

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Olindo Deboni**

**REVESTIMENTO ASFÁLTICO COM TRATAMENTO  
SUPERFICIAL DUPLO: ADESIVIDADE ENTRE OS  
LIGANTES ESTUDADOS E O AGREGADO DE BASALTO**

Porto Alegre  
junho 2016

**OLINDO DEBONI**

**REVESTIMENTO ASFÁLTICO COM TRATAMENTO  
SUPERFICIAL DUPLO: ADESIVIDADE ENTRE OS  
LIGANTES ESTUDADOS E O AGREGADO DE BASALTO**

Projeto de Pesquisa do Trabalho de Diplomação a ser apresentado  
ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos  
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Jorge Augusto Pereira Ceratti**

Porto Alegre

junho 2016

**OLINDO DEBONI**

**REVESTIMENTOS ASFÁLTICO COM TRATAMENTO  
SUPERFICIAL DUPLO: ADESIVIDADE ENTRE OS  
LIGANTES ESTUDADOS E O AGREGADO DE BASALTO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2016

Prof. D.Sc. Jorge Augusto Pereira Ceratti  
D.Sc. pela Universidade Federal do Rio de Janeiro  
Orientador

Profa. Luciani Somenzi Lorenzi  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Washington Peres Núñez**  
**(UFRGS)**  
Dr. pelo CPGEC/UFRGS

**Prof. Lélío Antônio Teixeira Brito**  
**(PUCRS)**  
PhD. pela University of Nottingham

**Prof. Jorge Augusto Pereira Ceratti**  
**(UFRGS)**  
DSc. pela COPPE/UFRJ

**Marlova Grazziotin Johnston**  
**(UFRGS)**  
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho à minha família, aos meus amigos de faculdade e aos meus colegas de trabalho, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente, agradeço à minha família, em especial aos meus pais e minhas irmãs, por todo o apoio, sempre me incentivando em todas as etapas da minha vida e por terem me proporcionado a oportunidade de seguir meus sonhos e chegar até aqui.

Ao Prof. Ceratti, orientador desse trabalho, pela confiança, pelo apoio, por coordenar de forma única o Lapav e por ser um exemplo pela carreira dedicada à pesquisa e ao ensino.

Ao Douglas Mocellin, por me incentivar e me apoiar com inúmeras contribuições feitas a este trabalho.

À Profa. Carin Schmitt, por toda a sua paciência, dedicação e esforço em aprimorar este trabalho durante a sua fase de concepção.

À Marlova por também ter contribuído para este trabalho e pelo entusiasmo, transmitindo a vontade de buscar sempre o melhor.

Ao Lapav, por ter disponibilizado um local propício para minhas pesquisas, tendo colaborado grandemente a formação deste trabalho, pela amizade e auxílio neste trabalho.

A todos os meus companheiros, meus amigos de faculdade, pelas horas de estudo, trabalhos, provas, e também pelos momentos de diversão, sem os quais meus objetivos não seriam conquistados.

A menor minoria na terra é o indivíduo. Aqueles que negam os direitos individuais não podem se dizer defensores das minorias.

*Ayn Rand*

## RESUMO

Este trabalho é um estudo de laboratório sobre o comportamento de ligantes betuminosos do tipo RR-2C, utilizados no revestimento asfáltico composto por Tratamento Superficial Duplo - TSD, um dos métodos de revestimento de rodovias mais utilizado pelos departamentos responsáveis pela pavimentação em seus respectivos estados. Para se tornar um revestimento de bom custo-benefício, seus materiais constituintes devem ter boa qualidade, respeitando as normas que versam sob sua dosagem e, principalmente, ter uma execução correspondente com sua especificação de serviço. A adesividade do ligante betuminoso com o agregado pétreo deve ser completa, proporcionando uma superfície de agregado totalmente recoberta, dificultando a entrada da água nas camadas de pavimentos subjacentes. O método de revestimento asfáltico denominado Tratamento Superficial Duplo (TSD) é uma alternativa para rodovias com baixo volume de tráfego, pois acompanha as deformações do pavimento, dificultando o aparecimento de trincas de fadiga. Existem diversos ensaios que podem ser utilizados para caracterizar o TSD, tanto para a emulsão RR-2C de maneira isolada, quanto para a mistura. Neste trabalho, os ensaios utilizados foram: (ABNT NBR 6300 - Emulsões asfálticas catiônicas) Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos; (ABNT NBR 14393 – Emulsões asfálticas) Determinação da peneiração. Foram utilizadas quatro amostras da emulsão de ruptura rápida, fornecidas de diferentes empresas que trabalham com serviços de pavimentação no estado do Rio Grande do Sul, sendo que o agregado de basalto utilizado para todos os ensaios teve o mesmo parâmetro de qualidade para as quatro amostras. Os resultados dos ensaios mostraram que o limite máximo de resíduo retido na peneira não foi ultrapassado em nenhuma das amostras de emulsão ensaiadas, ficando bem abaixo do previsto na norma DAER-ES-P 15/11. Do mesmo modo, analisando-se a adesividade das amostras com o respectivo agregado, todas estavam de acordo com a norma ABNT NBR 6300, ou seja, o agregado foi recoberto de maneira homogênea.

Palavras-chave: Revestimento. Tratamento Superficial. Emulsão.  
Ensaio de Peneiramento. Ensaio de Adesividade.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho .....	18
Figura 2 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego .....	27
Figura 3 – Ábaco de dimensionamento .....	28
Figura 4 – Características das camadas de pavimento de baixo custo .....	29
Figura 5 – Coeficientes de equivalência estrutural .....	30
Figura 6 – Respectivas espessuras do pavimento com TSD .....	32
Figura 7 – Camadas que compõem o TSD .....	35
Figura 8 – Aspecto visual de rodovia com revestimento por TSD .....	36
Figura 9 – Recomendação para agregados de tratamentos superficiais .....	38
Figura 10 – Caixa dosadora para tratamento superficial .....	40
Figura 11 – Graduação dos agregados usados no exemplo .....	42
Figura 12 – Resultado dos demais ensaios .....	42
Figura 13 – Resultado da dosagem .....	43
Figura 14 – Contorno para aplicação do método do mosaico .....	43
Figura 15 – Elementos principais de um veículo espargidor completo .....	45
Figura 16 – Equipamento espargidor e distribuidor de agregados combinado .....	46
Figura 17 – Etapas construtivas de um tratamento superficial simples .....	47
Figura 18 – Etapas construtivas com o uso de equipamento multi distribuidor .....	48
Figura 19 – Limpeza da superfície com vassoura de arrasto .....	49
Figura 20 – Esquema de aplicação do ligante .....	49
Figura 21 – Execução de juntas transversais .....	51
Figura 22 – Execução de juntas longitudinais .....	52
Figura 23 – Compressão de agregados com rolo misto .....	53
Figura 24 – Controle tecnológico da emulsão asfáltica do TSD .....	55
Figura 25 – Controle tecnológico dos agregados do TSD .....	55
Figura 26 – Controle tecnológico da execução do TSD .....	56
Figura 27 – Controle tecnológico do TSD .....	57
Figura 28 – Evolução dos defeitos causados por falta de adesividade .....	62
Figura 29 – Processo de fabricação das emulsões asfálticas .....	64
Figura 30 – Esquema representativo de uma emulsão asfáltica .....	65
Figura 31 – Aspecto visual da peneira utilizada .....	67
Figura 32 – Aspecto visual do cesto utilizado .....	68
Figura 33 – Diferentes estufas utilizadas no ensaio .....	69



Figura 34 – Aspecto da formação do filme de ligante sobre a pedra basalto .....	71
Figura 35 – Representação convencional de curvas granulométricas .....	71
Figura 36 – Ensaios e valores limites .....	72
Figura 37 – Granulometria do agregado .....	73
Figura 38 – Classificação da forma das partículas .....	74
Figura 39 – Especificação da emulsão asfáltica catiônica .....	76
Figura 40 – Aplicação das emulsões por tipo de serviço .....	77
Figura 41 – Localização da cidade onde se encontra a Empresa A .....	79
Figura 42 – Localização da cidade onde se encontra a Empresa B .....	80
Figura 43 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa B .....	80
Figura 44 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa C .....	81
Figura 45 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa D .....	82
Figura 46 – Determinação da massa do conjunto peneira e fundo .....	84
Figura 47 – Emulsão retida sobre a peneira .....	85
Figura 48 – Agregado retido na peneira 3/8” .....	87
Figura 49 – Aquecimento da amostra de emulsão .....	87
Figura 50 – Vista lateral e superior do cesto de agregado umedecido .....	88
Figura 51 – Vista lateral e superior da amostra de emulsão e agregado .....	89
Figura 52 – Formação da película de emulsão sobre o agregado .....	89
Figura 53 – Ruptura da película de emulsão .....	90
Figura 54 – Béquer em estufa .....	91
Figura 55 – Aspecto visual da adesividade da amostra A .....	93
Figura 56 – Aspecto visual da adesividade da amostra B .....	94
Figura 57 – Aspecto visual da adesividade da amostra C .....	94
Figura 58 – Aspecto visual da adesividade da amostra D .....	95

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos unitários do TSS, TSD, TST e capa selante .....	59
Tabela 2 – Características das empresas e da coleta das amostras de ligante .....	82
Tabela 3 – Resultados obtidos do peneiramento .....	92
Tabela 4 – Resultados visuais obtido da adesividade .....	95

## **LISTA DE SIGLAS**

ABEDA – Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto

ADP – Asfalto Diluído do Petróleo

ANP – Agência Nacional do Petróleo

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBR – Índice de Suporte Califórnia

CM – Cura Média

DER – Departamento de Estradas de Rodagem

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

EAP – Emulsão Asfáltica de Petróleo

EP – Modificada por polímeros

ES – Especificação de serviço

MRAF – Micro revestimento asfáltico aplicado à frio

TS – Tratamento de Superfície

TSD – Tratamento Superficial Duplo

TSS – Tratamento Superficial Simples

TST – Tratamento Superficial Triplo

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

VDM – Volume Diário Médio

## LISTA DE SÍMBOLOS

A – área da placa (m<sup>2</sup>)

% – por cento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>15</b>
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA .....</b>	<b>16</b>
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	16
2.2 OBJETIVO DE PESQUISA.....	16
2.3 HIPÓTESE .....	16
2.4 PRESSUPOSTO .....	16
2.5 PREMISA .....	16
2.6 DELIMITAÇÕES .....	17
2.7 LIMITAÇÕES .....	17
2.8 DELINEAMENTO .....	17
<b>3 FUNDAMENTOS DA PAVIMENTAÇÃO .....</b>	<b>20</b>
3.1 PAVIMENTOS .....	20
<b>3.1.1 Definição .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.2 Classes de pavimentos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.1.3 Revestimento .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.4 Conceito de pavimento de baixo custo .....</b>	<b>22</b>
3.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL .....	23
3.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS.....	24
<b>3.3.1 Pavimento de Baixo Custo .....</b>	<b>26</b>
3.3.1.1 Tráfego .....	27
3.3.1.2 Considerações sobre o subleito .....	27
<b>3.3.2 Dimensionamento de pavimentos de baixo custo .....</b>	<b>27</b>
3.3.2.1 Espessura das camadas .....	27
3.3.2.2 Espessuras mínimas e materiais recomendados .....	28
3.3.2.3 Coeficientes de equivalência estrutural .....	29
<b>3.3.3 Exemplo para TSD .....</b>	<b>31</b>
<b>4 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS .....</b>	<b>33</b>
4.1 DEFINIÇÕES .....	33
4.2 TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO.....	34
4.3 DOSAGEM .....	36
<b>4.3.1 Método experimental direto da caixa dosadora .....</b>	<b>38</b>
<b>4.3.2 Método experimental direto do mosaico .....</b>	<b>43</b>

4.4 EXECUÇÃO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO .....	44
<b>4.4.1 Equipamentos .....</b>	<b>44</b>
<b>4.4.2 Execução .....</b>	<b>46</b>
4.4.2.1 Limpeza da superfície .....	48
4.4.2.2 Espargimento do ligante .....	49
4.4.2.3 Juntas transversais de execução .....	50
4.4.2.4 Juntas longitudinais de execução .....	51
4.4.2.5 Distribuição de agregados .....	52
4.4.2.6 Compressão de agregados .....	53
4.4.2.7 Eliminação dos rejeitos .....	54
4.4.2.8 Liberação ao tráfego .....	54
<b>4.4.3 Controle tecnológico .....</b>	<b>54</b>
<b>4.4.4 Controle geométrico .....</b>	<b>57</b>
<b>4.4.5 Aceitação e medição .....</b>	<b>58</b>
<b>4.4.6 Pagamento e custos .....</b>	<b>58</b>
4.5 OUTROS TIPOS DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS .....	59
4.6 ADESIVIDADE .....	61
<b>5 EMULSÕES ASFÁLTICAS.....</b>	<b>63</b>
5.1 DEFINIÇÕES .....	63
5.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO .....	63
5.3 CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES .....	64
<b>6 PROGRAMA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>66</b>
6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	66
6.2 APARELHAGEM DO TESTE DE PENEIRAMENTO .....	66
6.3 APARELHAGEM DO TESTE DE ADESIVIDADE .....	68
6.4 MATERIAIS .....	70
<b>6.4.1 Agregado .....</b>	<b>70</b>
6.4.1.1 Granulometria .....	72
6.4.1.2 Forma de partículas .....	74
<b>6.4.2 Emulsão asfáltica .....</b>	<b>74</b>
<b>6.4.3 Água destilada .....</b>	<b>77</b>
<b>7 ESCOLHA DAS EMPRESAS .....</b>	<b>78</b>
7.1 EMPRESA A .....	78
7.2 EMPRESA B .....	79
7.3 EMPRESA C .....	81

7.4 EMPRESA D .....	81
<b>8 MÉTODOS .....</b>	<b>83</b>
8.1 ENSAIO DE PENEIRAMENTO .....	83
<b>8.1.1 Procedimento .....</b>	<b>83</b>
<b>8.1.2 Expressão dos resultados .....</b>	<b>86</b>
8.2 ENSAIO DE ADESIVIDADE .....	86
<b>8.2.1 Preparação da amostra .....</b>	<b>86</b>
<b>8.2.2 Procedimento .....</b>	<b>88</b>
<b>8.2.3 Expressão dos resultados .....</b>	<b>91</b>
<b>9 RESULTADOS E ANÁLISES .....</b>	<b>92</b>
9.1 RESULTADO DO PENEIRAMENTO .....	92
9.2 RESULTADO DA ADESIVIDADE .....	93
<b>10 CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>	<b>96</b>
10.1 CONCLUSÕES .....	96
10.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	97
REFERÊNCIAS .....	98





## 1 INTRODUÇÃO

O estudo dos revestimentos asfálticos no Brasil tem por foco métodos eficientes. De execução rápida e de amplas condições de uso. Pode haver, porém, um problema quanto à qualidade de ligantes betuminosos utilizados em revestimentos de rodovias, que é o caso do cimento asfáltico e da emulsão asfáltica.

O tipo Tratamento Superficial Duplo (TSD) utiliza dois materiais: ligante betuminoso e agregado mineral. Esses dois elementos devem satisfazer determinadas especificações que garantam sua eficiência e compatibilidade entre eles, o que é fundamental para que o revestimento tenha a qualidade desejada.

A adesividade é o parâmetro mais significativo quando se trata de revestimento tipo TSD. Estudar a adesividade é fundamental para entender o comportamento desse tipo de revestimento. Nesse trabalho será abordada a adesividade dos ligantes comumente utilizados para revestimento tipo TSD.

É necessário ter em mente que o tipo de revestimento abordado é executado sobre uma superfície já imprimada, de acordo com os alinhamentos, greides e seções transversais de projeto.

Outro aspecto interessante deste método é que a execução deste serviço é totalmente feita no local de aplicação, consistindo de um banho de ligante betuminoso e posterior espalhamento do agregado com características específicas para sua aderência e fixação.

O agregado utilizado para o presente estudo foi o resultante da britagem do basalto. Será analisada a adesividade dos ligantes asfálticos ao agregado utilizado em obras rodoviárias no Rio Grande do sul, utilizando minuciosos testes e análises.

## **2 DIRETRIZES DA PESQUISA**

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### **2.1 QUESTÃO DE PESQUISA**

A questão de pesquisa do trabalho é: há adesividade entre ligantes asfálticos com o agregado de basalto testado, para uso em revestimento por Tratamento Superficial Duplo?

### **2.2 OBJETIVO DA PESQUISA**

O objetivo principal do trabalho é a verificação da adesividade de ligantes utilizados em revestimentos por Tratamento Superficial Duplo.

### **2.3 HIPÓTESE**

A hipótese do trabalho é que os ligantes betuminosos testados têm adesividade ao agregado utilizado.

### **2.4 PRESSUPOSTO**

O trabalho tem por pressuposto que os procedimentos de verificação da adesividade, de verificação do agregado e do ligante irão seguir as diretrizes descritas nas normas: DAER-ES-P 15/11 (DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM, 2011) e NBR 12583/1992 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992), válidas para esses procedimentos.

### **2.5 PREMISA**

O trabalho tem por premissa que mesmo a adesividade sendo o parâmetro mais importante em um revestimento por Tratamento Superficial Duplo, não há estudos levando em conta diferentes tipos de ligantes asfálticos para um mesmo tipo de agregado.

## 2.6 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se à avaliação de quatro ligantes e britas de um tipo de basalto para uso em revestimento asfáltico pelo método de Tratamento Superficial Duplo.

## 2.7 LIMITAÇÕES

O trabalho limita-se a:

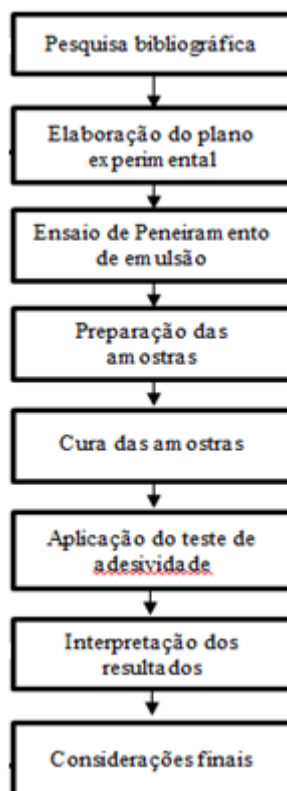
- a) agregado,
  - basáltico, passante na peneira 3/4” e retido na 3/8”, com origem na cidade de Santo Antônio da Patrulha, no Rio Grande do Sul.
- b) emulsão asfáltica,
  - comercial, obtida de diferentes empresas de pavimentação com sedes no estado do Rio Grande do Sul;
  - catiônica, de ruptura rápida, conhecida por RR-2C.

## 2.8 DELINEAMENTO

O trabalho será realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

- a) pesquisa bibliográfica;
- b) elaboração do plano experimental;
- c) ensaio de peneiramento da emulsão;
- d) preparação das amostras;
- e) cura das amostras;
- d) aplicação dos testes de adesividade;
- e) interpretação dos resultados;
- f) considerações finais

Figura 1 – Diagrama das etapas do trabalho



(fonte: elaborado pelo autor)

A **pesquisa bibliográfica** teve como objetivo o aprofundamento e conhecimento do tema escolhido e a obtenção de informações relativas às misturas agregado-ligante. Procuraram-se estudos e publicações recentes acerca da influência dos tipos de ligantes em diferentes tipos aplicações asfálticas e o comportamento referente à resistência de revestimentos por Tratamento Superficial Duplo aplicado em rodovias e suas propriedades em geral.

Na etapa de **elaboração do plano experimental** foram definidas as propriedades da amostra:

- a) teores de agregado;
- b) teores de ligantes;
- c) tempo de teste das amostras.

Após a elaboração do plano experimental, foi iniciado o **ensaio de peneiramento de emulsão**, que foi executado para as quatro amostras de ligantes, respectivamente, empresa A, B, C ou D. Na sequência, o agregado foi lavado e colocado em um frasco com água destilada durante 60 segundos, depois foi levado para a estufa, onde permanecerá por 2 horas. Após

essa etapa, ocorreu a **preparação das amostras**, quando foi adicionado o ligante sobre o agregado, respeitando as propriedades estabelecidas. No procedimento de **cura das amostras** foi utilizada uma placa de vidro com superfície lisa a fim de que o ligante esfrie-se ou cure-se ou se rompa-se.

Posterior a essa etapa, foi iniciada a **aplicação dos testes de adesividade**. A amostra foi inserida em um béquer, sendo totalmente recoberta por água destilada. A seguir, o recipiente foi colocado na estufa a 40°C e mantido em repouso durante 72 horas.

Assim que as etapas anteriores foram concluídas foi feita a **interpretação dos resultados** obtidos. Por fim, as **considerações finais** foram baseadas na etapa de interpretação e de pesquisa bibliográfica.

### 3 FUNDAMENTOS DA PAVIMENTAÇÃO

A Confederação Nacional do Transporte (2014, p. 9) ressalta que a história do transporte rodoviário brasileiro, utilizando rodovias pavimentadas, começou no ano de 1861, através da inauguração da primeira estrada brasileira, intitulada Estrada União Indústria, a qual interligava o estado do Rio de Janeiro ao de Minas Gerais. Atualmente, o modal rodoviário lidera a matriz de transporte nacional.

De forma a esclarecer os métodos relacionados à pavimentação, esse capítulo tem por intuito abordar os fundamentos da configuração dos pavimentos com foco nos revestimentos asfálticos, apresentando desde definições básicas até fundamentos de seu comportamento estrutural.

#### 3.1 PAVIMENTOS

A pavimentação de uma via de circulação está diretamente relacionada com a melhoria operacional do tráfego. Entre os principais objetivos ao se pavimentar uma via, está o de criar uma superfície mais regular para garantir um melhor conforto no deslocamento do veículo, tornar a superfície mais aderente para garantir segurança em condições de pista molhada, e fazer com que a superfície fique menos ruidosa diante da ação dos pneumáticos para garantir melhor conforto ambiental (BALBO, 2007, p. 15).

A Confederação Nacional do Transporte (2014, p. 34) salienta deficiências no modelo de pavimentação brasileiro: “Um dos problemas encontrados no Brasil, relacionado à estrutura dos pavimentos flexíveis, é o não atendimento às exigências técnicas, tanto da capacidade de suporte das camadas do pavimento, como da qualidade dos materiais empregados no revestimento. Falhas construtivas têm como consequência um processo de deformação mais acelerado [...]”.

A melhor condição de rolamento de uma via de circulação traz aos usuários uma expressiva redução nos custos operacionais, isto porque as condições de superfície dos pavimentos estão associadas aos custos de operação e de manutenção dos veículos. Além disso, a regularidade

permite o desenvolvimento de maiores velocidades gerando economia de combustível e economia nos tempos de viagem (BALBO, 2007, p. 15).

### **3.1.1 Definição**

Segundo Balbo (2007, p. 35), a estrutura do pavimento é concebida, em seu sentido puramente estrutural, para receber e transmitir esforços de maneira a aliviar pressões sobre as camadas inferiores, que geralmente são menos resistentes, embora isso não seja tomado como regra geral.

Bernucci et al. (2006, p. 9) elucida:

Pavimento é uma estrutura de várias camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, com finalidade econômica e técnica de suportar os esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, propiciando aos usuários conforto, segurança, economia e melhoria nas condições de rolamento.

### **3.1.2 Classes de pavimentos**

Os pavimentos rodoviários são classificados, de maneira geral, em duas categorias, relativas à natureza de seus elementos: pavimento rígido e pavimento flexível.

Bernucci et al. (2006, p. 9) salienta que os pavimentos rígidos são aqueles que possuem revestimento com placa de concreto Portland, sendo sua espessura definida em função da resistência à flexão das placas e das resistências das camadas subjacentes. Essa classe de pavimentos possui subcamada denominada como sub-base, pois a qualidade do material desta camada é equivalente à sub-base dos pavimentos flexíveis. As placas de concreto podem ou não ser armadas com barras de aço.

No que se refere à classe dos denominados pavimentos flexíveis, Bernucci et al. (2006, p. 9) define como aqueles onde o revestimento é composto por uma mistura, a qual é constituída de agregados e ligantes asfálticos. Essa categoria de pavimentos geralmente possui quatro camadas principais: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço de subleito.

### 3.1.3 Revestimento

Conforme Bernucci et al. (2006, p. 9), “O revestimento asfáltico é a camada superior destinada a resistir diretamente às ações do tráfego e transmiti-las de forma atenuada às camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de melhorar as condições de rolamento [...]”.

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 55) ressalta que a estrutura de um pavimento flexível funciona de maneira monolítica, onde as camadas estão ligadas entre si permitindo que o sistema interaja, de modo que respondam aos esforços solicitantes de maneira conjunta. Através da aderência entre as camadas, estas passam a ter um comportamento de material monolítico, de modo que os esforços, aos quais o revestimento sozinho sucumbiria, sejam assimilados pelas camadas subjacentes.

Misturas asfálticas consistem basicamente na mistura de agregados pétreos com ligantes asfálticos. Existem diferentes tipos de misturas asfálticas, podendo ser classificadas de acordo com a temperatura empregada em sua produção, sendo divididas em quatro grupos, ou seja, misturas a quente, misturas mornas, misturas semimornas e misturas a frio (MOTTA, 2011).

O sucesso do revestimento asfáltico está intrinsecamente ligado á obtenção de uma mistura com uma ótima graduação de agregados e da porcentagem de ligante betuminoso, a fim de ser durável, resistente a fraturas e desagregações, sem se tornar instável frente às condições climáticas e ao tráfego esperado. (PINTO; PREUSSLER. 2002, p. 18).

Balbo (2007, p. 36) salienta que uma das funções do revestimento é receber cargas estáticas ou dinâmicas, sem sofrer deformações elásticas ou plásticas excessivas, perda de compactação e desagregação de componentes. O revestimento precisa ser composto de materiais bem aglutinados para que se evite a sua movimentação horizontal.

### 3.1.4 Conceito de pavimentos de Baixo Custo

Villibor et al. (2009, p. 23) salienta que um pavimento é considerado do tipo Baixo Custo quando atende certas exigências:



- a) utiliza bases compostas de solos locais *in natura*, ou em misturas, com custos substancialmente inferiores às bases convencionais, que são: brita graduada, solo cimento, macadame betuminoso ou macadame hidráulico;
- b) utiliza revestimento betuminoso de pequena espessura do tipo tratamento superficial ou concreto betuminoso usinado a quente, com espessura não ultrapassando os 3 cm;
- c) é dimensionado a fim de dar suporte a tráfego urbano, de muito leve a leve e a tráfego rodoviário, com VDM inferior a 1500 veículos, com no máximo 30% de veículos comerciais, e com  $N < 5 \times 10^6$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN.

O grande déficit de pavimentos urbanos e a falta de recursos financeiros levaram à adoção, por parte de algumas prefeituras, de pavimentos alternativos com custos inferiores aos tradicionalmente empregados. (VILLIBOR et al, 2009, p. 115)..

### 3.2 COMPORTAMENTO ESTRUTURAL

A existência de esforços de tração e compressão no decorrer das camadas de um pavimento sugere a existência de uma linha neutra. Para a correta interpretação dos esforços é preciso imaginar uma linha vertical abaixo do ponto de aplicação de cargas (BALBO, 2007, p. 57).

Relacionado ao comportamento estrutural, Balbo (2007, p. 58) salienta:

- a) as camadas de base granulares estão sempre submetidas à compressão por confinamento;
- b) nas camadas de misturas asfáltica apoiadas sobre base granular ocorre compressão no topo e tração no fundo do material, isto devido á presença de linha neutra em sua espessura;
- c) as camadas de misturas asfálticas apoiadas sobre bases rígidas ficam sujeitas a esforços de compressão em toda a sua altura (espessura), não existindo linha neutra;
- d) quando bem aderidas, ocorre comportamento composto entre revestimentos de concreto e bases cimentadas, bem como entre revestimentos de concreto e camadas de base asfálticas;
- e) devido a aderência, é evidente o comportamento composto entre a camada de base e de sub-base em pavimentos perpétuos, o que obriga naturalmente a igualdade das deformações na interface das camadas;
- f) quando ocorre comportamento composto entre duas camadas, a camada inferior fica com todas as suas fibras horizontais tracionadas, e a camada superior fica com a sua face inferior tracionada;

- g) a origem dos esforços de tração e compressão é devido ao comportamento em flexão sob ação de cargas dos materiais que contém ligantes asfálticos ou hidráulicos;
- h) há a ocorrência de duas linhas neutras nos pavimentos semi-rígidos invertidos, uma no revestimento asfáltico e outra na sub-base cimentada.

### 3.3 DIMENSIONAMENTO DE PAVIMENTOS

Balbo (2007, p. 376) define a subdivisão dos métodos de projeto de pavimentos nos seguintes tópicos:

- a) métodos empíricos: com concepção baseada na evolução de condição dos pavimentos, com dados medidos em campo associados e tabulados a grandezas como resistência dos materiais e repetição de cargas, este critério empírico limita-se ao campo de aplicação, visto que sua reprodutibilidade é restrita á áreas que possuem condições naturais semelhantes às condições da área de experimentação observacional;
- b) métodos semi-empíricos: gerados por extrapolações racionais teóricas de modelo observacional obtido pelo acúmulo de experiências e dados;
- c) métodos empíricos mecanicistas: também conhecidos como métodos semiteóricos, são aqueles que, de forma analítica e coerente, procuram avaliar o comportamento estrutural de sistemas de camadas de pavimentos. Está análise é executada através de parametrização dos materiais por meio do conhecimento empírico, laboratorial ou de pista, observando as características mecânicas dos materiais.

A existência de vários métodos para dimensionar pavimentos pode ser atribuída às diversas condições geológicas, pedológicas, de tráfego e ambientais, como também às diferentes opiniões entre técnicos. Todavia, pode-se atribuir essas diferenças a não existência de uma descrição precisa, em termos quantitativos, da maneira de como se constitui a ruptura do pavimento. Dessa forma, pode-se afirmar que as diferenças entre os diversos métodos de dimensionamento são norteadas pelos distintos critérios de ruptura das estruturas. (BALBO, 2007, p. 375).

Segundo Pinto e Preussler (2002, p. 158), o projeto de um pavimento se relaciona aos mais diversos parâmetros de estudos, compreendendo:

- a) o dimensionamento, onde é feita a determinação da espessura total e das espessuras das diferentes camadas constituintes;
- b) a seleção dos materiais que irão formar as camadas constituintes;
- c) o apontamento dos requisitos da drenagem subsuperficial e superficial, de acordo com a estrutura do pavimento com suas variadas condições;

- d) a avaliação econômica das várias soluções, levando em consideração a natureza do tráfego, os materiais disponíveis, seu transporte e utilização, também a experiência local e as disponibilidades financeiras;
- e) considerar que o pavimento, diferentemente de outras obras estruturais, apresenta uma extensão de vários quilômetros, com espessura variante;
- f) julgar que a pavimentação de uma estrada de rodagem necessita de grandes investimentos;
- g) considerar as “Investigações Geotécnicas”, em seus itens: Estudo do Subleito de Trechos Implantados, Estudo de Cortes, Estudo do Subleito de Trechos Implantados, Ocorrência de Solos e Materiais Granulares, Estudo de Pedreiras e Ocorrências de Rochas;
- h) o subleito do pavimento pode variar muito quanto à natureza geológica, devido à soma das influências de variação vertical nas seções e da variação horizontal decorrente de diferentes características do terreno;
- i) os dados referentes aos materiais e aos solos devem ser interpretados levando em conta as diferentes solicitações que o pavimento recebe;
- j) a variação da temperatura em pavimentos asfálticos, faz variar a rigidez e o desempenho estrutural do pavimento por completo. No projeto das placas de concreto, deve-se levar em conta as tensões térmicas que se manifestam;
- k) considerar a fadiga dos materiais, relacionada à natureza das cargas, que são repetitivas e móveis;
- l) a evolução do método utilizado para dimensionar pavimentos flexíveis, adotado pelo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, fez-se por meio de curvas de dimensionamento baseadas no valor do Índice de Suporte Califórnia. Essa curvas foram modificadas das originais, a fim de calcular espessuras granulares equivalentes;
- m) em situações peculiares, onde o pavimento é composto de bases cimentadas ou toda vez que a rigidez de uma camada sujeita a fadiga tiver que ser levada em conta, se pode compreender o pavimento como um sistema de camadas. Com o auxílio dos computadores é possível o cálculo das deformações e das tensões, desde que se tenha os dados dos módulos de elasticidade dos materiais de pavimentação.

### 3.3.1 Pavimentos de baixo custo

Segundo Villibor et al. (2009, p. 103), o dimensionamento de estruturas dos pavimentos faz-se em função do tipo do tráfego atuante na via. Para vias de tráfego leve e médio, ou seja, vias locais e coletoras, utiliza-se o Método de Dimensionamento da Prefeitura de São Paulo IP-04/2004.

O procedimento baseia-se no método de projeto de pavimento flexível de 1966 do Engenheiro Murilo Lopes de Souza, adotado pelo DNER, e no método do DER do Estado de São Paulo.

#### 3.3.1.1 Tráfego

Villibor et al. (2009, p. 23) considera, para efeitos de dimensionamento de novos pavimentos, a classificação de vias em: secundárias e locais:

- a) vias coletoras secundárias: tráfego médio, ruas de características residências, com função predominante de via coletora secundária, para as quais é prevista a passagem de caminhões ou ônibus em um número entre 21 e 100 por dia, na faixa de tráfego mais solicitada, caracterizada por um número  $N$  típico de  $5 \times 10^5$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN, para o período de projeto de 10 anos, observando-se um provável aumento de demanda em função do desenvolvimento da região;
- b) vias locais residenciais: tráfego leve, ruas de características essencialmente residenciais, para as quais é previsto o tráfego de caminhão e ônibus, entre 4 a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizada por um número  $N$  típico de  $10^5$  solicitações do eixo simples padrão de 80 kN, para o período de projeto de 10 anos.

Dentro da classificação das vias e parâmetro de tráfego, a figura 2 ilustra a subdivisão adotada para dimensionamento de pavimentos.

Figura 2 – Classificação das vias e parâmetros de tráfego

TIPO DE VIA	FUNÇÃO PREDOMINANTE	TRÁFEGO PREVISTO	VIDA DE PROJETO (ANOS)	VOLUME INICIAL DA FAIXA MAIS CARREGADA		N	N CARACTERÍSTICO
				VEÍCULO LEVE	CAMINHÕES E ÔNIBUS		
V <sub>1</sub>	(Via Secundária) via local residencial com passagem	Leve	10	100 a 400	4 a 20	2,7 x 10 <sup>4</sup> a 1,4 x 10 <sup>5</sup>	10 <sup>5</sup>
V <sub>2</sub>	(Via Principal) via coletora secundária	Médio	10	401 a 1500	21 a 100	1,4 x 10 <sup>5</sup> a 6,8 x 10 <sup>5</sup>	5 x 10 <sup>5</sup>

(fonte: adaptado de VILLIBOR et al., 2009, p. 104)

Neste método de dimensionamento, considera-se que a carga máxima legal no Brasil é de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla.

### 3.3.1.2 Considerações sobre o subleito

De modo a orientar o projeto do pavimento, Villibor et al. (2009, p. 105), apresenta algumas considerações sobre a camada de subleito:

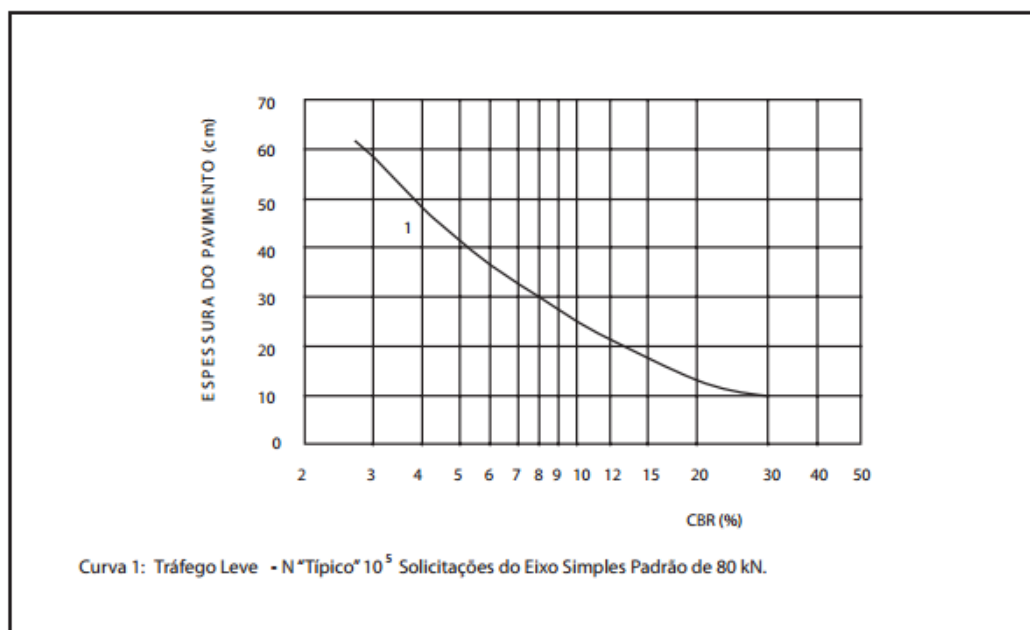
- a) a espessura do pavimento que será construído sobre o subleito terá seu cálculo efetuado em função do CBR, como representativo de suas camadas;
- b) nos casos em que os estudos apresentarem a necessidade de substituição do subleito, deverá ser considerado o valor do suporte do solo de empréstimo;
- c) no caso de vias com guias e sarjetas, reforços de pavimentos antigos ou de reaproveitamento do leito existente, a determinação do suporte do subleito poderá ser realizada *in situ*.

### 3.3.2 Dimensionamento da estrutura do pavimento de baixo custo

Para efeitos de dimensionamento da estrutura do pavimento, Villibor et al. (2009, p. 106) considera o tráfego caracterizado como tráfego leve, com N típico de 10<sup>5</sup> solicitações.

Após definir o tipo de tráfego do pavimento e determinado o suporte representativo da camada de subleito, a espessura total básica do pavimento, em termos de material granular,  $H_{SL}$ , será fixada de acordo com o ábaco da figura 3.

Figura 3 – Ábaco de dimensionamento



(fonte: adaptado de SOUZA, 1981, p. 17)

Quanto ao tipo de revestimento asfáltico, pode-se utilizar macadame betuminoso com capa selante ou tratamento superficial, desde que as condições topográficas assim o permitam.

### 3.3.2.1 Espessura das camadas

Após a determinação da espessura total do pavimento ( $H_{SL}$ ), em termos de material granular, e fixada a espessura do revestimento ( $R$ ), executa-se o dimensionamento das espessuras das demais camadas, que são: base, sub-base e reforço de subleito, levando em contas materiais disponíveis para cada uma delas, seus coeficientes de equivalência estrutural e suas capacidades de suporte, traduzidas pelos respectivos valores de CBR ou Mini-CBR.

As espessuras da base ( $B$ ), da sub-base ( $h_{SL}$ ) e do reforço do subleito ( $h_{REF}$ ) através de equações. A estrutura do pavimento deverá conter, ou não, a sub-base, a critério do projetista, com exceção das camadas executadas com macadame hidráulico e/ou betuminoso.

### 3.3.2.2 Espessuras mínimas e materiais recomendados

A figura 4 elucida os diversos tipos de camadas de reforço do subleito, sub-base e base utilizados em pavimentos de baixo custo, com suas espessuras mínimas e características de capacidade de suporte e expansão recomendadas.

Figura 4 – Características das camadas de pavimentos de baixo custo

CAMADAS	TIPO	CARACTERÍSTICAS		
		CBR (%)	EXP. (%)	ESPESSURA (cm)
Reforço do Subleito	–Solos Selecionados	$CBR_{REF} > CBR_{SL}$	$\leq 2,0\%$	$\geq 15,0$
Sub-Bases	–Estabilizadas Granulometricamente	$\geq 30$	$\leq 1,0$	$\geq 15,0$
	–Solos Lateríticos	$\geq 20$	$\leq 1,0$	$\geq 15,0$
Bases	–Estabilizadas Granulometricamente	$\geq 80$	$\leq 0,5$	$\geq 10,0$
	–Argila Laterítica	$\geq 12$	$\leq 0,5$	$\geq 15,0$
	–Solos Lateríticos <i>in natura</i>	$\geq 40$	$\leq 0,3$	$\geq 15,0$
	–Solo Laterita Agregado (SLAD) (Tráfego Leve)	$\geq 50$	$\leq 0,5$	$\geq 15,0$
	–Solo Laterita Agregado (SLAD) (Tráfego Médio)	$\geq 80$	$\leq 0,5$	$\geq 15,0$

(fonte: adaptado de VILLIBOR et al., 2009, p. 108)

### 3.3.2.3 Coeficientes de equivalência Estrutural

O coeficiente de equivalência estrutural de um material é definido como a relação entre as espessuras de uma base granular e de uma camada de material considerado que apresente o mesmo comportamento

Considera-se que uma camada de 10 cm de um material, com coeficiente de equivalência estrutural igual a 1,5, apresenta comportamento igual ao de uma camada de 15 cm de base granular.

Para as camadas de pavimentos executadas de acordo com as predisposições da IP - 05/2004 são adotados os coeficientes de equivalência estrutural apresentados na figura 5.

Figura 5 – Coeficientes de equivalência estrutural

CAMADA DO PAVIMENTO	COEFICIENTE ESTRUTURAL (K)
Base ou Revestimento de Concreto Betuminoso	2,00
Base ou Revestimento de Concreto Magro / Pobre Rolado	2,00
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Quente, de Graduação Densa/BINDER	1,80
Base ou Revestimento de Pré-Misturado a Frio, de Graduação Densa	1,40
Base ou Revestimento Betuminoso por Penetração	1,20
Paralelepípedos	1,00
Camada de Isolamento ou Bloqueio	1,00
Base de Brita Graduada, Macadame Hidráulico e Estabilizada Granulometricamente	1,00
Sub-Bases Granulares ou Estabilizadas com Aditivos	Variável
Reforço do Subleito	Variável
Base de Solo-Cimento ou Brita com Cimento, com resistência à compressão aos sete dias, superior a 4,5 MPa	1,70
Base de BGTC, com resistência à compressão aos 7 dias, entre 2,8 e 4,5 MPa	1,40
Base de Solo-Cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, entre 2,1 e 2,8 MPa	1,20
Base de Solo melhorado c/ cimento, com resistência à compressão aos 7 dias, menor que 2,1 MPa	1,00
Areia	1,00

(fonte: adaptado de SOUZA, 1981, p. 15)

Os coeficientes estruturais da sub-base granular e do reforço do subleito serão obtidos com as expressões:

$$K_{SB} = \sqrt{\frac{CBR_{SB}}{CBR_{SL}}} \quad (\text{equação 1})$$

$$K_{REF} = \sqrt{\frac{CBR_{REF}}{CBR_{SL}}} \quad (\text{equação 2})$$

Sendo:

$CBR_{SB}$ : suporte da sub-base;

$CBR_{REF}$ : suporte do reforço;

$CBR_{SL}$ : suporte do subleito;



Mesmo que o CBR do reforço ou da sub-base seja superior a 30%, deverá ser considerado como se fosse igual a 30%, para efeito de cálculo.

### 3.3.3 Exemplo para TSD

Para efeitos de elucidar o dimensionamento da estrutura do pavimento com revestimento do tipo Tratamento Superficial Duplo, serão analisadas as etapas de cálculo para um pavimento de baixo custo.

Dimensionando um pavimento de uma via de tráfego leve, sabendo-se que o subleito apresenta um  $CBR_{SL} = 7 \%$ , dispondo de material de reforço com  $CBR_{REF} = 14 \%$ .

O revestimento será do tipo Tratamento Superficial Duplo, com espessura de 2,0 cm e com coeficiente estrutural  $K_r = 1,2$ . A base será do tipo mista, constituída de macadame hidráulico (MH) e macadame betuminoso (MB).

Para  $CBR_{REF} = 14 \%$  obtém-se pelo ábaco da figura 3:  $H_{REF} = 19 \text{ cm}$ .

$$H_{REF} = B \times K_B + R \times K_R \quad (\text{equação 3})$$

$$19 = B \times 1 + 2 \times 1,2 \quad (\text{equação 4})$$

Deste modo, tem-se:  $B = 16,6 \text{ cm}$ . Utilizando-se de uma base mista, com espessura mínima de 5,0 cm de macadame betuminoso ( $H_{MB} = 5 \text{ cm}$ ), com coeficiente estrutural  $K_{MB} = 1,2$  e 11 cm de macadame hidráulico ( $H_{MH} = 11 \text{ cm}$ ) com coeficiente estrutural  $K_{MH} = 1,0$  se obtém a espessura de material granular para a base:

$$B = K_{MB} \times H_{MB} + K_{MH} \times H_{MH} \quad (\text{equação 5})$$

$$B = 5 \times 1,2 + 11 \times 1,0 = 17,0 \text{ cm} > 16,6 \text{ cm} \quad (\text{equação 6})$$

Este valor atende o mínimo estabelecido. Do mesmo modo, pode-se calcular a espessura de reforço. Para  $CBR_{SL} = 7 \%$  obtém-se pelo ábaco da figura 3:  $H_{REF} = 33 \text{ cm}$ . Aplicando os valores na equação, tem-se:

$$R \times K_R + B \times K_S + H_{REF} \times K_{REF} \geq H_{SL} \quad (\text{equação 7})$$

Sendo:

$K_{REF}$ : coeficiente estrutural do reforço ( $K_{REF} = 0,87$ ), obtido através da equação 2.

Desse modo, pode-se calcular a espessura da camada de reforço, conforme a equação 5:

$$2 \times 1,2 + (5 \times 1,2 + 11 \times 1,0) + H_{REF} \times 0,87 \geq 33,0 \text{ cm} \quad (\text{equação 8})$$

Obtém-se a espessura da camada de reforço:  $H_{REF} = 15,6 \text{ cm}$ . Adota-se  $H_{REF} = 16 \text{ cm}$ . A estrutura proposta está apresentada na figura 6.

Figura 6 – Respectivas espessuras do pavimento com TSD

CAMADA	ESPESSURA
T. S. D.	2,0 cm
Macadame Betuminoso	5,0 cm
Macadame Hidráulico	11,0 cm
Reforço do Subleito (CBR = 11%)	16,0 cm
Subleito CBR = 7%	

(fonte: elaborado pelo autor)

## 4 TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Neste capítulo é abordada a questão dos Tratamentos Superficiais. Inicialmente são apresentadas algumas definições sobre sua importância e alguns conceitos associados e, posteriormente, o método de dosagem e detalhes construtivos do Tratamento Superficial Duplo.

### 4.1 DEFINIÇÕES

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 63) apresenta uma definição abrangente: “O termo tratamento de superfície – TS engloba uma ampla variedade de serviços rodoviários em que, geralmente, o ligante asfáltico e os materiais pétreos são aplicados em espessura inferiores a 25 mm [...]”.

Massaranduba e Antescezezem (2001, p. 5) elucidam a diferença existente entre os métodos de tratamentos de superfície, definindo o tratamento superficial como: “[...] revestimento asfáltico constituído de aplicações sucessivas de ligante betuminoso, intercaladas pela aplicação de camadas de agregado mineral, denominadas por TSS para tratamentos superficiais simples, TSD para duplos e TST para triplos. Quanto aos ligantes, podem ser utilizados asfaltos e emulsões [...]”.

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 64) ressalta que os Tratamentos Superficiais são utilizados principalmente para:

- a) melhorar a aderência entre pneu e pavimento em vias pavimentadas;
- b) resguardar a infraestrutura do pavimento asfáltico, principalmente no que se refere ao desgaste proveniente dos efeitos combinados do clima e do tráfego;
- c) fornecer uma camada de rejuvenescimento, impermeabilizante e selante de trincas, quando se espera bloquear a sua propagação e recuperar o revestimento já presente;
- d) acrescentar uma camada de rolamento de alta flexibilidade sobre bases granulares, a qual acompanhe as deformações do subleito.

Segundo Bernucci et al. (2006, p. 263), o Tratamento Superficial é um método já difundido tem um amplo histórico de sucesso no país e recentemente a sua técnica vem sendo usada

também para restaurar pavimentos, podendo ser usada em vários tipos de pavimentos que não tenham sinais de defeitos estruturais quando utilizada de maneira isolada.

Fernandes et al. (2009, p. 9) ressaltam que apesar do grande avanço relacionado à tecnologia de equipamentos e insumos, é imprescindível que a técnica do TS tenha um cuidado quase que artesanal.

Balbo (2007, p. 188) ressalta: “O uso de emulsões asfálticas é bastante corriqueiro para os tratamentos superficiais, em geral aquelas de ruptura rápida (RR-1C e RR-2C), que podem eventualmente ser aquecidas até determinadas temperaturas para garantia de um bom espargimento do material.”.

#### 4.2 TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO

Massaranduba e Antescezezem Junior (2001, p. 5) elucidam: “O tratamento superficial mais usual no Brasil é o Tratamento Superficial Duplo (TSD) realizado com RR-2C convencional ou RR-2C modificada por polímeros (RR-2C-EP). O TSD consiste, principalmente, da aplicação de duas camadas de ligante asfáltico e britas [...]”.

Segundo Bernucci et al. (2006, p. 263), o tratamento múltiplo começa pela aplicação do ligante, o qual faz a penetração invertida (de baixo para cima) na primeira camada de agregado, enquanto nas camadas seguintes a penetração pode ser inversa ou direta.

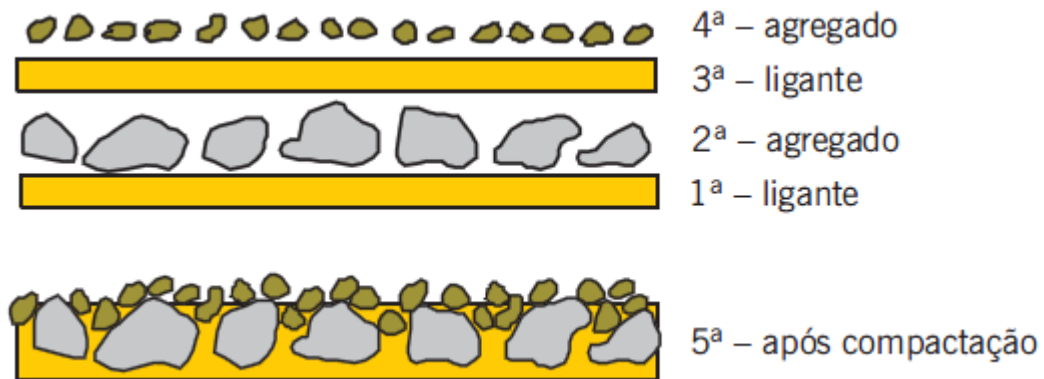
Segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (2011, p. 4), a execução do Tratamento Superficial Duplo envolve as seguintes operações:

- a) limpeza da superfície adjacente;
- a) primeiro espargimento do ligante asfáltico;
- c) primeira distribuição do agregado;
- d) compressão da primeira camada;
- e) segundo espargimento do ligante asfáltico;
- f) segunda distribuição do agregado (segunda camada);
- g) compressão da segunda camada;
- h) eliminação dos rejeitos;
- i) verificação da fixação do agregado;

j) liberação ao tráfego.

A figura 7 evidencia de modo esquemático as etapas que compõem o Tratamento Superficial Duplo.

Figura 7 – Camadas que compõem o TSD



(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 193)

Muitas estradas já foram pavimentadas no Brasil dentro da tecnologia dos tratamentos superficiais, destacando estados como Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Paraná, Minas Gerais e São Paulo, além da região Nordeste. Rodovias executadas já com a condição de asfaltos emulsionados, porém distantes ainda da tecnologia de modificação por polímeros; rodovias estas que duraram além das expectativas e contemplam a necessidade nacional de se obter um mínimo de infraestrutura de baixo custo. (MASSARANDUBA; ANTESCEZEZEM JUNIOR. 2001, p. 5).

A figura 8 retrata o aspecto final de um revestimento por Tratamento Superficial Duplo, aplicado em rodovia de baixo volume de tráfego.

Figura 8 – Aspecto visual de rodovia com revestimento por TSD



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2006, p. 34)

#### 4.3 DOSAGEM

Para eficiência no revestimento asfáltico, o TSD deve possuir uma boa dosagem, isto é, uma proporção correta de agregado e ligante capaz de resistir às cargas de roda e pressão de pneus. Segundo Bernucci et al. (2006, p. 266), atualmente existe um grande número de métodos para dosagem dos materiais no Tratamento Superficial. No entanto, o método experimental direto mais usado é o chamado ensaio de placa.

Fernandes et al. (2009, p. 73) salientam a existência de vários métodos para a dosagem de materiais que compõem o TS, todavia, os métodos mais simples costumam ser os mais preferidos, pois métodos analíticos mais sofisticados carecem de ajustes no campo, devido à heterogeneidade dos materiais.

Certos parâmetros são primordiais para uma boa dosagem:

- a) os agregados deverão atender as especificações quanto à sua qualidade e forma;
- b) a graduação dos agregados deverá ser a mais estreita possível (homométrica), isto é, os agregados de cada camada do Tratamento Superficial deverão ser de um só tamanho;

- c) quando um agregado é espalhado sobre um filme de asfalto, as partículas vão repousar de maneira desarranjada. Depois da compactação e de um tráfego considerável, as partículas vão se tornar orientadas conforme a sua posição mais densa, com cerca de 20% de vazios entre as partículas (tratamento superficial simples e duplo).

No que se refere ao TS, Bernucci et al. (2006, p. 264) afirmam: “Com respeito à graduação, a distribuição mais uniforme é a mais adequada. Com agregados bem graduados (graduação contínua) há um envolvimento heterogêneo das partículas, podendo-se chegar à ausência total de cobertura de alguns grãos, diminuindo-se assim a adesão global e aumentando-se o risco de rejeição deste. O risco de exsudação posterior do ligante também é maior.”.

De modo geral, para se denominar os agregados de dimensões similares, utilizam-se os diâmetros nominais mínimo “d” e máximo “D”, com uma indicação da tolerância quanto às frações menor que “d” e maior que “D”. O diâmetro máximo é definido como a abertura da malha da menor peneira na qual passam, no mínimo, 95% do material, enquanto o diâmetro mínimo é a abertura da malha da maior peneira na qual passam, no máximo, 5% do material. Segundo Bernucci et al. (2006, p. 264), não existe um fundamento universal relativo aos valores numéricos que devem ser satisfeitos pela granulometria do agregado.

Os tamanhos relativos das peneiras “d” e “D” são assim definidos:

$$d \geq k \times D \quad (\text{equação 9})$$

Sendo:

$d$  = diâmetro nominal mínimo;

$K = 0,5$  a  $0,8$ , sendo as porcentagens permitidas das frações superiores a  $D$  e inferiores a  $d$ ;

$D$  = massa total.

A figura 9 apresenta, de acordo com a intensidade do tráfego, a recomendação para a graduação de agregado.

Figura 9 – Recomendação para agregados de tratamentos superficiais

Tráfego	1	2 e 3 <sup>a</sup>
VMD total (volume médio diário nos dois sentidos)	> 2.000	≤ 2.000
$k (= d/D)$	≥ 0,65	≥ 0,50
Fração > $D$	≤ 10%	≤ 20%
Fração > 1,25 $D$	zero	–
Fração > 1,50 $D$	–	zero
Fração < $d$	≤ 15%	≤ 25%
Fração < 2mm (peneira Nº 10)	≤ 2%	≤ 5%
Fração < 0,075mm (peneira Nº 200)	≤ 0,5%	≤ 1,0%

<sup>a</sup> Tráfego 2 corresponde a  $500 < \text{VMD} \leq 2.000$  e tráfego 3 a  $\text{VMD} \leq 500$ . Apesar das recomendações serem idênticas para tráfego 2 e 3, o tamanho do agregado tende a ser menor quanto menor o volume de tráfego, e fica a critério do projetista.

(fonte: adaptado de LARSEN, 1985)

### 4.3.1 Método experimental direto da caixa dosadora

O projeto para o Tratamento Superficial visa a adequação do tipo de tratamento e dos materiais a serem usados, bem como as suas dosagens de acordo com as condições específicas da obra. A base de conhecimento ainda hoje usada nesses projetos data da década de 1930, mais especificamente nos estudos de F. M. Hanson na Nova Zelândia, cujas conclusões foram comprovadas em vários outros países. (BERNUCCI et al., 2006, p. 265).

O método direto mais usado é o chamado de ensaio de placa ou bandeja. Este método consiste em espalhar o agregado sobre uma placa plana de área específica (500x500mm), cobrindo toda a área da placa de maneira uniforme, sem falhas ou sobreposições. O processo deve ser repetido três vezes.



Calcula-se a taxa de agregado graúdo da primeira camada ( $T_g$ ) pela seguinte expressão:

$$T_g = \frac{P_t - P_p}{A} \quad (\text{equação 10})$$

Sendo:

$P_t$  = massa da placa com o agregado;

$P_p$  = massa da placa;

$A$  = área da placa.

Conhecida a massa específica aparente solta do agregado em  $g/cm^3$ , calcula-se a mesma taxa em  $litro/m^2$ , ou seja:

$$\frac{kg}{m^2} \times \frac{cm^3}{g} = \frac{kg}{m^2} \times \frac{10^{-3} dm^3}{10^{-3} kg} = \frac{l}{m^2} \quad (\text{equação 11})$$

A taxa de agregado miúdo ( $T_m$ ) é aproximadamente metade da taxa de agregado graúdo no caso do TSD. A taxa de ligante ( $T_L$ ), considerando CAP, é determinada por:

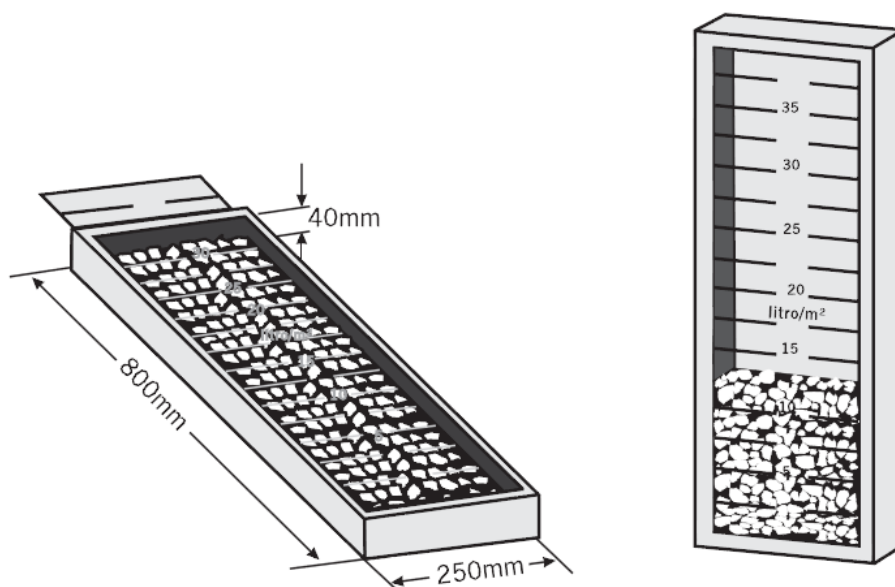
$$T_L = 0,10 \times T_T \quad (\text{equação 12})$$

Sendo:

$$T_T = T_g \left( \frac{l}{m^2} \right) + T_m \left( \frac{l}{m^2} \right) \quad (\text{equação 13})$$

O uso de uma caixa dosadora (800 x 250 x 40mm) é útil na dosagem do agregado. O agregado é espalhado sobre o fundo da caixa, deixada de modo horizontal nessa etapa, de modo a se assemelhar a posição dos agregados na pista de rolamento. Após essa etapa, a caixa é colocada na posição vertical e lê-se a taxa de agregado, em litro/m<sup>2</sup>. A figura 10 retrata o esquema de uma caixa dosadora para Tratamento Superficial, a qual pode ser usada no controle do espalhamento na pista.

Figura 10 – Caixa dosadora para tratamento superficial



(fonte: adaptado de LARSEN, 1985)

Bernucci et al. (2006, p. 267) salienta que a dosagem ótima reflete o mínimo de rejeição de agregado, bem como a ausência de exsudação. A subdosagem de ligante resultará em um revestimento pouco durável, sujeito a desagregação. Do mesmo modo, o excesso de aplicação resultará em uma camada de rolamento com pouco atrito.

Pinto (2004) demonstra o seguinte método experimental direto para um Tratamento Superficial Duplo. Tem-se a massa da bandeja ou placa com o agregado que irá compor a primeira camada,  $P_t = 9,019kg$ , sendo a massa da bandeja ou placa,  $P_p = 3,593kg$  e a área da placa  $A = 0,32m^2$ .

Calcula-se a taxa de agregado graúdo da primeira camada ( $T_g$ ):

$$T_g = \frac{P_t - P_p}{A} = \frac{9,019 - 3,593}{0,32} = 17 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{equação 14})$$

Sendo que a taxa de agregado miúdo ( $T_m$ ) é aproximadamente metade da taxa de agregado graúdo, tem-se  $T_m = 9 \text{ kg/m}^2$ . A taxa total de agregados é dada por:

$$T_T = 17 + 9 = 26 \text{ kg/m}^2 \quad (\text{equação 15})$$

A massa específica aparente solta do agregado, neste exemplo, se dá por  $1,35 \text{ g/cm}^3$ . Sendo assim, calcula-se taxa total de agregados em litro/m<sup>2</sup> como segue:

$$T_T = \frac{17 - 9}{1,35} = 19 \text{ litros/m}^2 \quad (\text{equação 13})$$

A taxa de ligante ( $T_L$ ) é determinada por:

$$T_L = 0,10 \times T_T = 0,10 \times 19 = 1,9 \text{ litro/m}^2 \quad (\text{equação 16})$$

Esse volume é dividido entre dois banhos, assumindo-se como regra prática que 60% do valor é colocado no primeiro banho de ligante e 40% no segundo banho:

*1º banho de ligante (60%): 1,2 litro/m<sup>2</sup> → 1ª camada de agregado: 17 kg/m<sup>2</sup>*

2º banho de ligante (40%): 0,7 litro/m<sup>2</sup> → 2ª camada de agregado: 9 kg/m<sup>2</sup>

Dentre os materiais utilizados no ensaio, cita-se a emulsão asfáltica RR-2C, obedecendo às características técnicas da NBR 14594 e a brita 1 (3/4" - 5/8"), brita 0 (3/8" - 1/4") e pedrisco (1/4" - 2,38mm), enquadradas nas faixas A, B e C da especificação DNER-ES 310/97. As granulometrias desses agregados são apresentadas na figura 11 e os resultados dos demais ensaios na figura 12 e na figura 13.

Em termos de projeto, pelo método direto da caixa dosadora chegou-se às quantidades indicadas nas figuras a seguir.

Figura 11 – Graduação dos agregados usados no exemplo

Peneira	Brita 1	Especificação Faixa A	Brita 0	Especificação Faixa B	Pedrisco	Especificação Faixa C
1"	–	100	–	–	–	–
3/4"	100,0	90 – 100	–	–	–	–
1/2"	23	20 – 55	–	100	–	–
3/8"	0,3	0 – 15	100,0	85 – 100	100,0	100
Nº 4	0,2	0 – 5	14	10 – 30	91,4	85 – 100
Nº 10	–	–	0,4	0 – 10	22,7	10 – 40
Nº 200	0,1	0 – 1	0,2	0 – 2	0,8	0 – 2

(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 268)

Figura 12 – Resultados dos demais ensaios

	Unidade	Especificação	Brita 1	Brita 0	Pedrisco
Massa específica aparente solta	g/cm <sup>3</sup>	–	1,551	1,532	1,450
Ensaio de qualidade do agregado					
Índice de lamelalidade (DAER/RS-EL 108/01)	%	40 – máx.	13,4	8,7	–
Abração Los Angeles	%	40 – máx.	16,1		

(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 268)

Figura 13 – Resultado da dosagem

Taxa da 1ª aplicação de RR-2C	1,1 litro/m <sup>2</sup>
Taxa da 1ª aplicação de agregado – brita 1	19,4kg/m <sup>2</sup>
Taxa da 2ª aplicação de RR-2C	1,2 litro/m <sup>2</sup>
Taxa da 2ª aplicação de agregado – brita 0	10,2kg/m <sup>2</sup>
Taxa da 3ª aplicação de RR-2C (diluída)	1,0 litro/m <sup>2</sup> diluído a 30% de água
Taxa da 3ª aplicação de agregado – pedrisco	6,7kg/m <sup>2</sup>

(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 269)

### 4.3.2 Método experimental direto do mosaico

O método sugerido por Fernandes et al. (2009, p. 75) para dosagem de agregado em Tratamentos Superficiais simples ou múltiplos é de teor estritamente experimental, de modo que, faz-se necessária a presença de pessoal técnico com certa experiência.

Primeiramente deve-se construir, em madeira de lei, um contorno quadrado de 1,0 x 1,0m (medidas internas). A figura 14 retrata o contorno executado para o método de cálculo mosaico.

Figura 14 – Contorno para aplicação do método do mosaico



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2009, p. 75)

Após a primeira etapa, deve-se pesar 30 kg do agregado que se quer dosar e anotar o peso exato, P1. Prosseguindo o ensaio, o agregado deve ser espalhado de maneira uniforme dentro do contorno estabelecido, comprimindo-o a fim de que se posicione, o máximo possível, no seu formato mais estável. Sempre evitando excessos para mais ou para menos.

Pesa-se o restante do agregado que não foi colocado no contorno de madeira, P2. A taxa de agregado a considerar, na camada em estudo será:

$$P = P1 - P2 = \left(\frac{kg}{m^2}\right) \quad (\text{equação 17})$$

A segunda camada de agregados será espalhada diretamente sobre a primeira camada e, sempre com a fiscalização de olhos experientes em Tratamentos Superficiais, segue-se o procedimento análogo ao que ocorreu na primeira camada.

#### 4.4 EXECUÇÃO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO

A especificação de serviço, usada no estado do Rio Grande do Sul, que versa sobre a execução do Tratamento Superficial Duplo é a DAER-ES-P 15/11 – Especificação de Serviço – Tratamento Superficial Duplo. Essa norma especifica todos os materiais a serem utilizados para aplicação do método, bem como parâmetros e fatores a serem atendidos durante a execução e posterior utilização do revestimento pelo tráfego de veículos.

##### 4.4.1 Equipamento

Todo o equipamento deve ser cuidadosamente examinado pela fiscalização, devendo dela receber a aprovação, sem o que não é dada ordem de serviço.

Os carros distribuidores de ligante asfáltico devem ser especialmente construídos para essa finalidade, provido de rodas pneumáticas e de suspensão adequadamente rígida, devendo dispor de: sistema autônomo de aquecimento e de circulação do ligante, isolamento térmico, bomba de pressão regulável, barra distribuidora, controle de velocidade (tacômetro e “quinta roda”), calibradores, termômetros apropriados em locais de fácil acesso e espargidor de

operação manual. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena com dispositivos que possibilitem ajustamentos verticais e larguras variáveis do espalhamento do ligante e que permitam uma aplicação homogênea.

Segundo Fernandes et al. (2009, p. 14), o tanque deve ter capacidade usual variando de 4500 a 8000 litros, composto geralmente por estrutura especial em chapas de aço soldadas, isolamento térmico em lã de vidro, abertura para visita, sendo desejável que possua tampa de fechamento rápido e com dispositivo automático, para alívio da pressão interna. Deve possuir também uma “cesta” em condições de filtrar o betume para possibilitar carga também pela abertura de visita. Além disso, deve possuir saída de segurança, a fim de evitar transbordamento do tanque por excesso de betume, tubulação de aquecimento compatível com o tipo de tanque, plataforma de operação, acoplada de forma a possibilitar ao operador o bom manuseio dos diversos itens, tais como: comandos do sistema de aquecimento, de circulação e de distribuição do betume, do motor e transmissão, bem como do tacômetro da bomba. A figura 15 retrata a configuração de um veículo espargidor completo.

Figura 15 – Elementos principais de um veículo espargidor completo



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2009, p. 17)



Com a evolução da tecnologia, e conseqüente aprimoramento dos equipamentos para execução de obras de pavimentação, surgiram novos veículos para obras de Tratamento Superficial Duplo, dando maior uniformidade e precisão na execução. Dentre essas novas máquinas, encontra-se o veículo espargidor/distribuidor de agregado, que já vem sendo utilizado em obras rodoviárias. A figura a seguir retrata um veículo multi distribuidor de agregado.

Figura 16 – Equipamento espargidor e distribuidor de agregados combinado



(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 197)

Os distribuidores de agregado devem ser auto-propelidos. Deve-se trabalhar, preferencialmente, com rolos pneumáticos, podendo-se utilizar rolos lisos ou a combinação de ambos. O rolo liso deve ser “tandem” e apresentar a relação peso/largura de roda no intervalo de 25 a 45kgf/cm. Seu peso não deverá ultrapassar 10 toneladas. O rolo pneumático deve ser auto propelido e permitir uma calibragem de pneus que abranja, pelo menos, a faixa de 35 a 120 lb/pol<sup>2</sup> (2,5 – 8,4kgf/cm<sup>2</sup>). É obrigatória a apresentação de certificado de calibragem do equipamento de distribuição do ligante asfáltico.

#### 4.4.2 Execução

A execução do Tratamento Superficial Duplo envolve basicamente as seguintes operações:

- a) limpeza da superfície adjacente;



- b) primeiro espargimento do ligante asfáltico;
- c) primeira distribuição do agregado;
- d) compressão da primeira camada;
- e) segundo espargimento do ligante asfáltico;
- f) segunda distribuição do agregado (segunda camada);
- g) compressão da segunda camada;
- h) eliminação dos rejeitos;
- i) verificação da fixação do agregado;
- j) liberação ao tráfego.

A figura 17 retrata as etapas construtivas de um tratamento superficial simples pelo sistema convencional. Do mesmo modo, para o Tratamento Superficial duplo, ocorreria o processo descrito novamente, seguindo a mesma ordem cronológica.

Figura 17 – Etapas construtivas de um tratamento superficial simples



(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 196)

Quanto ao sistema especial de aplicação, utilizando o veículo espargidor e distribuidor de agregados combinado, temos apenas três etapas construtivas, devido à distribuição do ligante e do agregado ocorrerem na mesma passada do veículo.

Figura 18 – Etapas construtivas com o uso do equipamento multi distribuidor



(a) Equipamento espargidor e distribuidor de agregados combinados



(b) Detalhe de aplicação



(c) Compressão dos agregados

(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 197)

#### 4.4.2.1 Limpeza da superfície

A superfície da camada subjacente deve se apresentar completamente limpa, isenta de pó, poeira ou de outros elementos.

A operação de limpeza pode se processar por equipamentos mecânicos (vassouras rotativas, jatos de ar comprimido ou carro pipa provido com mangueira de pressão ou, em circunstâncias especiais, por varredura manual). A utilização da vassoura de arrasto para corrigir possíveis falhas pode ser observada na figura 19.

Figura 19 – Limpeza da superfície com vassoura de arrasto



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2009, p. 42)

#### 4.4.2.2 Espargimento do ligante

Procedida a limpeza, o espargimento do ligante asfáltico só deve ser processado se as condições atmosféricas forem propícias. O esquema de aplicação do ligante pode ser observado na figura 20.

Figura 20 – Esquema de aplicação do ligante



(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 196)

Recomenda-se não iniciar os trabalhos antes do nascer do sol (superfície adjacente fria e úmida), sendo proibida a operação quando a temperatura ambiente e da pista forem inferiores a 10°C para os cimentos asfálticos e para as emulsões.

A temperatura de aplicação do material asfáltico deve ser determinada para cada tipo de ligante, em função da relação temperatura viscosidade. Quando ao trabalho em temperaturas excessivamente elevadas, cuidados devem ser tomados ao verificar-se a tendência dos agregados, aquecidos pelo sol, aderirem aos pneus dos rolos e veículos.

Deve-se realizar um estudo específico da adesividade do sistema ligante asfáltico-agregado.

Os materiais asfálticos devem ser aplicados de uma só vez em toda a largura a ser trabalhada e o espargidor ajustado e operado de modo a distribuir o material uniformemente. Depósitos excessivos de material asfáltico devem ser prontamente eliminados. A extensão do banho asfáltico em cada etapa construtiva deve ser condicionada à exigência de que o espargidor de ligante e o distribuidor de agregado funcionem como um equipamento único, de modo a permitir que o agregado seja distribuído imediatamente após a distribuição do ligante asfáltico.

#### 4.4.2.3 Juntas transversais de execução

A fim de assegurar a homogeneidade do espargimento do ligante asfáltico, cada início ou reinício (etapas de trabalho) exige precauções com o objetivo de evitar inconvenientes oriundos deste fato. Desta forma, recomenda-se cobrir com papéis impermeáveis o revestimento anteriormente construído. Esses papéis, após a aplicação, serão removidos e deverão ter destino ambientalmente adequado. O cuidado na execução das juntas transversais de execução pode ser observado na figura 21.



Figura 21 – Execução de juntas transversais



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2009, p. 44)

Antes do início da pintura asfáltica, deve ser verificado o perfeito funcionamento dos bicos. Para isso coloca-se uma calha abaixo da barra e se dá uma descarga de 15 a 30 segundos, observando-se a homogeneidade dos mesmos.

#### 4.4.2.4 Juntas longitudinais de execução

A junta longitudinal deve estar obrigatoriamente centrada no eixo da rodovia. Para se garantir a perfeita junção longitudinal das faixas executadas individualmente, recomenda-se a não coincidência das juntas da 1ª e 2ª camadas, através de utilização de faixas com largura diferenciada na 1ª camada.

Recomenda-se um recobrimento da faixa primeiramente constituída, numa largura pequena (cerca de 0,20m), a ser definida no canteiro de obras em função dos materiais, do tipo da barra distribuidora e dos bicos espargidores.

A figura 22 ilustra o cuidado na execução das juntas longitudinais.

Figura 22 – Execução de juntas longitudinais



(fonte: adaptado de FERNANDES et al., 2009, p.51)

#### 4.4.2.5 Distribuição de agregados

A distribuição dos agregados deve seguir de imediato à operação de espargimento do ligante betuminoso. Um espaçamento da ordem dos 50m é razoável, devendo-se ter em contas seguintes as regras práticas:

- a) a uma mesma temperatura, quanto maior a viscosidade do ligante a empregar, tanto menor deverá ser o espaçamento;
- b) a uma mesma viscosidade do ligante a empregar, quanto menor for a temperatura ambiente, tanto menor deverá ser o espaçamento.

No caso do ligante ser um cimento asfáltico, exigir-se-á o uso de secadores de agregados, quando o teor de umidade for superior a 0,5%. Quando for empregada emulsão, será admitido o uso de agregado levemente úmido. Em nenhuma hipótese será permitida a presença de água livre na superfície do agregado.

A operação de espalhamento do agregado deve ser realizada pelo equipamento especificado, o qual deverá se deslocar sobre a própria camada de agregado que está sendo aplicado. Eventuais falhas de uniformidade de espalhamento poderão ser corrigidas manualmente.

#### 4.4.2.6 Compressão de agregados

Imediatamente após o espalhamento do agregado, deve ser iniciada a rolagem.

Nos trechos em tangente, a compressão deve iniciar pelos bordos e progredir para o eixo e nas curvas deve progredir sempre do bordo mais baixo para o mais alto. O número de coberturas com o rolo compressor deve ser, no mínimo três em cada camada, sendo que cada passada deverá cobrir a anterior em, pelo menos, 0,30 m de largura.

A rolagem prosseguirá somente até se obter uma superfície lisa, inteiramente compactada, com partículas do agregado convenientemente acomodadas. Deve ser evitado qualquer excesso que provoque o esmagamento do agregado. No que se refere à compressão correta dos agregados pétreos através de rolo misto, a figura 23 exemplifica essa etapa construtiva.

Figura 23 – Compressão dos agregados com rolo misto



(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 196)

A cobertura de camada com rolo de pneus deve iniciar-se com baixas velocidades e pressões, enquanto que nas coberturas seguintes, velocidade e pressão deverão ser aumentadas. Nessas coberturas, devem ser evitadas as ocorrências de arrancamento de agregados e de formação de trilhas por pressões excessivas. Devem ser evitadas conversões e reversões de marchas fora das velocidades adequadas de operação do equipamento.

É fundamental que a primeira rolagem se processe imediatamente após a distribuição do agregado, compondo a integração de comboio de execução (espargidor de ligante – distribuidor de agregados – rolos de compressão), a ser disposto sequencialmente, e de forma

igualmente espaçada. As passagens subsequentes podem ser efetuadas com maior intervalo de tempo.

A seguir, é executada a segunda aplicação de material asfáltico, seguindo-se de imediato ao espalhamento do agregado fino. Segue-se a rolagem da segunda camada de agregado, obedecendo-se para as diversas operações relativas a mesma, procedimentos idênticos aos indicados para a primeira camada.

#### 4.4.2.7 Eliminação dos rejeitos

A forma de composição dos agregados nos tratamentos superficiais implica numa inevitável parcela de rejeição na composição do mosaico de agregados. Esta rejeição não deve exceder a 10%, na segunda camada e deve ser eliminada com a varredura mecânica, antes da liberação do tráfego.

#### 4.4.2.8 Liberação ao tráfego

A liberação ao tráfego de um trecho de Tratamento Superficial Duplo recém construído deve ser feita quando o agregado oferecer resistência ao arrancamento. Desse modo, o tráfego só poderá ser liberado após um repouso mínimo de 48h, o qual poderá ser ampliado em função das condições climáticas. Após este período, o trânsito deverá ser controlado nas 24h seguintes com velocidade máxima de 40 km/h.

### 4.4.3 Controle tecnológico

O controle tecnológico deve ser executado, obedecendo a metodologia indicada pelo DAER e satisfazendo as especificações em vigor. Os procedimentos necessários para o controle tecnológico, a frequência de aplicação destes controles, bem como os critérios de aceitação são apresentados na figura 24, figura 25, figura 26 e figura 27.



Figura 24 – Controle tecnológico da emulsão asfáltica do TSD

CONTROLE TECNOLÓGICO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO		
RECEBIMENTO DE LIGANTE – EMULSÃO ASFÁLTICA		
CONTROLES	FREQUÊNCIA	ACEITAÇÃO
Determinação da Viscosidade Saybolt-Furol DAER/RS-EL 202/01	A cada carregamento que chegar à obra para recebimento.	Conforme ABNT/IBP. Para RR-2C (50°C): 150-400 segundos.
Determinação do Resíduo por Evaporação DAER/RS-EL 210/01	A cada carregamento que chegar à obra para recebimento.	Conforme ABNT/IBP. Para RR-2C: mínimo 67%.
Ensaio de Peneiramento da Emulsão DAER/RS-EL 207/01	A cada carregamento que chegar à obra para recebimento.	Conforme ABNT/IBP. Para RR-2C: máximo 0,1% retido.

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 8)

Figura 25 – Controle tecnológico dos agregados do TSD

CONTROLE TECNOLÓGICO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO		
AGREGADOS		
CONTROLES	FREQUÊNCIA	ACEITAÇÃO
Ensaio de Qualidade do Agregado (Sanidade e Abrasão "Los Angeles") DAER/RS-EL 104/01 e DAER/RS-EL 103/01	Quando houver variação nas características dos agregados.	Sanidade $\leq 10\%$ Abrasão Los Angeles $\leq 30\%$
Ensaio de Granulometria DAER/RS-EL 102/01	A cada turno de trabalho (com amostra obtida no ensaio de determinação da taxa de agregado).	Variação máxima de 10% da Granulometria de projeto.
Determinação do Índice de Lamelaridade DAER/RS-EL 108/01	A cada 200m <sup>3</sup> ou quando houver mudança na forma do agregado.	Índice de Lamelaridade $\leq 25\%$ .
Determinação da Adesividade a Ligante Betuminoso DAER/RS-EL 112/01	No primeiro carregamento que chegar à obra e quando houver variação do agregado ou ligante.	Deve apresentar Adesividade satisfatória ligante-agregado.

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 9)

Figura 26 – Controle tecnológico da execução do TSD

CONTROLE TECNOLÓGICO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO		
EXECUÇÃO		
CONTROLES	FREQUÊNCIA	ACEITAÇÃO
Verificação da Temperatura de Aplicação do Ligante Betuminoso	A cada turno de trabalho deve ser verificada no caminhão distribuidor, imediatamente antes da aplicação.	Para RR-2C: temperatura do ligante correspondente a faixa de viscosidade de 25 a 100 segundos Saybolt Furol e no máximo 70°C. Para CAP de 20 a 60 segundos Saybolt Furol. Para todos os tipos de ligantes as temperaturas devem ser baseadas nas curvas viscosidade-temperatura.
Verificação da Temperatura do ar e da pista	A cada turno de trabalho.	Deve estar acima de 10°C.
Determinação da Taxa de Aplicação Longitudinal do Ligante <sup>1</sup>	A cada 100m no centro da faixa (meia pista).	Variação máxima de 10% da taxa de projeto.
Verificação da Taxa de Aplicação Transversal do Ligante	Verificação visual através de descarga prévia no início de cada dia de trabalho.	Uniformidade transversal da distribuição
Determinação da Taxa de Aplicação do Agregado <sup>2</sup>	Um ensaio por turno de trabalho e avaliação visual.	Variação máxima de 10% da taxa de projeto e uniformidade contínua na distribuição
Certificado de Calibração do Caminhão Espargidor de Ligante	No início do serviço e quando julgado necessário. A calibração deve ser repetida, no mínimo, a cada 6 meses.	Os bicos devem estar perfeitamente alinhados e desobstruídos, de forma a promover a distribuição uniforme do ligante asfáltico.

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 10)

Figura 27 – Controle Tecnológico do TSD

CONTROLE TECNOLÓGICO DO TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO		
EXECUÇÃO		Parte 2
CONTROLES	FREQUÊNCIA	ACEITAÇÃO
Fixação do Agregado	Antes da liberação ao tráfego.	O agregado deve estar perfeitamente fixado, oferecendo resistência ao arrancamento.
Lavagem do Agregado	Avaliação visual contínua e checagens por ensaios de granulometria.	O agregado deve ser lavado em lavador apropriado, não sendo permitida a lavagem no caminhão. A porcentagem passando na peneira 30 deve ser menor ou igual a 0,5%.
Recirculação da Emulsão	A cada sete dias.	A Recirculação da Emulsão nos tanques deve ser feita a cada sete dias.
<sup>1</sup> Este controle é feito colocando-se sobre o centro da faixa que está sendo executada bandejas quadradas ou retangulares com área mínima de 0,25 m <sup>2</sup> , com peso e área conhecidos. Por simples pesagem, após a passagem do caminhão espargidor, determina-se a quantidade de ligante realmente distribuído.		
<sup>2</sup> Este controle é feito colocando-se sobre a faixa que está sendo executada (alternando LD, centro, LE) bandejas quadradas ou retangulares com área mínima de 0,30 m <sup>2</sup> , com peso e área conhecidos. Por simples pesagem, após a passagem do distribuidor, <b>descontado o teor de umidade</b> , determina-se a quantidade de agregado realmente espalhada. Com este agregado é realizado o ensaio de granulometria.		

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 11)

#### 4.4.4 Controle Geométrico

O controle geométrico no tratamento superficial deve constar de uma verificação do acabamento da superfície, que é feita com duas réguas, uma de 1,00m e outra de 3,00m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície entre dois pontos quaisquer de contato não deve exceder 0,5cm, quando verificada com qualquer das duas réguas.

Complementarmente, o acabamento da superfície deve ser verificado por “aparelhos medidores de irregularidade” devidamente calibrados. Neste caso, o acabamento medido pelo IRI (International Roughness Index) deve apresentar os seguintes valores:

IRI < 3,0 m/km em 95% das medidas;

IRI < 3,5 m/km em 100% das medidas.

#### **4.4.5 Aceitação e medição**

O tratamento superficial duplo que não estiver de acordo com o projeto e as condições fixadas deve ser removido e substituído de modo a satisfazê-las. O tratamento superficial duplo é medido em metros quadrados de área executada.

A quantidade de material betuminoso aplicado é medida de acordo com a taxa do projeto do tratamento superficial duplo.

#### **4.4.6 Pagamento e Custos**

O tratamento superficial duplo é pago após a medição do serviço executado, obedecidas as larguras de projeto. O preço unitário remunera todas as operações e encargos para execução do tratamento superficial duplo, incluindo a produção, transporte e lavagem dos agregados, armazenamento, perdas e transportes do material betuminoso dos tanques de estocagem à pista.

Através do Sistema de Custos Referenciais de Obras, pode-se orçar o serviço de Tratamento Superficial Duplo, comparando com o Tratamento Superficial Simples, Tratamento Superficial Triplo e método da Capa Selante. O valor percentual de benefícios e despesas indiretas – BDI base é de 28,98% e o valor da emulsão asfáltica RR-2C seguiu os valores estabelecidos pela ANP.

Adotando o valor unitário para esses métodos, com data base novembro de 2015, para o SICRO do Rio Grande do Sul com desoneração, é possível obter os valores explicitados na tabela 1.

Tabela 1 – Custos unitários do TSS, TSD, TST e capa selante

Código Sicro	Tipo de Revestimento	Unidade	Custo unitário (c/ Emulsão) - Sem BDI	Custo unitário (c/ Emulsão) - Com BDI
2 S 02 500 51	Tratamento superficial simples com emulsão BC	m <sup>2</sup>	3,06	3,98
2 S 02 501 51	Tratamento superficial duplo com emulsão BC	m <sup>2</sup>	7,47	9,70
2 S 02 502 01	Tratamento superficial triplo com emulsão BC	m <sup>2</sup>	8,42	10,95
3 S 02 500 01	Capa selante com areia	m <sup>2</sup>	1,50	1,92
*BDI com base Sicro: 29,98%				
Sicro Sul - Rio Grande do Sul - DNIT - Novembro 2015 - Com desoneração				
Custo Emulsão RR-2C: 1492,94 R\$/t - ANP Ceará				

(fonte: elaborado pelo autor)

#### 4.5 OUTROS TIPOS DE TRATAMENTOS SUPERFICIAIS

Além do Tratamento Superficial Duplo, Ceratti et al. (2015, p. 38) lista outros métodos construtivos na classe dos TS, os quais tem a característica do espalhamento dos materiais ocorrer de forma separada e o englobamento do agregado pela penetração do ligante.

O *Cap seal* consiste em um revestimento asfáltico delgado, no qual são aplicadas, de forma conjunta, duas técnicas de pavimentação, TSS com diâmetro máximo variando de 6,3 mm a 13 mm, o qual confere as características de reabilitação e de flexibilidade aos pavimentos com trincas não ativas; seguido de selagem com MRAF, que promove a impermeabilização e a rugosidade ideal para o pavimento, de modo a garantir a segurança ao tráfego da rodovia.

A capa selante por penetração é a selagem de um revestimento asfáltico por espalhamento de ligante com ou sem cobertura de agregado miúdo. Sua espessura finalizada é de até 5 mm. Este material é frequentemente utilizado como última camada em tratamentos superficiais múltiplos. Quando não é usada a cobertura de agregado miúdo, denomina-se também “pintura de impermeabilização” ou *fog seal*.

O Tratamento anti-pó consiste numa técnica utilizada para controle de poeira em estradas de terra ou de revestimento primário, por espalhamento de emulsão asfáltica de baixa viscosidade, podendo ser executada com ou sem cobertura de agregado miúdo. A emulsão

---

Revestimento asfáltico com tratamento superficial duplo: adesividade entre os ligantes estudados e o agregado de basalto

asfáltica deve penetrar de 2 a 7 mm na superfície tratada. É uma solução de baixo custo para locais de baixíssimo volume de tráfego. Tem por pressuposto que, se a base imprimada apresenta uma boa interação com a emulsão, o que proporciona resistência ao desgaste, o êxito da técnica foi obtido, de modo que a base estará impermeabilizada. O pó utilizado no salgamento da técnica de tratamento antipó visa proteger a camada imprimada a qual estará sob a ação do tráfego. Assim, faz-se necessária a realização do ensaio de desgaste, nesta camada, e o êxito da mesma depende da qualidade da emulsão aplicada no segundo banho e do material granular utilizado.

O método Macadame Betumimoso pressupõe aplicações sucessivas (geralmente duas) de agregado e ligante asfáltico, por espalhamento. O processo tem início com a aplicação do agregado mais graúdo, a espessura final em geral é de 20 mm, porém este pode ser usado como *binder* ou base, com mais de 50 mm de espessura. Esse método construtivo tem sido pouco utilizado nos últimos anos em rodovias nacionais, porém ainda é empregado em vias urbanas por prefeituras.

A imprimação baseia-se na aplicação de material asfáltico sobre a superfície da base granular concluída, ocorrendo antes da execução de qualquer revestimento asfáltico, com a função de permitir coesão superficial, impermeabilizar e conferir condições de aderência entre base e o revestimento a ser executado. Tem-se como prática usual na Engenharia Rodoviária a aplicação do asfalto diluído de petróleo (ADP) tipo cura média CM 30 para serviços de imprimação. No entanto, devido às maiores exigências em relação à preservação das condições de segurança, meio ambiente e saúde e ao desenvolvimento sustentável, passou-se a empregar emulsões asfálticas para este tipo de tratamento de superfície.

O método da pintura de ligação fundamenta-se na aplicação de emulsão asfáltica catiônica, em conformidade ao indicado no projeto, sobre pavimento a ser restaurado ou base coesiva, visando promover a consistência entre as camadas. É imprescindível ao pavimento que ocorra a aderência entre suas diversas camadas, mantendo sua integridade estrutural, pressupondo que cada camada tem uma contribuição específica para absorção dos esforços providos da ação das cargas do tráfego e sua ausência acarretaria a incapacidade de assimilação de esforços transversais ou longitudinais originados pela passagem de veículos.

#### 4.6 ADESIVIDADE

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (1992, p. 1), a adesividade de agregado é caracterizada como: “Propriedade de o agregado ser aderido por material betuminoso; é verificada pelo não deslocamento da película betuminosa que recobre o agregado [...]”.

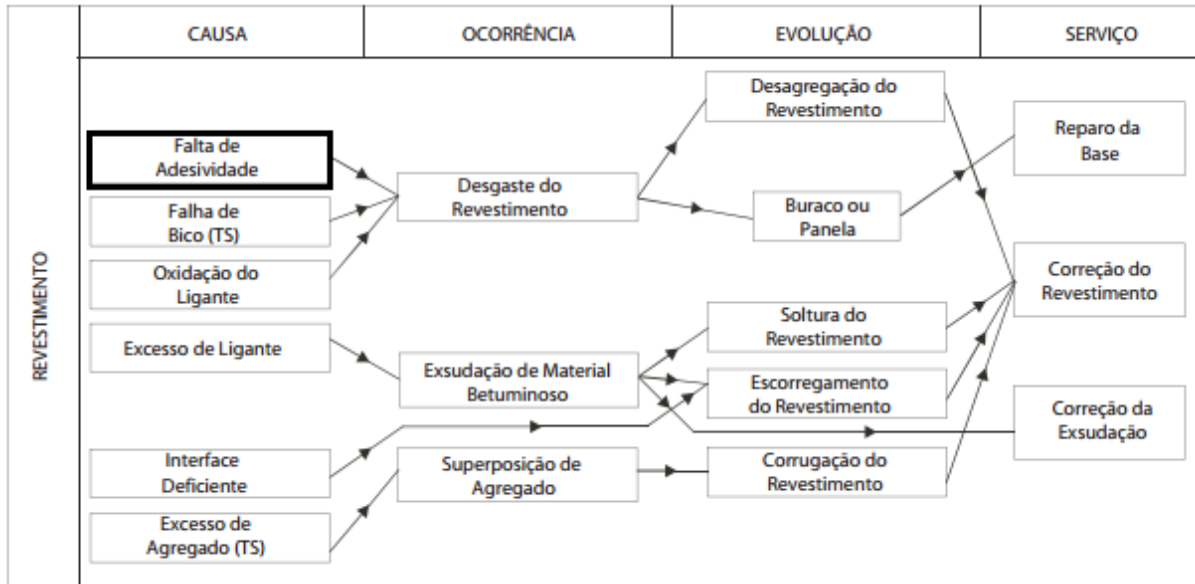
Bernucci et al. (2006, p. 118) ressalta que as partículas dos agregados possuem minerais, os quais tem seus átomos em formato de rede cristalina. Esses átomos promovem a adsorção química, através de sua atração exercida sobre átomos de sólidos, líquidos e gases que estejam em contato. Desse modo, o principal fator de adesividade entre o agregado e os ligantes asfálticos se deve à adsorção.

Fernandes et al. (2009, p. 75) salienta que, a primeira ligação entre o agregado pétreo e a emulsão asfáltica acontece por um fenômeno eletroquímico. No entanto, a atração mais elevada ocorre após a expulsão da água de emulsificação, gerando a película asfáltica. Essa película pode ser deslocada por evaporação da água, material com alta absorção e pressão. Os fatores que dificultam a fixação da película asfáltica gerada pela emulsão são:

- a) agregados de alta absorção, de modo que sua porosidade absorve rapidamente a água contida na emulsão, dificultando seu desempenho;
- b) teor de umidade contido no agregado antes da mistura;
- c) condições climáticas, sendo estas: temperatura, umidade e velocidade do vento;
- d) forças mecânicas, as quais podem ser geradas pela água contida no agregado ou pelo tráfego.

A figura 28 apresenta a evolução dos defeitos que tem como causa a possível falta de adesividade.

Figura 28 – Evolução dos defeitos causados por falta de adesividade



(fonte: adaptado de VILLIBOR et al., 2009, p. 100)



## 5 EMULSÕES ASFÁLTICAS

Neste capítulo é abordada a questão das emulsões asfálticas. Inicialmente são apresentadas algumas definições sobre sua importância e alguns conceitos associados e, posteriormente, seu método de concepção, bem como sua aplicação e subdivisão em usos rodoviários.

### 5.1 DEFINIÇÕES

Diferentemente do cimento asfáltico do petróleo, que tem de ser aquecido para adquirir uma viscosidade a qual possibilite recobrir o agregado, emulsões asfálticas não necessitam de aumento da temperatura. Autores como Bernucci et al. (2006, p. 81) define uma emulsão como uma dispersão estável de dois ou mais líquidos imiscíveis, e no caso de uma EAP, os líquidos são o asfalto e a água. Nas emulsões asfálticas é necessária a existência de um produto que mantenha a emulsão estável, o agente emulsificante ou agente emulsionante.

Bernucci et al. (2006, p. 81) ressalta o agente emulsificante como “[...] uma substância que reduz a tensão superficial, o que permite que os glóbulos de asfalto permaneçam em suspensão na água por algum tempo, evitando a aproximação entre as partículas e sua posterior coalescência.”.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 44), é utilizado cerca de 33 a 42% de água, com o CAP asfáltico juntamente com agentes emulsificantes afim de que a mistura possa ter estabilidade ao bombeamento, transporte e armazenamento em temperatura ambiente.

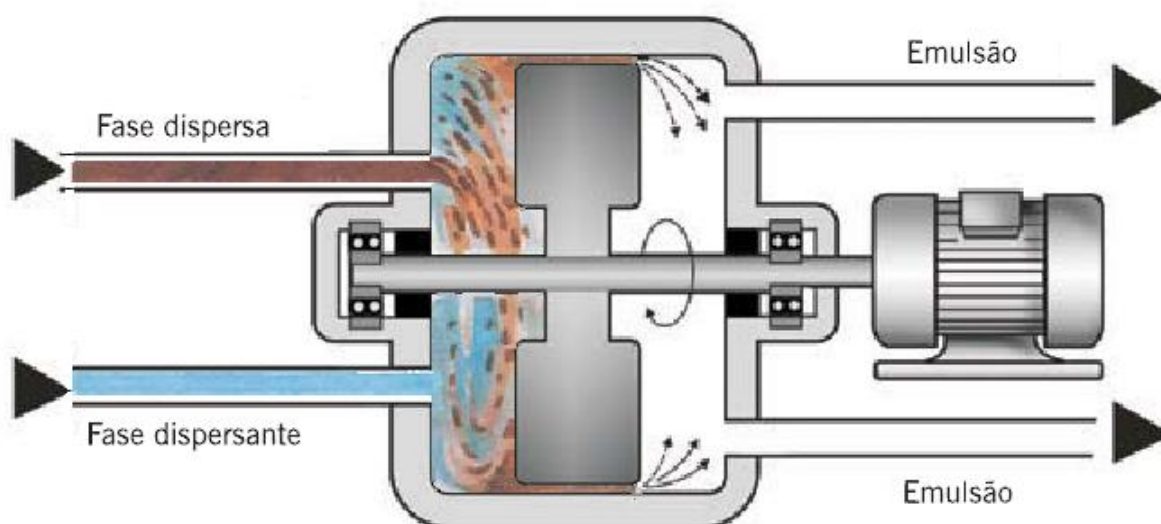
### 5.2 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

Como constata a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 44), nas ações mecânicas do processo de emulsificação, é necessário que se promova a quebra do cimento asfáltico em partículas micrométricas. Através de um moinho coloidal, aplica-se energia mecânica e térmica, obtendo-se uma emulsão de asfalto e água, a qual se torna bem homogênea.

Bernucci et al. (2006, p. 81), salienta que o uma emulsão asfáltica de petróleo é formada pela dispersão dos glóbulos de asfalto, que migram do moinho até uma solução de água já misturada com o agente emulsionante, podendo ter a presença de outros aditivos ou adições, a fim de se obter efeitos diferenciados, tanto ao uso final pretendido para aquela emulsão, como também em relação ao tempo de separação das fases.

A figura 29, baseada na fabricação das emulsões, retrata a representação esquemática de um moinho coloidal de preparação dos glóbulos de asfalto.

Figura 29 – Processo de fabricação de emulsões asfálticas



(fonte: BERNUCCI et al., 2006, p. 82)

### 5.3 CLASSIFICAÇÃO DAS EMULSÕES

As emulsões tem sua nomenclatura definida por suas características, dentre as quais se encontram a ruptura, que é tempo necessário para que ocorra a separação da fase aquosa do CAP, o teor de asfalto contido nas mesmas e a carga iônica.

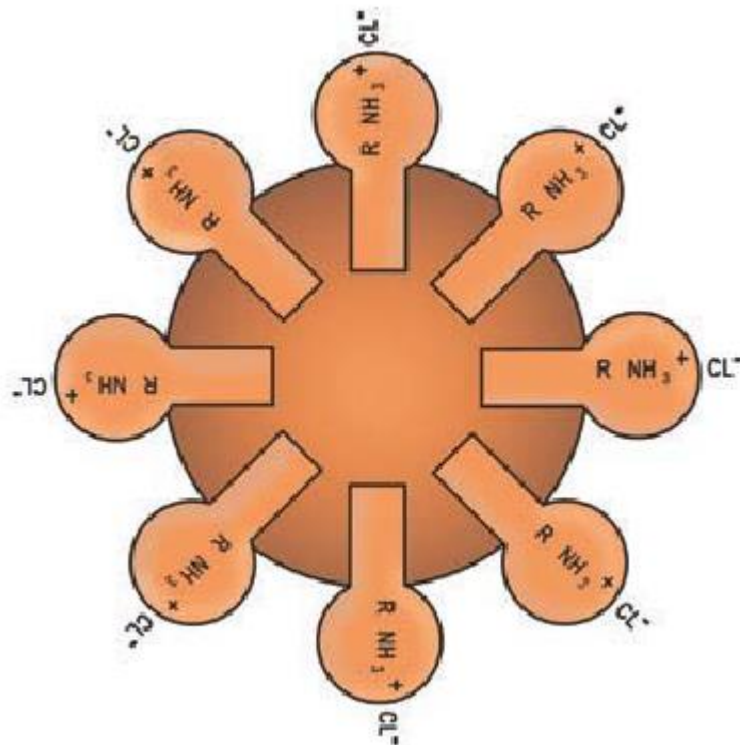
Como afirma a Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 47), a emulsão asfáltica pode ser do tipo rápida, designada pela letra R, quando a ruptura ocorrer imediatamente ou em pouco tempo após seu contato com os agregados. A designação M ocorre quando o tempo de exposição é maior que o anterior, sendo de ruptura média. Do mesmo modo, o tipo lenta, denominada pela letra L, quando a ruptura ocorre de modo

prolongado com relação aos outros tipos. No que se refere à quantidade de cimento asfáltico aplicado na fabricação, as emulsões podem se classificar em 1C e 2C, onde a nomenclatura C compreende emulsão do tipo catiônica e os números 1 e 2 estão agregados à quantidade de cimento asfáltico empregado na fabricação.

Quando a emulsão entra em contato com o agregado pétreo, inicia-se o processo de ruptura da emulsão que é a separação do CAP e da água, o que permite o recobrimento do agregado por uma película de asfalto. A água é liberada e evapora. A ruptura da emulsão consiste na anulação da camada de envolvimento dos glóbulos de asfalto dispersos na água. (BERNUCCI et al., 2006, p. 87).

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 46) avalia que “[...] pelo seu melhor desempenho no que se refere a sua compatibilidade com a maioria dos agregados minerais, as emulsões asfálticas para pavimentação, empregadas no Brasil, são, predominantemente, do tipo catiônicas.”. No que se refere a representação gráfica de uma emulsão asfáltica, a figura 30 retrata uma do tipo catiônica.

Figura 30 – Esquema representativo de uma emulsão asfáltica catiônica



(fonte: BERNUCCI et al., 2006, p. 82)

## 6 PROGRAMA EXPERIMENTAL

Neste capítulo é apresentado o programa experimental desenvolvido para este Trabalho de Conclusão de Curso. São descritos a aparelhagem, os materiais e os testes utilizados, além dos procedimentos de moldagem das amostras e demais atividades realizadas.

### 6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O programa experimental foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a adesividade de ligantes betuminosos comumente aplicados em revestimentos asfálticos, especialmente no método de Tratamento Superficial Duplo.

Visando a correta aplicação do teste, fixaram-se os seguintes pontos de moldagem:

- a) agregado passante na peneira 19 mm e retido na peneira 12,7 mm;
- b) peso de agregado de  $(300 \pm 1)$  g;
- c) teores de emulsão asfáltica de 400 ml;
- d) tempo de cura das amostras de 3 dias.

Definindo as características das amostras, foi adotada a moldagem de uma amostra para cada empresa de estudo. Desta forma, serão preparadas quatro amostras para estudo.

Do mesmo modo desenvolveu um programa experimental com o objetivo de avaliar o resíduo retido de cada ligante betuminoso. Visando a correta aplicação do teste, fixaram-se as quantidades de emulsão asfáltica de 1000 ml.

### 6.2 APARELHAGEM DO TESTE DE PENEIRAMENTO

Para realização do teste de peneiramento, necessitou-se de aparelhos devidamente relatados a seguir:

- c) béquer com capacidade de 1500 mL;
- d) peneira de abertura nominal de  $841\mu\text{m}$  (ASTM n° 20);
- e) balança com capacidade de 2 kg e sensibilidade de  $\pm 1$  g;

- f) termômetro de imersão parcial, ASTM 1C ou IP 62;
- g) estufa capaz de manter a temperatura a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ ;
- h) Água destilada.

A peneira de abertura nominal de  $841\mu\text{m}$ , deve possuir caixilho circular de latão, com 5 cm de altura entre a tela e o topo do caixilho e 8 cm de diâmetro, possuindo encaixe inferior e malhas quadradas de arame de acordo com a ABNT NBR NM ISSO 3310-1. O aspecto visual da peneira pode ser observado na figura 31.

Figura 31 – Aspecto visual da peneira utilizada



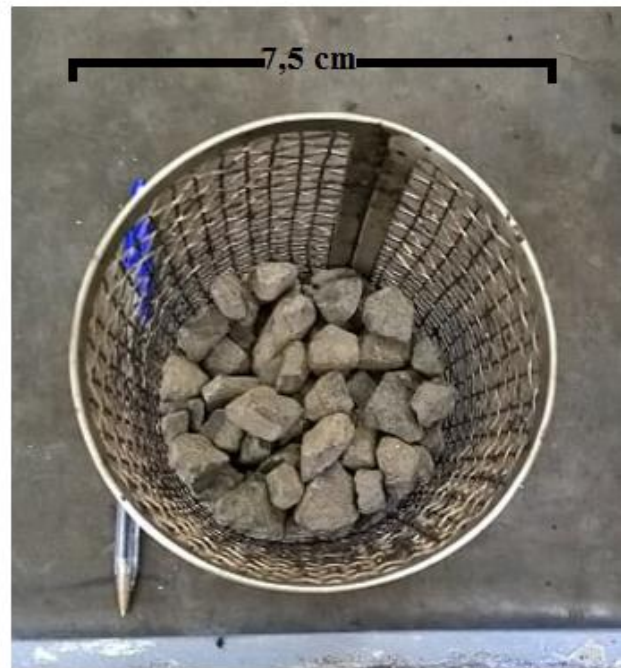
(fonte: foto do autor)

### 6.3 APARELHAGEM DO TESTE DE ADESIVIDADE

Para realização do teste de adesividade, necessitou-se de 10 aparelhos devidamente relacionados a seguir.

Cesto cilíndrico constituído por telas metálicas de malhas quadradas, com abertura de 4 mm a 5 mm e diâmetro dos fios da ordem de 0,9 mm a 1,1 mm, com cerca de 75 mm de diâmetro e 150 mm de altura. Os aspectos do cesto podem ser observados na figura 32:

Figura 32 – Aspecto visual do cesto utilizado



(fonte: foto do autor)



Estufas para garantir a manutenção da temperatura de 40°C a 120°C, com precisão de  $\pm 1^\circ\text{C}$ . No Laboratório de Pavimentação (Lapav) foram utilizadas diferentes estufas, que podem ser observadas na figura 33.

Figura 33 – Diferentes estufas utilizadas no ensaio



(fonte: foto do autor)

Balança com capacidade de 1000 g e sensibilidade de  $\pm 1$  g. Foi utilizada, também, uma espátula de aço inoxidável com lâmina de aproximadamente 200 mm de comprimento. Ademais, utilizou-se uma cápsula de metal com capacidade para 500 mL.

Além da cápsula, foi necessária a utilização de um béquer de vidro termorresistente, com capacidade de 600 mL, graduação de 50 mL e cerca de 120 mm de altura e 85 mm de diâmetro. Termômetro de 0°C a 200°C e graduação de 1°C. Além disso, fez-se necessária a utilização de uma tela refratária.

Foi necessária uma placa de superfície lisa, a qual, nos ensaios, tem formato circular e foi preparada com silicone sobre sua superfície. Necessitou-se de uma bandeja metálica, a qual possui dimensões de 200 mm x 400 mm. Fez-se uso, também, de luvas de proteção térmica.

## 6.4 MATERIAIS

Os materiais utilizados para a realização do programa experimental serão detalhados, sendo eles:

- a) agregado;
- b) emulsão asfáltica;
- c) água.

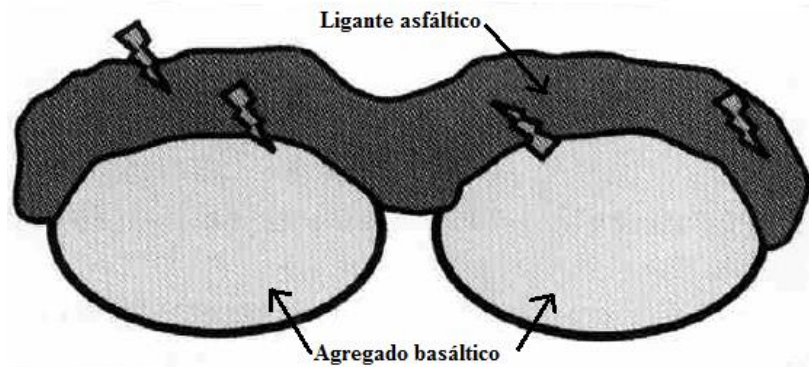
### 6.4.1 Agregado

Os agregados utilizados na verificação da adesividade são de origem basáltica, provenientes de uma pedreira localizada no km 30 da BR-290, no município de Santo Antônio da Patrulha-RS. Optou-se pela utilização desse agregado por já haver um prévio conhecimento de suas características, pelo fato de os agregados basálticos serem amplamente empregados em obras rodoviárias e também por se ter a disponibilidade de uma grande quantidade desse material em laboratório. Esse agregado possui várias propriedades semelhantes às de elementos pétreos basálticos utilizados em pesquisas na prática internacional.

Segundo Bernucci et al. (2006, p. 116), o basalto é uma rocha ígnea extrusiva, proveniente de fluxos de lava para a superfície da terra, sendo caracterizado por uma granulação fina. De outro modo, no que se refere à carga elétrica superficial das partículas do agregado, o basalto tem a propriedade de ser um agregado tipicamente básico, o que contribui para uma melhor adesividade ao ligante asfáltico, quando comparado a agregados de rochas classificadas como ácidas. A figura 34 demonstra a formação do filme de ligante asfáltico sobre o agregado, exemplificando a configuração de englobamento da pedra basalto.



Figura 34 – Aspecto da formação do filme de ligante sobre a pedra basalto

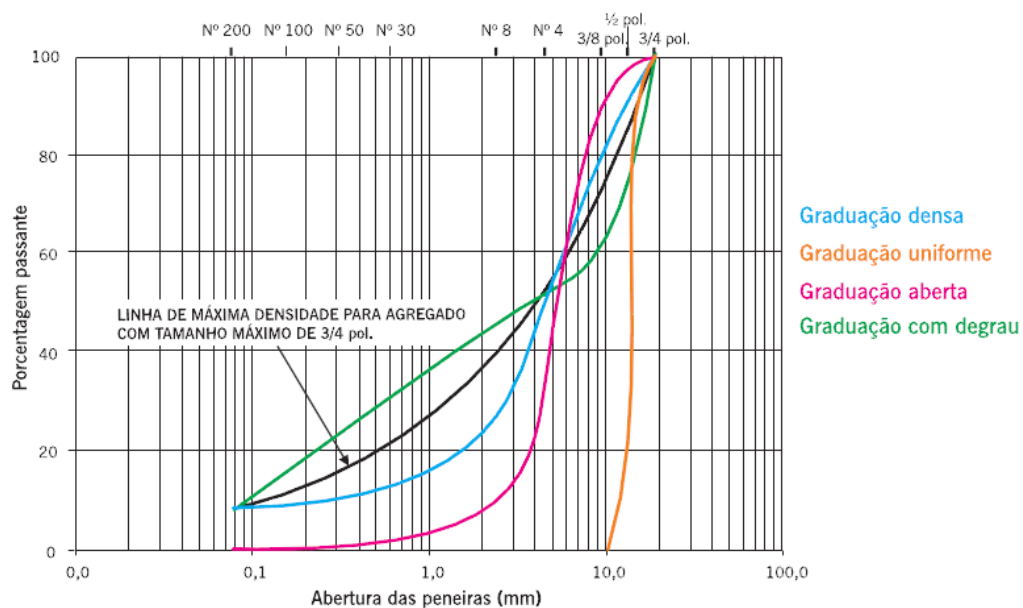


(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO, 2001, p. 47)

Balbo (2007, p. 103) salienta que: “A ação superficial do tráfego, em especial, exige a presença de agregados que não sofram excessivo desgaste, pois este fato se relaciona ao polimento superficial do revestimento, que ocasiona a perda significativa de aderência entre pneus e superfície do pavimento.”.

Bernucci et al. (2006, p. 121) ressalta que a distribuição granulométrica do agregado é um de seus principais parâmetros e influencia de modo efetivo o comportamento do revestimento asfáltico. A representação convencional de curvas granulométricas pode ser vista na figura 35.

Figura 35 – Representação convencional de curvas granulométricas.



(fonte: BERNUCCI et al., 2006, p. 123)

A amostra de agregado a ser utilizada no ensaio é obtida do material que passa na peneira de 19 mm e fica retido na de 12,7 mm. De acordo com a DAER-ES-P 15/11 – Especificação de Serviço – Tratamento Superficial Duplo, os agregados podem ser pedra britada, escória britada ou seixo rolado britado.

Devem consistir de partículas limpas, duras, duráveis, isentas de cobertura e torrões de argila. Deverá ser procedida a lavagem do agregado com equipamento adequado, aceito pelo DAER, não podendo a mesma ser realizada no caminhão. Em hipótese alguma, após a lavagem, o material pétreo poderá conter mais de 0,5 % de material passante na peneira nº 30 (0,59 mm).

O agregado mineral deverá se enquadrar dentro dos seguintes requisitos de qualidade previstos na figura 36.

Figura 36 – Ensaios e valores limites

<b>ENSAIOS</b>	<b>VALOR LIMITE</b>
Ensaio de Abrasão Los Angeles (DAER/RS-EL 103/01)	$\leq 30\%$
Ensaio de Sanidade (DAER/RS-EL 104/01)	$\leq 10\%$
Lamelaridade do Agregado (DAER/RS-EL 108/01)	$\leq 25\%$
Porcentagem de Partículas Britadas (DAER/RS-EL 109/01)	$\geq 90\%$

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 2)

#### 6.4.1.1 Granulometria

O agregado deverá ser uniformemente graduado e com dois tipos de granulometria distintos, um para a primeira aplicação (Faixa A ou B) e outro para a segunda aplicação (Faixa C ou D). A faixa do agregado fino é função da faixa escolhida para o agregado grosso, devendo o diâmetro máximo do agregado fino ser igual a metade do diâmetro máximo do agregado grosso. A granulometria dos agregados para o TSD deve obedecer ao especificado na figura 37.

Figura 37 – Granulometria do agregado

FAIXA	GRANULOMETRIA							
	% EM PESO QUE PASSA NA PENEIRA DA MALHA QUADRADA							
	1"	3/4"	1/2"	3/8"	n° 4	n° 8	n° 16	n° 30
A	100	95-100	0-25	0-5	-	-	-	0-0,5
B	-	100	95-100	0-20	0-5	-	-	0-0,5
C	-	-	100	95-100	0-15	0-5	-	0-0,5
D	-	-	-	100	95-100	0-15	0-5	0-0,5

(fonte: adaptado de DAER, 2011, p. 2)

Na produção dos agregados das faixas A e C, comumente utilizadas, é recomendado o emprego das peneiras 3/4" -5/8" e 3/8" -1/4". A graduação dos agregados deverá ser a mais estreita possível, isto é, os agregados de cada camada do tratamento superficial deverão ser de um único tamanho.

Em casos especiais, independente das faixas indicadas, o projetista poderá valer-se da relação de diâmetro mínimo e máximo, desde que o diâmetro máximo do agregado fino seja igual a metade do diâmetro máximo do agregado grosso, sendo tecnicamente justificado e com aprovação do DAER.

Os agregados de tamanho único são denominados pelos diâmetros nominais mínimos e máximos,  $d$  e  $D$ , com uma indicação das tolerâncias quanto às frações menor que " $d$ " e maior que " $D$ ". A utilização da relação  $d/D$  deverá observar os seguintes itens:

- a) " $D$ " corresponde a abertura em mm da malha da peneira em que passa 90 % do material;
- b) " $d$ " corresponde a abertura em mm da malha da peneira em que passa 15 % do material;
- c) a relação  $d/D$  deverá ser maior ou igual a 0,65.

Os valores de " $d$ " e de " $D$ " serão obtidos graficamente, para definir as granulometrias dos materiais selecionados.

### 6.4.1.2 Forma das partículas

Bernucci et al. (2006, p. 141), salienta que a forma dos agregados influencia a trabalhabilidade e a resistência ao cisalhamento das misturas asfálticas, alterando a energia de compactação necessária a se alcançar a densidade.

O intertravamento tende a ser maior quanto mais cúbicas forem as partículas e mais afiladas forem suas arestas. A forma das partículas pode ser caracterizada segundo a ABNT 6954/1989, onde são medidas por meio de um parquímetro três dimensões das partículas: comprimento (a), largura (b) e espessura (c). Para a classificação segundo a forma são determinadas e relacionadas entre si as razões  $b/a$  e  $c/b$ . As partículas podem ser classificadas em cúbica, alongada, lamelar e alongada-lamelar. A figura 38 ilustra a classificação da forma das partículas.

Figura 38 – Classificação da forma das partículas

Média das Relações $b/a$ e $c/b$	Classificação da Forma
$b/a > 0,5$ e $c/b > 0,5$	Cúbica
$b/a < 0,5$ e $c/b > 0,5$	Alongada
$b/a > 0,5$ e $c/b < 0,5$	Lamelar
$b/a < 0,5$ e $c/b < 0,5$	Alongada-lamelar

(fonte: adaptado de BERNUCCI et al., 2006, p. 141)

### 6.4.2 Emulsão Asfáltica

A emulsão asfáltica RR-2C será utilizada na realização do trabalho e tem a peculiaridade de não necessitar de aquecimento para obter a viscosidade necessária para englobamento do agregado.

Segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (2011, p. 1), todos os materiais asfálticos devem satisfazer às Especificações aprovadas pelo DAER-RS. Podem ser empregados os seguintes materiais:

- a) emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida, preferencialmente RR-2C;

- b) emulsões asfálticas modificadas por polímeros, cimentos asfálticos e outros produtos asfálticos, desde que tecnicamente justificados e com aprovação do DAER.

A utilização do CAP em Tratamentos Superficiais já não é comumente usada nos dias atuais, devido à necessidade de aquecimento que este método construtivo demanda.

A Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfalto (2001, p. 48) define a emulsão do tipo RR-2C como: “[...] catiônica de ruptura rápida, que apresenta, no mínimo, 67% de cimento asfáltico e viscosidade *Saybolt Furol* (50°C) entre 100 e 400 segundos, ou seja, apresenta alta consistência. Nesse caso, também, seu maior campo de aplicação está nos serviços de tratamentos superficiais seguida de pintura de ligação [...]”.

Justifica-se a utilização da emulsão RR-2C, pois as principais reações do ligante ocorrem de maneira imediata, sendo que o período de teste acontece em três dias, isso faz com que sua aplicação em revestimentos rodoviários seja amplamente aceita nos projetos. Também apresenta boa afinidade com a maioria dos tipos de agregados, eliminando, na grande parte das vezes, o uso de aditivos para melhorar a adesividade. Além disso, a emulsão permite estocagem em temperatura ambiente, com instalações relativamente simples, não necessitando de fontes de aquecimento.

A figura 39 apresenta as especificações da emulsão do tipo RR-2C, bem como as características das demais emulsões catiônicas.

Figura 39 – Especificação da emulsão asfáltica catiônica

CARACTERÍSTICA	MÉTODO		TIPO DE RUPTURA				
			Rápida		Média		Lenta
	ABNT	ASTM	RR-1C	RR-2C	RM-1C	RM-2C	RL-1C
Viscosidade Saybolt-Furo  a 50°C	NBR 14491	D88	20-90	100-400	20-200	100-400	MÁX. 70
Sedimentação, máx.	NBR 6570	D244	5	5	5	5	5
Peneiração 0,84 mm, % em peso máx.	NBR 14393	D244	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Resistência à água, mín. de cobertura (Z)	NBR 6300	D 244					
Agregado seco			80	80	80	0	0
Agregado úmido			80	80	60	60	60
Mistura com cimento, % máx. ou mistura com file silício	NBR 6297	D244	-	-	-	-	2
	NBR 6302		-	-	-	-	1,2 a 2,0
Carga de partícula	NBR 6567	D244	positiva	positiva	positiva	positiva	positiva
pH, máx.	NBR 6299	D244	-	-	-	-	6,5
Destilação	NBR 6568	D244					
- solvente destilado a 360°C			0-3	0-3	0-12	3-12	nula
Resíduo % em peso mín.			62	67	62	65	60
Desemulsibilidade mín.							
% em peso mín.	NBR 6569	D244	50	50	-	-	-
% em peso máx.			-	-	50	50	-
<b>ENSAIOS SOBRE SOLVENTE DESTILADO</b>							
Destilação, 95% evaporados, °C, máx.	NBR 9619	-	-	-	360	360	-
<b>ENSAIOS SOBRE O RESÍDUO</b>							
Penetração a 25°C, 100g, 5s, 0,1mm	NBR 6576	D5	50-250	50-250	50-250	50-250	50-250
Teor de Betume, % em peso mín	NBR 14855	D 2042	97	97	97	97	97
Ductilidade a 25°C, cm, mín	NBR 6293	D 113	40	40	40	40	40

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO, 2001, p. 49)

A figura 40 apresenta as possíveis aplicações da emulsão asfáltica especificações da emulsão do tipo RR-2C, além disso, é possível observar sua possível aplicação em Tratamentos Superficiais por Penetração.

Figura 40 – Aplicação das emulsões por tipo de serviço

SERVIÇOS À FRIO	*** EMULSÕES ASFÁLTICAS
Capa Selante / Banho Diluído	*RR-1C; *RR-2C; *RL-1C
Pintura de Ligação	*RR-1C; *RR-2C; RM-1C; RM-2C; *RL-1C
Selagem de Fissuras	*RR-1C; *RL-1C
Tratamento Antipó	RR-1C; RR-2C; RL-1C
Macadame Betuminoso	*RR-2C
Tratamentos Superficiais por Penetração	*RR-1C; *RR-2C
Areia-Asfalto	* RL-1C
Pré-Misturados	*RM-1C; *RM-2C; *RL-1C
Tapa-Buracos	*RR-1C; *RM-1C; *RM-2C; *RL-1C
Reciclagem	** ARE's – 1/5/25/75/250/500
Lama Asfáltica	*RL-1C; *LA-1C; *LA-2C; *LA-E
Estabilização Solo-Emulsão	RL-1C; LA-1C; LA-2C; LA-E
Microrrevestimento Asfáltico	Emulsão Asfáltica com Polímero

**Obs.:**

- \* Dependendo do projeto e das especificações de serviço, podem ser modificadas com polímeros.
- \*\* Agentes de Reciclagem Emulsionados, dependendo do projeto e das especificações de serviço, podem ser modificados com polímeros.
- \*\*\* Geralmente empregadas

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO, 2001, p. 51)

### 6.4.3 Água Destilada

A água utilizada para os testes de adesividade e de peneiramento das amostras será a água destilada. É fundamental seu uso, pois ela promoverá ou não o deslocamento da película betuminosa, além de contribuir para a limpeza do agregado, o que influi no resultado final. Será obtida através do processo de destilação da água proveniente da rede pública de abastecimento.

## **7 ESCOLHA DAS EMPRESAS**

A escolha de quatro empresas de pavimentação que atuam no estado do Rio Grande do Sul foi pautada em valores técnicos, históricos e econômicos, de modo a se obter amostras de instituições que atuam em diferentes frentes de trabalho nas rodovias do estado. Essas instituições executam serviços rodoviários com o ligante betuminoso escolhido para teste: a emulsão catiônica de ruptura rápida RR-2C e possuem duas organizações diferentes fornecendo-lhes o ligante pesquisado. Salienta-se que as empresas já estão consolidadas no mercado gaúcho, sendo referência em execução dos mais diversos serviços rodoviários, principalmente no que se refere ao revestimento asfáltico.

Estas empresas atuam de forma terceirizada para a Empresa Gaúcha de Rodovias, onde são responsáveis por lotes de rodovias, de modo a manter a qualidade do revestimento asfáltico, dando segurança ao usuário da via.

Para manter a ética profissional e facilitar o entendimento dos ensaios, as organizações empresariais terão seus nomes privados, sendo aqui citadas como: Empresa A, Empresa B, Empresa C e Empresa D. A Empresa A e a Empresa C possuem a mesma organização fornecedora do ligante betuminoso, do mesmo modo como a Empresa B e a Empresa C, compartilham de outra unidade fornecedora.

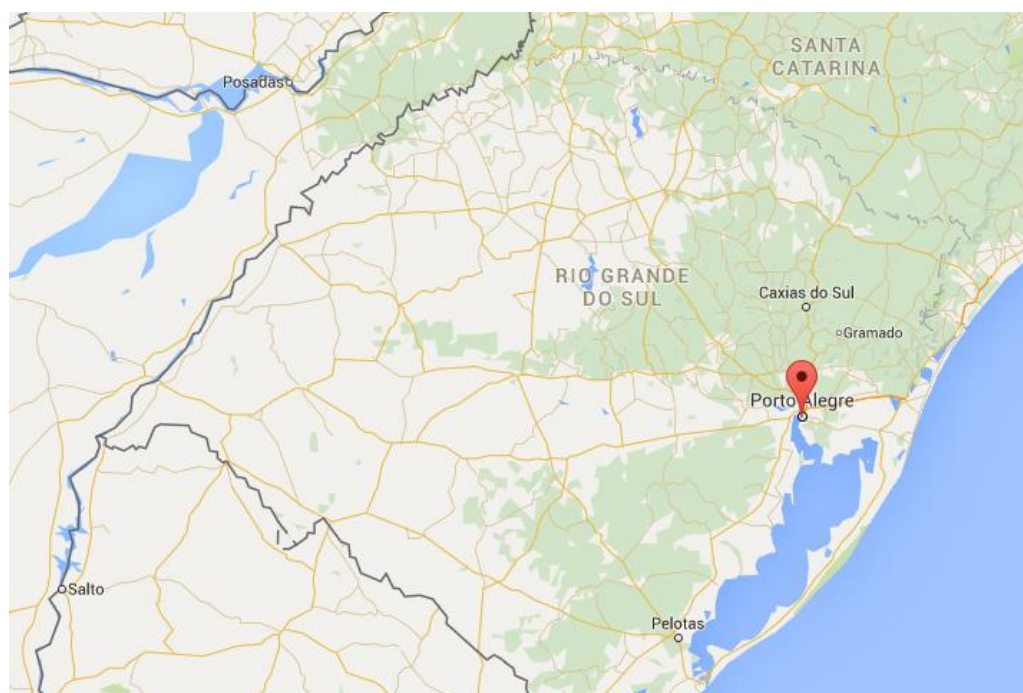
As coletas das amostras de emulsão asfáltica ocorreram nos meses de janeiro, fevereiro e março do ano de 2016. As amostras foram coletadas em galões de capacidade de 2 ou de 5 litros, os quais foram mantidos em ambientes livres de umidade, distantes de qualquer fonte de calor, a fim de garantir as características presentes nas amostras até a aplicação dos testes de peneiramento e adesividade, de modo a manter a qualidade idêntica a qualidade de aplicação na obra rodoviária.



## 7.1 EMPRESA A

A empresa A foi fundada em 1969 e possui sede na cidade de Porto Alegre. A empresa executa obras de pavimentação e reparos em rodovias gaúchas, tendo projetado seu campo de atuação para o interior do estado no ano de 1970.

Figura 41 – Localização da cidade onde se encontra a sede da Empresa A

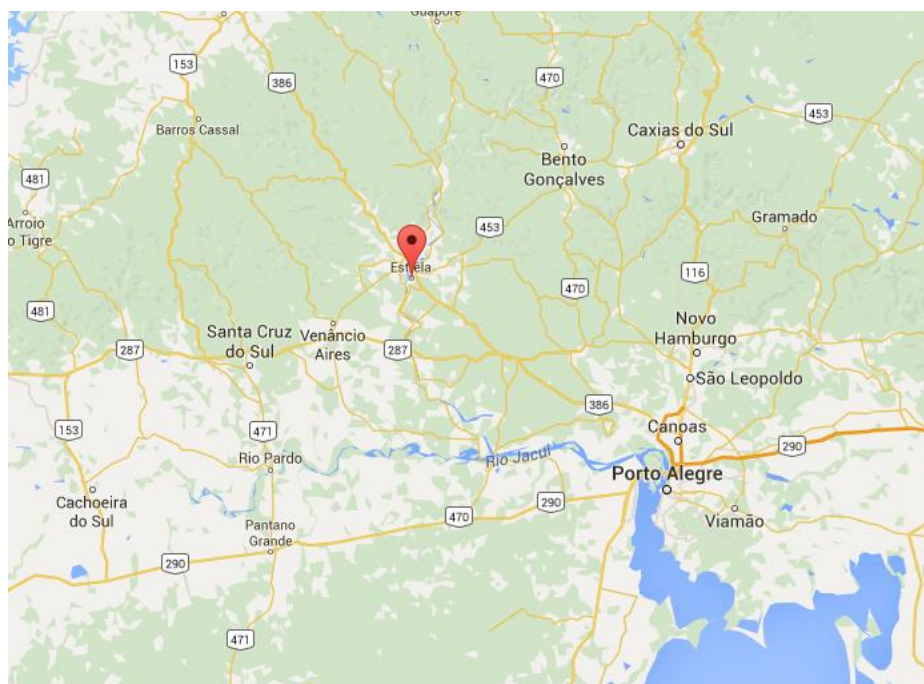


(fonte: GOOGLE MAPS, 2016)

## 7.2 EMPRESA B

A empresa B possui mais de 30 anos de atuação em obras de rodovias no estado do Rio Grande do Sul. Fundada em 1984, a empresa possui sua matriz na cidade de Estrela, possuindo filiais em diversas cidades, dentre elas Lajeado, Santa Cruz do Sul, Venâncio Aires e Vera Cruz. Executa obras rodoviárias de modo terceirizado pela EGR-Empresa Gaúcha de Rodovias.

Figura 42 – Localização da cidade onde se encontra a sede da Empresa B



(fonte: GOOGLE MAPS, 2016)

A coleta da amostra de emulsão RR-2C ocorreu no mês de fevereiro de 2016 em uma das usinas da empresa. A emulsão foi armazenada em um recipiente com capacidade de 2 litros como mostra a figura 43.

Figura 43 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa B



(fonte: foto do autor)

### 7.3 EMPRESA C

A empresa C possui sede na cidade de Porto Alegre, porém executa obras de engenharia em todas as regiões do estado. Além de obras rodoviárias, esta instituição executa também obras de saneamento de água e esgoto, geração de energia e mineração.

A coleta da amostra de ligante betuminoso ocorreu na usina da empresa. A amostra foi inserida em um recipiente com capacidade para 5 litros, onde permaneceu até a execução do ensaio, como consta na figura 44.

Figura 44 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa C



(fonte: foto do autor)

### 7.4 EMPRESA D

A empresa D possui sede na cidade de Bento Gonçalves, onde executa obras rodoviárias como empreiteira contratada pela EGR-Empresa Gaúcha de Rodovias.

A coleta da amostra de ligante betuminoso ocorreu na usina da empresa. A amostra foi inserida em um recipiente com capacidade para 5 litros, onde permaneceu até a execução do ensaio, como consta na figura 45.

Figura 45 – Recipiente onde ficou armazenada a amostra da Empresa D



(fonte: foto do autor)

A tabela a seguir apresenta, de modo resumido, dados das quatro empresas que forneceram as amostras para estudo, bem como a data, o volume da coleta e subdivide as instituições através de suas empresas fornecedoras de material.

Tabela 2 – Características das empresas e da coleta das amostras de ligante

Instituição	Cidade Sede	Empresa Fornecedoradora do Ligante	Volume de Coleta (l)	Mês da coleta
Empresa A	Porto Alegre - RS	1	2	jan/16
Empresa B	Estrela -RS	2	2	fev/16
Empresa C	Porto Alegre - RS	1	5	mar/16
Empresa D	Bento Gonçalves - RS	2	5	mar/16

(fonte: elaborado pelo autor)

## 8 MÉTODOS

Após a coleta das amostras ocorreram os ensaios, conforme as normas vigentes. O Ensaio de Peneiramento de Emulsão seguiu a norma NBR 14393: “Emulsão asfáltica – determinação da peneiração”.

No que se refere ao teste de adesividade do ligante betuminoso e do agregado, os parâmetros vigentes estão presentes na norma NBR 6300: “Emulsões asfálticas catiônicas – determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos”.

### 8.1 ENSAIO DE PENEIRAMENTO

O Ensaio de Peneiramento de Emulsão é utilizado para verificação da porcentagem de material retido. Segundo a especificação de serviço para Tratamento Superficial Duplo do DAER, o material retido na peneira, para emulsões RR-2C pode ter valor máximo de 0,1%.

De modo sucinto, pode-se descrever o método de ensaio como o peneiramento de uma alíquota de 1000 g de emulsão asfáltica, a qual é vertida através de uma peneira de abertura de 841µm. A peneiração é a porcentagem, em massa, de resíduo asfáltico retido nesta peneira.

Todas as amostras de emulsão coletadas passaram pelo mesmo ensaio, seguindo os mesmos padrões e a mesma norma.

#### 8.1.1 Procedimento

A temperatura na qual o ensaio de peneiração deve ser realizado está relacionada com a viscosidade da emulsão. Para aqueles materiais cuja viscosidade *Saibolt-Furol* seja menor ou igual a 100 SSF a 25°C, a temperatura do ensaio deve ser a ambiente. Para aqueles materiais cuja viscosidade seja maior que 100 SSF a 25°C ou que sejam especificados a 50°C, utilizar emulsão aquecida a 50°C. Se for necessário, aquecer a emulsão utilizando banho-maria. As amostras de emulsões RR-2C não necessitaram de aquecimento neste ensaio.

Na sequência, determinou-se a massa do conjunto peneira e fundo de latão, certificando-se de que o sistema estava completamente seco. Anotou-se a massa de cada amostra. Esta etapa pode ser conferida na figura 46.

Figura 46 – Determinação da massa do conjunto peneira e fundo



(fonte: foto do autor)

A seguir, a malha da peneira foi umedecida com água destilada, pois a emulsão asfáltica a ser analisada era de natureza catiônica. Pesou-se  $(1000 \pm 0,1)$  g da emulsão asfáltica no béquer para vertê-la sobre as malhas da peneira.



A figura 47, no que se refere ao procedimento descrito, elucida o peneiramento da emulsão sobre a malha da peneira.

Figura 47 – Emulsão vertida sobre a peneira



(fonte: foto do autor)

Dando prosseguimento ao ensaio, o béquer utilizado, o resíduo que ficou retido e a malha da peneira foram lavados com água destilada, devido à emulsão asfáltica ser catiônica. O processo foi repetido até que a água tornou-se limpa.

No momento seguinte, a peneira e o fundo de latão foram levados, em conjunto, para a estufa, a qual já estava previamente aquecida a  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$ . O conjunto ali permaneceu até atingir a massa constante.

O conjunto foi retirado da estufa e colocado no dessecador, onde permaneceu até atingir a temperatura ambiente. Após isso, determinou-se a massa do conjunto e anotou-se o valor referido, sendo denominado como massa B.

### 8.1.2 Expressão dos resultados

O resultado é expresso como a porcentagem retida calculada de acordo com a equação 18.

$$\% \text{ retida} = \frac{(B - A)}{1000} \times 100 \quad (\text{equação 18})$$

Sendo:

*A*: massa do conjunto peneira e fundo de latão [g];

*B*: massa do conjunto peneira e fundo de latão mais resíduo [g];

## 8.2 ENSAIO DE ADESIVIDADE

O Ensaio de Adesividade descreve o método para verificação da resistência à água (adesividade) do ligante residual, proveniente da ruptura das emulsões asfálticas catiônicas, convencionais ou modificadas, aplicadas sobre agregados graúdos. Segundo a especificação de serviço para Tratamento Superficial Duplo do DAER, esse ensaio deve ocorrer no primeiro carregamento que chegar à obra e quando houver variação do agregado ou ligante.

Todas as amostras de emulsão coletadas tiveram o mesmo teste, seguindo os mesmos padrões e a mesma norma.

### 8.2.1 Preparação da Amostra

A amostra de agregado utilizada no ensaio foi obtida do material que passa na peneira de 19 mm e fica retido na de 9,52 mm. A amostra foi peneirada e o aspecto do material retido está retratado da figura 12.



Figura 48– Agregado retido na peneira 3/8”



(fonte: foto do autor)

A seguir, a amostra foi lavada com água corrente e colocada em uma cápsula contendo água potável, onde permaneceu por 1 min. Logo após a água foi drenada, os agregados foram colocados na bandeja e levados à estufa a 120°C durante 2 h.

As amostras de emulsão asfáltica foram aquecidas na faixa de 50°C a 60°C. A figura a seguir retrata o processo de aquecimento de uma das quatro amostras de ligante.

Figura 49 – Aquecimento da amostra de emulsão



(fonte: foto do autor)

## 8.2.2 Procedimento

Os procedimentos para realização do ensaio variam em função do tipo de emulsão asfáltica catiônica empregada. Para a emulsão asfáltica catiônica de ruptura rápida existem certas peculiaridades de ensaio, que serão esclarecidas a seguir.

Primeiramente, foram adicionados na cápsula metálica 300 g da amostra de agregado previamente preparada. O agregado foi umedecido com água potável e então transferido para o cesto, como mostra a figura 50.

Figura 50 – Vista lateral e superior do cesto e agregado umedecido



(fonte: foto do autor)

Paralelamente à especificação acima citada, foi inserido 400 mL da amostra de emulsão no béquer. O aspecto final da amostra de agregado e de emulsão, em vista lateral e superior, está retratado na figura 51.

Figura 51 – Vista lateral e superior da amostra de emulsão e agregado



(fonte: foto do autor)

Logo após, o cesto de agregado foi imerso no béquer contendo a emulsão, permanecendo pelo tempo de 1 min, a fim de ocorrer a formação de uma película contínua de emulsão em torno do agregado, como pode ser observado na figura 52.

Figura 52 – Formação da película de emulsão sobre o agregado



(fonte: foto do autor)



O cesto foi retirado do béquer e os agregados recobertos com película asfáltica foram colocados sobre a placa, onde repousaram por cerca de 1 h. A placa foi levada ao sol para aperfeiçoar a ocorrência da ruptura. A ruptura pode ser notada na mudança da coloração da película que recobre o agregado, no momento em que passa de marrom para preto. A figura 53 evidencia a ocorrência da ruptura.

Figura 53 – Ruptura da película de emulsão RR-2C



(fonte: foto do autor)

Após esta etapa, os agregados recobertos pela película foram levados à estufa a temperatura de  $(60 \pm 1^\circ\text{C})$ , onde permaneceram por 24h para que a cura fosse completa. Do mesmo modo, após esse momento, a amostra foi retirada da estufa até atingir a temperatura ambiente.

Procedendo-se o ensaio, colocou-se 400mL de água potável e transferiu-se a amostra de ligante e agregado para o béquer. O béquer, com a amostra, foi mantido em estufa a  $(40 \pm 1^\circ\text{C})$  por 72h. A figura 54 retrata o sistema béquer, mais agregado e ligante, em estufa.

Figura 54 – Béquer em estufa



(fonte: foto do autor)

### 8.2.3 Expressão dos resultados

Após a execução de todos os procedimentos relativos, procede-se a análise visual dos agregados, onde estima-se a porcentagem, da área que se manteve recoberta com a película asfáltica. O resultado será expresso como sendo a porcentagem da área dos agregados, estimada visualmente, que se manteve recoberta com película asfáltica após o ensaio.

## 9 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos na aplicação dos testes de adesividade e peneiramento, bem como uma análise relacionada aos resultados. Quanto ao processo de peneiramento de emulsão, resultados relacionados à porcentagem retida das quatro amostras e, quanto ao ensaio de adesividade, valores relacionados às quatro amostras com o agregado de basalto.

### 9.1 RESULTADO DO PENEIRAMENTO

Segundo a especificação DAER-ES-P 15/11, que versa sobre o serviço para Tratamento Superficial Duplo, bem como sobre o controle tecnológico deste método de revestimento asfáltico e seu critério de avaliação, o teste de peneiramento deve ocorrer a cada carregamento que chegar à obra para recebimento. Conforme ABNT/IBP, para a emulsão RR-2C, o material retido deve ter um máximo de 0,1%.

De modo geral, as quatro amostras estudadas estão adequadas à norma, com seus valores percentuais de resíduo retido dentro dos padrões de controle utilizados como parâmetro no ensaio. Além disso, a variação de resultados entre as amostras foi pequena. A média percentual retida obtida foi de 0,03%, sendo que a amostra que obteve maior valor retido foi a da Empresa B. Os demais resultados podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados obtidos do peneiramento

Instituição	Volume Peneirado(ml)	Percentual Retido	Situação
Empresa A	1000	0,02%	Ok
Empresa B	1000	0,05%	Ok
Empresa C	1000	0,03%	Ok
Empresa D	1000	0,03%	Ok

Média	0,03%
Maior Retido: Empresa B	0,05%
Menor Retido: Empresa A	0,02%

(fonte: elaborado pelo autor)

## 9.2 RESULTADO DA ADESIVIDADE

Segundo a ABNT NBR 6300: Emulsões asfálticas catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos, a expressão dos resultados é obtida através de uma análise visual dos agregados, de modo a se estimar a porcentagem da área que se manteve recoberta com a película asfáltica.

O resultado é expresso como sendo a porcentagem da área dos agregados, estimada visualmente, que se manteve recoberta com película asfáltica após o ensaio. As figuras a seguir ilustram as quatro amostras estudadas.

A amostra A mostrou uma ótima adesividade, recobrindo grande parte do agregado, no entanto, visualmente apresentou uma camada de englobamento de menor espessura. Na figura 55 pode se observar o aspecto da adesividade da emulsão coletada da empresa A.

Figura 55 – Aspecto visual da adesividade da amostra A



(fonte: foto do autor)

A amostra B apresentou uma ótima adesividade. Visualmente apresentou uma camada de ligante betuminoso espessa.



Na figura 56 pode se observar o aspecto da adesividade da emulsão coletada da Empresa B.

Figura 56 – Aspecto visual da adesividade da amostra B



(fonte: foto do autor)

A amostra C teve ótima adesividade, apresentando, após a cura da emulsão, uma camada relativamente espessa de ligante, a qual englobava visualmente grande parte do agregado. Na figura 57 pode se observar o aspecto da adesividade da emulsão coletada da empresa C.

Figura 57 – Aspecto visual da adesividade da amostra C



(fonte: foto do autor)

A amostra D apresentou uma ótima adesividade, recobrindo grande parte do agregado. Das quatro amostras estudadas, foi a que obteve, visualmente, a maior espessura da camada de ligante. Apresentou também, grande englobamento do agregado. Na figura 58 pode se observar o aspecto da adesividade da emulsão coletada da Empresa D.



Figura 58 – Aspecto visual da adesividade da amostra D ao agregado de basalto



(fonte: foto do autor)

De modo geral, as quatro amostras obtiveram valores significativos de adesividade com relação ao agregado basáltico. Tendo como base a especificação DAER-ES-P 15/11, que versa sobre o serviço para Tratamento Superficial Duplo, as emulsões utilizadas nesse ensaio estariam em constância com a norma, podendo ser aplicadas em obras rodoviárias de Tratamento Superficial Duplo.

Não foi constatado o descolamento da película betuminosa em nenhuma das amostras, contribuindo para um ótimo aspecto visual do sistema agregado/emulsão, bem como para uma maior área aderida. Deste modo, pode-se comparar as amostras entre si, a fim de observar as características de cada amostra. A tabela a seguir retrata as quatro amostras conjuntamente.

Tabela 4 - Resultados visuais obtidos da adesividade

Instituição	Aspecto Visual	Descolamento da Película	Situação
Empresa A	Ótimo	Não	Ok
Empresa B	Ótimo	Não	Ok
Empresa C	Ótimo	Não	Ok
Empresa D	Ótimo	Não	Ok

(fonte: elaborado pelo autor)

## 10 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste capítulo são apresentadas as conclusões obtidas ao longo do trabalho, considerando os ensaios executados, bem como a análise de cada um deles. De outro modo, são sugeridos certos itens que poderão ser analisados em trabalhos futuros, buscando agregar e contribuir para as conclusões aqui destacadas.

### 10.1 CONCLUSÕES

Este estudo teve como objetivo analisar a adesividade e o resíduo retido de amostras de emulsões asfálticas de ruptura rápida, RR-2C. Foi averiguado o comportamento do ligante betuminoso tanto de maneira isolada como em união ao agregado basáltico, sistema amplamente usado em revestimentos asfálticos do tipo Tratamento Superficial Duplo em rodovias do estado e do país. A partir dos resultados obtidos chegou-se às conclusões a seguir.

A adesividade apresentada pelas quatro amostras de ligante foi satisfatória, com ótimo englobamento do agregado. No entanto, visualmente a espessura da película betuminosa que englobava o agregado apresentou variação.

Ademais, os resultados indicam que estas amostras de emulsões não necessitam do Dope para melhoria da adesividade, pois segundo o Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (2011, p. 1), o melhorador de adesividade só deve ser usado quando se necessita melhorar a adesividade do ligante betuminoso com o agregado.

Conclui-se que a diferença da porcentagem retida, ao se comparar as amostras, foi mínima, visto à pequena variação de percentual retido de cada uma das amostras, todas as unidades estariam com seus valores percentuais em conformidade com a especificação DAER-ES-P 15/11.

Conclui-se que, no que se refere ao peneiramento da emulsão e à adesividade, as amostras poderiam ser aplicadas em revestimentos asfálticos do tipo Tratamento Superficial Duplo.

## 10.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Analisar a adesividade da emulsão RR-2C com outros tipos de agregados popularmente utilizados em revestimentos asfálticos do tipo TSD;
- b) Comparar a adesividade da emulsão de ruptura rápida aplicada juntamente com o melhorador de adesividade (dope) ;
- c) Analisar a adesividade de outros tipos de ligantes betuminosos utilizados nos serviços de Tratamento Superficial;
- d) Analisar a influencia da espessura do filme asfáltico, que engloba o agregado, na durabilidade de revestimentos do tipo TSD;

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Manual básico de emulsões asfálticas**: soluções para pavimentar sua cidade. Rio de Janeiro, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6300**: emulsões asfáltica catiônicas – Determinação da resistência à água (adesividade) em agregados graúdos. Rio de Janeiro, 2009.
- \_\_\_\_\_. **NBR 6954**: lastro padrão – Determinação da forma do material. Rio de Janeiro, 1989.
- \_\_\_\_\_. **NBR 14393**: emulsões asfálticas – Determinação da peneiração. Rio de Janeiro, 2012.
- BALBO, J.T. **Pavimentação asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.
- BERNUCCI, L. B.; MOTTA, L. M. G.; CERRATI, J. A. P.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. Rio de Janeiro: Petrobras, Abeda, 2006.
- CERRATI, J. A. P.; BERNUCCI, L. B.; SOARES, J. B. **Utilização de ligantes asfálticos em serviços de pavimentação**. Petrobras, Abeda, 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2014**: relatório gerencial. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2014.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de rodovias 2015**: relatório gerencial. Brasília: CNT, SEST, SENAT, 2015.
- DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DAER 15/ 11 – ES – P**: tratamento superficial duplo. Porto Alegre, 2011.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER 309/97 – ES**: pavimentação – tratamento superficial duplo. Rio de Janeiro, 1997.
- FERNANDES, J. A. A.; BURIGO JÚNIOR, J.; PEREIRA SOBRINHO, O. M. **Tratamentos Superficiais**. Curitiba: DER, 2009.
- MASSARANDUBA, J. C. M.; ANTESCEZEZEM JUNIOR, J. A. Tratamentos superficiais. Fatos & Asfaltos, Araucária: GRECA, ano 8, n. 23, p. 5-6, Abril 2001.
- MOTTA, R. dos S. **Estudo de misturas asfálticas mornas em revestimentos de pavimentos para redução de emissão de poluentes e consumo energético**. 2011. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação rodoviária**: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **PMSP 05/2004 – IP**: dimensionamento de pavimentos flexíveis – tráfego meio pesado, pesado, muito pesado e faixa exclusiva de ônibus. São Paulo, 2004.

SOUZA, M. L. de. **Método de projeto de pavimentos flexíveis**. 3. ed. Rio de Janeiro: IPR, 1981.

VILLIBOR, D. F.; NOGAMI, J. S.; CINCERRE, J. R.; SERRA, P. R. M.; ZUPPOLINI NETO, A. **Pavimentação de baixo custo para vias urbanas**. 2. ed. São Paulo: Arte e Ciência, 2009.