacidade estrutural do pavimento
Colocação de camada intermediária especial contra reflexão de trincas, seguida de recapeamento ("Sistema Anti-Reflexão de Trincas")
Fresagem parcial do revestimento, seguida de aplicação de camada intermediária contra reflexão de trincas e coberta com novo revestimento de CBUQ. Considera-se em dois níveis: 1 e 2, com o nível 2 envolvendo maiores espessuras
Reciclagem do revestimento e da base granular, formando-se uma base tratada com emulsão ou cimento e construindo-se um novo revestimento
Aplicação de Tratamento Superficial Duplo (TSD) sobre o tratamento existente
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de TSD
Remoção e reconstrução (com ou sem reciclagem) do revestimento em tratamento e da camada de base, seguida de aplicação de CBUQ
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico existente, nas condições de projeto original, seguida de complementação da espessura da capa em CBUQ (reforço estrutural)
Remoção e reconstrução total do revestimento asfáltico

Fonte: GONÇALVES, 1999, adaptado pelo autor.

Quando são identificadas fissuras isoladas na superfície do revestimento, por exemplo, é necessário fazer uma manutenção preventiva, por selagem, para retardar a evolução do problema e para que não necessite de uma intervenção de restauração de maior magnitude e custo, que seria uma manutenção corretiva. A Figura 5.1 (a) a (d) exemplifica a aplicação da selagem em trincas.

Figura 5.1 – Exemplo de selagem em trincas



Fonte: BERNUCCI *et al.*, 2006, adaptado pelo autor.

6 ESTUDO DE CASO

Este item foi dividido em duas partes. A primeira teve como objetivo acompanhar as etapas do processo de pavimentação de uma rua da cidade de Aracaju-SE, desde a produção de CBUQ em usina até a sua aplicação.

Em 2016, foram realizadas visitas técnicas na usina de asfalto da Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB), situado na Avenida João Bebe Água, localizada em São Cristovão-SE, para acompanhamento da produção do CBUQ, e observação da sua aplicação na Rua F do bairro Aruana em Aracaju-SE, executada por uma empresa terceirizada.

Na segunda parte, foram identificados os defeitos existentes após a implantação de rede de drenagem na rua já asfaltada (acima citada). Foi feita também, nesta etapa, uma avaliação objetiva dos defeitos encontrados por meio dos procedimentos fundamentados na norma do DNIT 006 (2003), para discutir os resultados obtidos a fim de identificar possíveis causas. Para isso foi feito em 2017 uma avaliação dos defeitos no pavimento, através de levantamento *in loco*, utilizando métodos descritos nos procedimentos de avaliação de pavimento asfáltico preconizadas pela referida norma.

6.1 ÁREA DE ESTUDO

A análise foi realizada na Rua Professor Jorge Luiz Trindade dos Santos no bairro Aruana de Aracaju-SE, a qual apresenta baixo tráfego de veículos, a pavimentação foi executada em 2016 e em 2017 foi feita a obra da implantação da rede de esgoto. A Rua possui extensão de 220 metros e está localizada entre a Rua João Dias Moraes e a Rua Itabyra Marques de Barros (Figura 6.1).

Figura 6.1 - Mapa de situação da Rua Prof. Jorge Luiz Trindade dos Santos



Fonte: Google Maps, 2017.

6.2 ACOMPANHAMENTO DO PROCESSO DE PAVIMENTAÇÃO

Através de visitas técnicas realizadas, foi possível acompanhar as etapas do processo de pavimentação, desde a sua produção em usina até a aplicação na rua.

6.2.1 Produção do CBUQ

Inicialmente foi necessária a obtenção de traço em laboratório. O modelo utilizado para a dosagem pela EMURB é o ensaio Marshall. A proposta dos métodos de dosagem de misturas asfálticas é determinar a proporção de ligante para uma distribuição granulométrica pré-estabelecida de agregado que resulte em desempenho satisfatório quando em serviço.

O ensaio feito pelo Técnico em laboratório consistiu em seleção dos materiais e separação granulométrica (peneiramento), pesagem, mistura dos agregados, aquecimento do CAP 50/70 até cerca de 150°C a 155°C, adição do CAP à mistura de agregados e medição da temperatura da mistura, moldagem, compactação e repouso dos corpos de provas em banho-maria. Como no dia da visita, o aparelho estava em manutenção, então foi utilizada uma pia com água. Após 24 horas o corpo de prova foi desmoldado para a realização do ensaio de compressão.

Segundo o Técnico laboratorista, o ensaio de tração é feito na Universidade Federal de Sergipe por falta do equipamento na EMURB.

As dosagens para produção do asfalto foram feitas a partir dos traços obtidos em laboratório, os materiais foram selecionados e armazenados próximos aos silos. A usina utilizada para a produção foi do tipo volumétrica, na qual os agregados foram postos nos silos e, através de processo computacional, foram colocados os volumes exatos de cada material já definido previamente em ensaio laboratorial. Um trator transportou os materiais armazenados até os silos da usina e os dados dos volumes dosados foram colocados no computador onde foi feito o processo todo automatizado.

Os volumes de cada material foram levados por esteiras até o misturador onde foram misturados e tiveram sua temperatura elevada a cerca de 160°C até que pudesse ser adicionada ao CAP, o qual é utilizado a temperatura de 150° a 155°C. O CAP foi armazenado em tonéis e levado a um aquecedor para adquirir a temperatura ideal, antes de ser misturado aos agregados. Após a adição do CAP na mistura de agregados, todo o material foi novamente misturado até atingir as condições ideais previamente estabelecidas. Antes da mistura ser despejada nos caminhões para o transporte até o local da execução, descartou-se uma remessa de CBUQ em retroescavadeiras para tentar garantir a limpeza e homogeneidade da mistura. Após a limpeza, a mistura foi despejada nos caminhões basculantes, os quais transportaram-na até o local da execução.

Os caminhões basculantes receberam o CBUQ da usina e em seguida cada motorista, do respectivo caminhão, cobriu a mistura com lona, a fim de não perder temperatura para o ambiente, durante o transporte até o local de aplicação.

6.2.2 Aplicação do Revestimento Asfáltico

O local de aplicação de revestimento asfáltico fica a uma distância de 24 km da usina, e durou cerca de duas horas de percurso. Com a chegada dos caminhões basculantes na Rua F do bairro Aruana da cidade de Aracaju-SE, o encarregado recebeu o CBUQ, o qual tem a responsabilidade de seguir o plano de execução da pavimentação asfáltica.

Foi observado no local que a camada de imprimação já tinha sido feita (Figura 6.2). Antes de o revestimento ser executado, os operários passaram uma pintura de

ligação na imprimação para facilitar a junção do revestimento novo, com a camada de imprimação. Após a aplicação da pintura, o CBUQ foi despejado na vibroacabadora para o seu devido espalhamento, e o correto alinhamento das camadas do revestimento, seguidos pelo processo de compactação.

Figura 6.2 - Camada imprimada



Fonte: O Autor.

6.2.3 Resultados e Discussões

Durante o processo de aplicação do revestimento asfáltico foram observadas algumas irregularidades. A imprimação já tinha sido feita, porém não havia sido feita nenhuma limpeza adequada próximo ao meio-fio da calçada (Figura 6.3), além de que em alguns trechos, a imprimação já estava danificada (Figura 6.4).

Foi observado também que não havia sinalização e nem um plano para despejos dos caminhões, pois eles passavam em trechos que tinham acabado de ser asfaltado naquele momento, danificando o pavimento (Figura 6.5), tendo que refazer várias vezes o serviço para a regularização daquele trecho com rolo compactador (Figura 6.6), e depois somente de forma manual (Figura 6.7).

Figura 6.3 - Lixo próximos aos meio-fios



Fonte: O Autor.

Figura 6.4 - Imprimação danificada



Fonte: O Autor.

Figura 6.5 - Rastro de passagem dos caminhões



Fonte: O Autor.

Figura 6.6 - Regularização de trilhas de roda com rolo compactador



Fonte: O Autor.

Figura 6.7 - Regularização manual das trilhas de rodas



Fonte: O Autor.

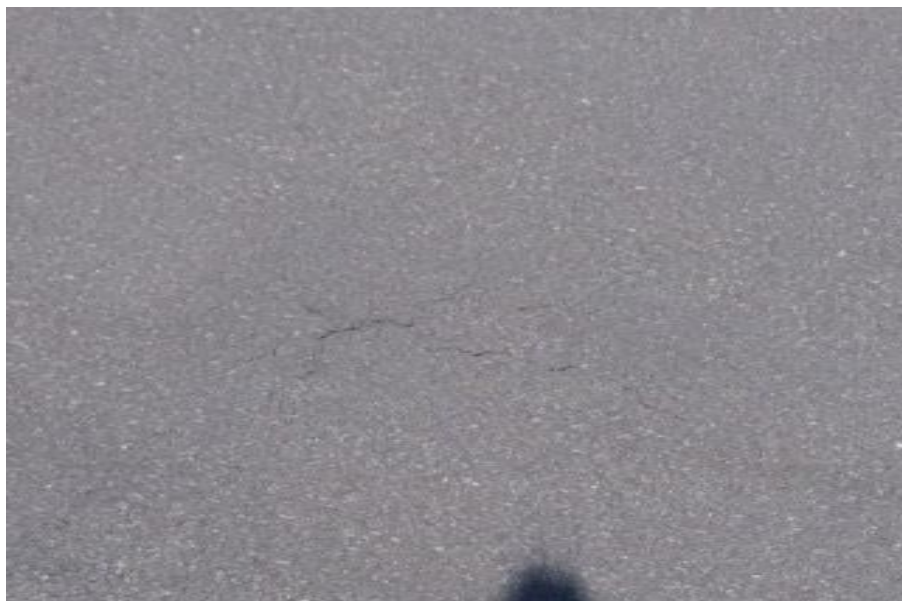
Após duas semana da aplicação do revestimento, foram observados alguns defeitos como desgastes (Figura 6.8) e fissuras (Figura 6.9).

Figura 6.8 - Desgaste em asfalto recém aplicado



Fonte: O Autor.

Figura 6.9 - Fissura no revestimento recém aplicado



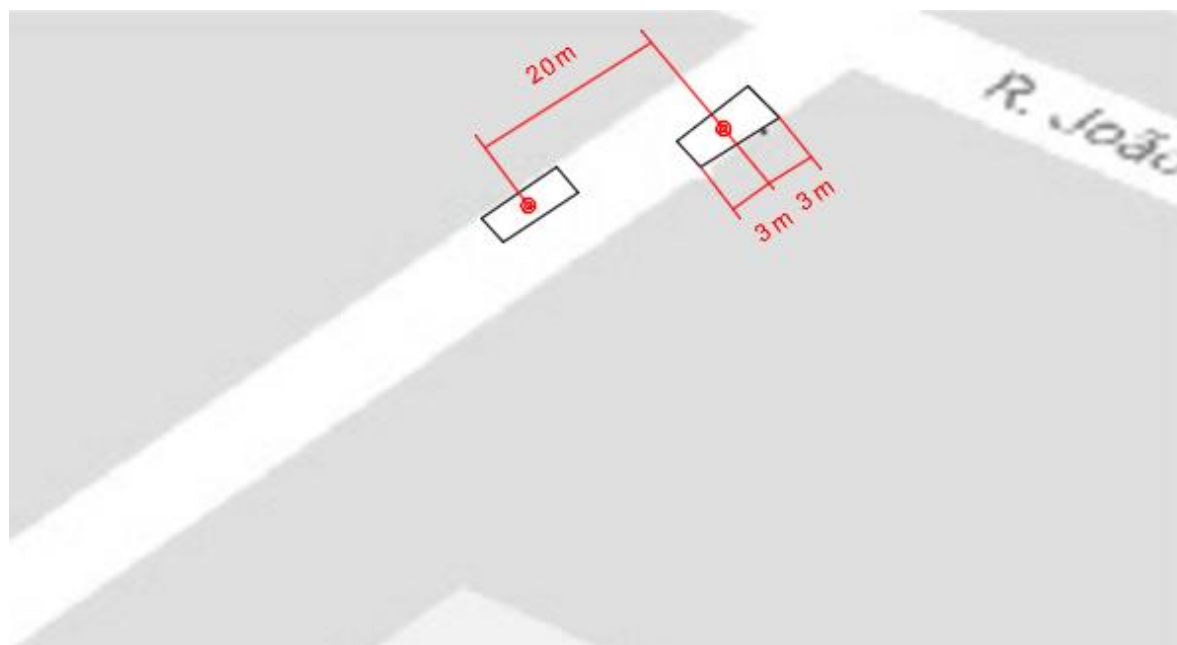
Fonte: O Autor.

6.3 AVALIAÇÃO OBJETIVA DO PAVIMENTO FLEXÍVEL

Em maio de 2017, foram feitas novas visitas técnicas na referida rua para identificar os defeitos que surgiram no revestimento um ano após a pavimentação estar concluída. Para isso, foi feito uma avaliação objetiva dos defeitos encontrados por meio dos procedimentos da norma do DNIT 006 (2003), para discutir os resultados obtidos a fim de identificar os principais defeitos possíveis causas.

Para coleta dos tipos de defeitos no revestimento, foi estabelecido uma estação de levantamento a cada 20m de extensão abrangendo uma área com largura total de um lado da pista de rolamento (total de 10 estações) e extensão de 6m cada, sendo 3m a ré da estação e 3m avante (Figura 6.10), conforme as recomendações da norma citada. A coleta foi realizada em maio de 2017, a pé nos trechos com inspeção visual e utilização de instrumento de medida, como régua de 4,5cm de largura e 2,00m de comprimento (como adaptação para medir os afundamentos) e uma trena de 5m. Os dados obtidos em campo foram compilados e organizados para avaliação das condições dos pavimentos e análise dos principais defeitos encontrados.

Figura 6.10 - Esquema da demarcação das estações



Fonte: O Autor.

Os dados foram processados e, posteriormente, separados em segmentos com características homogêneas. Em seguida, foi determinada a frequência absoluta e relativa dos defeitos anotados. Para os eventos detectados foi atribuído um peso ou fator de ponderação pré determinados pela norma, que determina sua maior ou menor importância no que diz respeito à serventia.

O produto da frequência relativa de cada efeito pelo seu fator de ponderação resulta no Índice de Gravidade individual (IGI), a soma de todos IGI's representa finalmente o valor do Índice de Gravidade Global (IGG) naquele segmento homogêneo.

O IGG permite classificar o estado geral de um determinado trecho homogêneo de pavimento, em função da incidência de defeitos de superfície. Ele é um indicador das condições do pavimento e apresenta cinco conceitos diferentes de acordo com os valores finais calculados (Quadro 6.1). As tabelas para cálculo do IGG encontram-se no Apêndice A e B.

Quadro 6.1 – Conceito dos limites do IGG

CONCEITO	LIMITES
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT 006, 2003.

6.3.1 Defeitos Observados

A falta de recapeamento adequado nos buracos deixados nos entornos dos poços de visita (PV's) foram falhas observadas na rua estudada (Figuras 6.11 e 6.12). Além disso, os PV's apresentaram desníveis entre a tampa e o revestimento.

Em todas as estações analisadas houve presença de desgastes (Figura 6.13) e em algumas delas possuem afundamento locais por consolidação.

Foi observada também a presença de algumas trincas transversais, destacando uma no fim do trecho avaliado, junto à esquina da Rua Itabyra Marques de Barros (Figura 6.14), além de alguns remendos (Figura 6.15).

Figura 6.11 - Má execução do recapeamento

Fonte: O Autor.

Figura 6.12 - Má execução de recapeamento em torno do pv



Fonte: O Autor.

Figura 6.13 - Desgaste



Fonte: O Autor.

Figura 6.14 - Trinca transversal



Fonte: O Autor.

Figura 6.15 - Remendo



Fonte: O Autor.

6.3.2 Resultados e Discussões

Após identificação dos dados obtidos a partir da avaliação das estações, foram devidamente preenchidas as Tabelas constantes dos Apêndices A e B, em

anexos. O Quadro 6.2 abaixo apresenta os tipos de defeitos encontrados e suas respectivas legendas de acordo com a norma do DNIT 005 (2003). O Quadro 6.3 apresenta o tipo de defeito presente em cada estação avaliada e o Quadro 6.4 apresenta um resumo do cálculo do IGI por tipo de defeito, obtendo-se portanto, o valor do IGG do revestimento da rua estudada.

Quadro 6.2 - Legenda dos tipos de defeitos encontrados

FI	Fissura
TTC	Trinca Transversal Curta
TTL	Trinca Transversal Longa
TLC	Trinca Longitudinal Curta
TLL	Trinca Longitudinal Longa
ALP	Afundamento Local Plástico
ALC	Afundamento Local por Consolidação
ATP	Afundamento de Trilha de roda Plástico
ATC	Afundamento de Trilha de roda por Consolidação
O	Ondulação ou Corrugação
P	Panela ou Buraco
E	Escorregamento
D	Desgaste
R	Remendo

Fonte: DNIT, 2003.

Quadro 6.3 - Tipos de defeitos por estação avaliada

Estação	Trincas Isoladas		ALC (4)	P (5)	D (7)	R (8)
	TTC (1)	TLC (1)				
1	X		X		X	
2			X		X	
3					X	
4				X	X	
5					X	X
6	X	X		X	X	X
7	X				X	
8			X		X	
9					X	
10	X	X	X	X	X	

Fonte: O Autor.

Quadro 6.4 - Resumo do cálculo do IGG da Rua avaliada

Item	Natureza do defeito	Frequencia relativa	Fator de ponderação	Indice de gravidade individual
1	Trinca isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	60%	0,2	12
2	(FC - 2) J, TB	0%	0,5	0
3	(FC - 3) JE, TBE	0%	0,8	0
4	ALP, ATP, ALC E ATC	40%	0,9	36
5	O, P e E	40%	1	40
6	EX	0%	0,5	0
7	D	100%	0,3	30
8	R	20%	0,6	12
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medias em mm nas TRI e TER	0%		0
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	0%		0
ESTAÇÕES =	10	IGG =		130

Fonte: O Autor.

A partir dos dados encontrados, notou-se a presença de desgastes em 100 % das seções analisadas, indicando o defeito predominante nos trechos observados.

Foram observadas trincas caracterizadas como longitudinais e transversais curtas, a frequência relativa do aparecimento foi de 20% e 40%, respectivamente.

Foi observado uma ondulação isolada, representando 10% de frequência relativa, localizada próximo à curva, ocasionado, possivelmente por conta da desagregação em local de frenagem; afundamentos locais por consolidação em 40% das seções; além de panelas isoladas que foram observados em 30% das seções, geradas provavelmente pela intensificação dos desgastes ou problemas na base.

Além desses defeitos, em algumas seções foram observados remendos (20% das seções analisadas), os quais possivelmente foram feitos para fechamento de buraco.

Fazendo a comparação do valor de IGG obtido através dos cálculos presentes no Quadro 6.3 com o intervalo presente no Quadro 6.1, o resultado

encontra-se no intervalo entre 80 e 160, caracterizando a condição do revestimento avaliado.

O principal defeito encontrado na avaliação do presente caso foi o desgaste do revestimento, e as possíveis causas para seu aparecimento podem estar relacionadas, segundo estudo nas referências bibliográficas, às falhas de adesividade ligante-agregado, problemas no teor do ligante e baixa temperatura do CBUQ para sua compactação. E todos eles estão ligados a má execução do revestimento.

Visto que a rua avaliada, possui um baixo tráfego e a execução do pavimento tem pouco mais de um ano, o aparecimento precoce dos defeitos provavelmente confirma a inadequação na realização do procedimento analisado.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho são apresentadas as seguintes conclusões:

O CBUQ tem sido o principal tipo de revestimento utilizado na pavimentação de vias urbanas, no Brasil e em Aracaju-SE não é diferente. Entretanto, ficou demonstrado que o processo de execução, compreendendo as etapas de produção, transporte e aplicação, tem apresentado inúmeras falhas de procedimento técnico, responsável pela aparição de vários defeitos, tais como: desgastes, afundamentos, trincas, etc., como pôde ser constatado no estudo de caso realizado.

Na produção do CBUQ em usina foi observado um inadequado armazenamento dos agregados, onde ficavam expostos a ações climáticas e não existia uma devida separação entre eles, além da falta de equipamentos necessários para adequada preparação do traço.

Durante a aplicação, foi observado falta de estudo, planejamento e fiscalização, já que não foi realizado uma análise da distância entre a usina e o local de aplicação, além de não existir sinalização nas ruas, o que gerou danos ao revestimento recém-asfaltado, ruas sem o correto acabamento lateral e aplicação do revestimento sem o devido nivelamento da imprimação.

Na avaliação objetiva realizada, foram constatados um incremento muito grande no número de defeitos, além do surgimento de novos defeitos, tais como corrugações, buracos, remendos, etc. Ressalta-se que a ocorrência precoce desses defeitos se deu com pouco mais de um ano do serviço executado, e em uma rua com baixo tráfego viário existente.

Portanto, com base com todas observações constatadas e aplicação da avaliação objetiva, conforme o procedimento do DNIT 006 de 2003 e cálculo do Índice de Gravidade Global, a condição do revestimento da rua estudada foi classificada como revestimento ruim.

8 TRABALHOS FUTUROS

Em continuidade á este trabalho, sugere-se alguns temas relevantes que pode complementá-lo:

- Acompanhar o processo de execução do CBUQ, realizando ensaios pré aplicação, afim de identificar as propriedades do revestimento, e analisar se está adequado para pavimentação.
- Estudar o sistema de drenagem da rua, verificando sua funcionalidade e interferência quanto a qualidade do pavimento e aparência de defeitos.
- Continuar a avaliação objetiva em todo o bairro, para caracterizar as condições dos revestimentos, podendo ter um parâmetro maior para encontrar as possíveis causas da aparição precoce dos defeitos.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 7207: **Terminologia e classificação de pavimentação**. Rio de Janeiro, 1982.

ALVES, J. C. M. **Direito Romano**. 6. Ed. Forense. São Paulo, 1987.

ANTUNES, M. *et al.* **Conservação e Reabilitação de Pavimentos Rodoviário**. LNEC, 2005.

BALBO, J. T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projeto e restauração. Ed. Oficina de Textos. São Paulo, 2007.

BERNUCCI, L.B.; *et al.* **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA. 2006.

COLAVITE, A. S. e KONISHI, F. **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. XII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET), Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <<http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos15/802267.pdf>>.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE (CNT). **Pesquisa CNT de rodovias, 2015**. Disponível em: <http://pesquisarodoviascms.cnt.org.br/Relatorio%20Geral/PESQUISA_CNT2015_BAIXA.pdf>. 02 fevereiro 2016.

_____. **Pesquisa CNT de rodovias, 2014**. Disponível em: <<http://gtexpress.net.br/wp-content/uploads/2014/11/Pesquisa-CNT-de-Rodovias-2014-GT-Express.pdf>>. Acesso em: 10 agosto 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). DNER-ME 138/94: **Misturas asfálticas: Determinação da resistência à tração por compressão diametral - método de ensaio**. Rio de Janeiro, 1994.

_____. DNER-ME 043/95: **Misturas asfálticas a quente – ensaio Marshall: método de ensaio.** Rio de Janeiro, 1995.

_____. **Glossário de termos técnicos rodoviários.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. DNER-EM 363/97: **Asfaltos diluídos tipo cura média.** Rio de Janeiro, 1997.

_____. DNER-ES 301/97: **Pavimentação – sub-base estabilizada granulometricamente.** Rio de Janeiro, 1997.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DNIT-ES 032/2005: **Pavimentos flexíveis – areia - asfalto a quente – especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2005.

_____. DNIT-ES 138/2010: **Pavimentação - Reforço do subleito - Especificação de serviço.** Rio de Janeiro, 2010.

_____. DNIT-TER 005/2003: **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. DNIT-PRO 006/2003: **Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimentos.** Rio de Janeiro, 2003.

_____. **Manual de pavimentação.** 3. Ed. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Manual de pavimentos rígidos.** 2. Ed. Rio de Janeiro, 2004.

FONTES, L. P. T. L. **Optimização do Desempenho de Misturas Betuminosas com Betume Modificado com Borracha para Reabilitação de Pavimentos.** Doutorado em Engenharia Civil. Universidade do Minho, 2009.

GONÇALVES F. P. **O Diagnóstico e a Manutenção dos Pavimentos.** Notas de aula, UFJF, Juiz de Fora, 1999.

MAIA, I. M. C. **Caracterização de patologias em pavimentos rodoviários**. Tese de mestrado em Engenharia civil. Universidade do Porto. Portugal, 2012.

MARQUES, G. L. O. **Camadas de pavimentos flexíveis**. Notas de aula, UFJF, Juiz de Fora, 2007.

MEDINA, J. **Mecânica dos Pavimentos**. 1. Ed. Rio de Janeiro, 1997, Editora UFRJ.

MUSEU VIRTUAL DO TRANSPORTE URBANO. **A evolução do transporte urbano**. Disponível em: <<http://www.museudantu.org.br/moderna.htm>>. Acesso em: 03 Ago. 2015.

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

PEREIRA P. e MIRANDA C. **Gestão da Conservação dos Pavimentos Rodoviários**. Universidade de Braga, 1999.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro, 2002.

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION (PCA). **Thickness design for concrete highway and street pavements; Canadian edition**. Skokie, 1984.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação Vol. 1 – 2**. Ed. PINI-SP, 2007.

SILVA, C. E. P. da. **Pavimento de concreto simples: Dimensionamento, execução e controle tecnológico**. Projeto Final de Graduação. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Rio Grande do Sul, 2008.

SILVA, P. F. A. **Manual de patologia e manutenção de pavimentos**. 2 ed. São Paulo: Editora Pini, 2008.

TEMA TRANSPORTES. **A história do ônibus.** Disponível em: <<http://www.tematransportes.com.br/assets/flip/mobile/index.html#p=1>>. Acesso em: 03 Ago. 2015.

ANEXO A - QUADRO RESUMO DOS DEFEITOS - CODIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO

DNIT 005/2003-TER

4

Anexo A (normativo)

Quadro resumo dos defeitos – Codificação e Classificação

FENDAS				CODIFICAÇÃO	CLASSE DAS FENDAS			
Fissuras				FI	-	-	-	
Trincas no revestimento geradas por deformação permanente excessiva e/ou decorrentes do fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Transversais	Curtas	TTC	FC-1	FC-2	FC-3	
			Longas	TTL	FC-1	FC-2	FC-3	
		Longitudinais	Curtas	TLC	FC-1	FC-2	FC-3	
			Longas	TLL	FC-1	FC-2	FC-3	
	Trincas Interligadas	"Jacaré"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	J	-	FC-2	-	
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	JE	-	-	FC-3	
Trincas no revestimento não atribuídas ao fenômeno de fadiga	Trincas Isoladas	Devido à retração térmica ou dissecação da base (solo-cimento) ou do revestimento		TRR	FC-1	FC-2	FC-3	
	Trincas Interligadas	"Bloco"	Sem erosão acentuada nas bordas das trincas	TB	-	FC-2	-	
			Com erosão acentuada nas bordas das trincas	TBE	-	-	FC-3	
OUTROS DEFEITOS				CODIFICAÇÃO				
Afundamento	Plástico	Local	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ALP				
		da Trilha	Devido à fluência plástica de uma ou mais camadas do pavimento ou do subleito	ATP				
	De Consolidação	Local	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ALC				
		da Trilha	Devido à consolidação diferencial ocorrente em camadas do pavimento ou do subleito	ATC				
Ondulação/Corrugação - Ondulações transversais causadas por instabilidade da mistura betuminosa constituinte do revestimento ou da base				O				
Escorregamento (do revestimento betuminoso)				E				
Exsudação do ligante betuminoso no revestimento				EX				
Desgaste acentuado na superfície do revestimento				D				
"Painéis" ou buracos decorrentes da desagregação do revestimento e às vezes de camadas inferiores				P				
Remendos			Remendo Superficial	RS				
			Remendo Profundo	RP				

NOTA 1: Classe das trincas isoladas

- FC-1: são trincas com abertura superior à das fissuras e menores que 1,0mm.
 FC-2: são trincas com abertura superior a 1,0mm e sem erosão nas bordas.
 FC-3: são trincas com abertura superior a 1,0mm e com erosão nas bordas.

NOTA 2: Classe das trincas interligadas

As trincas interligadas são classificadas como FC-3 e FC-2 caso apresentem ou não erosão nas bordas.

/Anexo B

APÊNDICE B - CÁLCULO DO IGG DA RUA AVALIADA

Item	Natureza do defeito	Frequência absoluta	Frequência absoluta considerada	Frequencia relativa	Fator de ponderação	Índice de gravidade individual	Observações
1	Trinca isoladas FI, TTC, TTL, TLC, TLL, TRR	6	6	60%	0,2	12	
2	(FC - 2) J, TB	0	0	0%	0,5	0	
3	(FC - 3) JE, TBE	0	0	0%	0,8	0	
4	ALP, ATP, ALC E ATC	4		40%	0,9	36	
5	O, P e E	4		40%	1	40	
6	EX	0		0%	0,5	0	
7	D	10		100%	0,3	30	
8	R	2		20%	0,6	12	
9	Média aritmética dos valores médios das flechas medias em mm nas TRI e TER	0	0	0%		0	
10	Média aritmética das variâncias das flechas medidas em ambas as trilhas	0	0	0%		0	
NÚMERO TOTAL DE ESTAÇÕES INVENTARIADAS		10	SOMATÓRIO DOS ÍNDICE DE GRAVIDADE INDIVIDUAL =			130	RUIM