

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ALEXANDRE MARTINS ARAÚJO**

**ESTUDO LABORATORIAL DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO  
UTILIZANDO BRITAS CONVENCIONAIS**

SÃO LUÍS  
2019

ALEXANDRE MARTINS ARAÚJO

**ESTUDO LABORATORIAL DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO  
UTILIZANDO BRITAS CONVENCIONAIS**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Estadual do Maranhão, como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Maria Teresinha Medeiros Coelho

SÃO LUÍS

2019

ALEXANDRE MARTINS ARAÚJO

ESTUDO LABORATORIAL DE TRATAMENTO SUPERFICIAL DUPLO UTILIZANDO  
BRITAS CONVENCIONAIS

Monografia apresentada à Coordenação  
do Curso de Engenharia Civil da  
Universidade Estadual do Maranhão,  
como requisito para obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

APROVADO EM: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_

BANCA EXAMINADORA



**Prof.ª Dra. Maria Teresinha Medeiros Coelho (ORIENTADORA)**

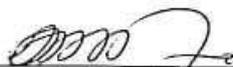
Doutora em Urbanismo

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof.ª Dr. Walter Canales Sant'Ana**

Universidade Estadual do Maranhão



**Prof.ª Msc. Marivaldo Costa Duarte**

Mestre em Engenharia Mecânica

Universidade Estadual do Maranhão

Araújo, Alexandre Martins.

Estudo laboratorial de tratamento superficial duplo utilizando britas convencionais / Alexandre Martins Araújo. – São Luís, 2019.

... f

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual do Maranhão, 2019.

Orientador: Profa. Dra. Maria Teresinha de Medeiros Coelho.

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus avós Antônio Carlos Martins e Maria Aparecida Ewerton Martins, que me proporcionaram os primeiros ensinamentos e sempre me apoiaram durante toda formação. O carinho, determinação e sabedoria de vocês foi fundamental.

Aos meus pais Antônio Diniz Araújo e Alana Rita Ewerton Martins Araújo, que tiveram participação fundamental para realização dessa grande etapa do meu projeto de vida, estando sempre dispostos a ajudar direta e indiretamente.

A minha irmã Anna Giullia Martins Araújo, por todos os ensinamentos que eu pude aprender desde seu nascimento.

Aos amigos de laboratório, pelos momentos de alegria e frustração que muitas vezes compartilhamos, e principalmente pelo companheirismo ali instituído.

Aos meus amigos de classe e futuros companheiros de profissão, em especial aos meus amigos Antônio Pereira de Sousa Neto e Joao Victor Silva Aguiar que muito contribuíram durante minha trajetória acadêmica e na realização desse trabalho.

Aos amigos que pude cultivar durante todos esses 23 anos de caminhada, em especial aos que conheci no ensino médio e fundamental, e que tenho o prazer de manter contato até hoje.

A minha professora e orientadora Maria Teresinha de Medeiros Coelho, que sempre esteve presente, com seus conselhos e correções que muito me ajudaram na realização desse trabalho.

*“Quem quer passar além do Bojador  
Tem que passar além da dor,  
Deus ao mar o perigo e o abismo deu,  
Mas nele é que espelhou o céu”.*

*Fernando Pessoa.*

## RESUMO

O Tratamento Superficial é uma técnica construtiva amplamente utilizada na pavimentação, sendo constituído de uma camada de agregado coberta por ligante asfáltico. Existem três tipos de tratamento superficial, o simples que contém apenas uma camada de agregado e ligante, o duplo que contém duas camadas e o triplo com três camadas. Esse tipo de revestimento apresenta diversas vantagens, como o baixo custo de produção, a facilidade de execução e a sua versatilidade, pois pode ser utilizado na pavimentação de novas vias, no rejuvenescimento de locais já pavimentados e no aumento do conforto para os usuários. No estado do Maranhão essa técnica vem sendo utilizada com mais frequência, por se mostrar uma excelente opção para vias de baixo e médio tráfego, ligando regiões de menor índice demográfico. O trabalho visa analisar o desempenho das britas encontradas no mercado maranhense na execução de tratamento superficial. Os agregados (britas 1 e 0) e ligante (RR-2C) foram submetidos à ensaios seguindo as normas vigentes, obtendo-se como resultado desse estudo, a aptidão dos materiais utilizados para serem empregados na execução de tratamento superficial duplo.

Palavras-Chave: Tratamento Superficial, Britas Convencionais, Desgaste WTAT.

## **ABSTRACT**

The Asphalt Surface Treatment is a construction technique largely used in paving, being composed of an aggregate layer covered by asphalt binder. There are three types of surface treatment, the simple one containing only one layer of aggregate and binder, the double containing two layers and the triple with three layers. This type of coating has several advantages, such as low production cost, ease of execution and versatility, as it can be used in paving new roads, rejuvenating already paved sites and increasing comfort for users. In the state of Maranhão this technique has been used more frequently, since it is an excellent option for low and medium traffic routes, connecting regions with lower demographic index. The objective of this research is to review the performance of gravels found in the Maranhão market in the execution of surface treatment. The aggregates (type 1 and type 0 gravels) and binder (RR-2C) were submitted to the tests according to the current norms, and the result obtained with this study was that the materials used are suitable for use in the execution of double surface treatment.

Keywords: Surface Treatment, Conventional Britas, W.T.A.T Wear.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Pavimento Flexível .....	16
Figura 2 – Pavimento Rígido .....	17
Figura 3 – Pavimento Semi - Rígido.....	17
Figura 4 - Tipos de Tratamento Superficial .....	19
Figura 5 - Execução de Microrrevestimento .....	20
Figura 6 – Execução de Imprimação .....	21
Figura 7 – Execução de Pintura de Ligação.....	22
Figura 8 – Tipos de Brita. ....	30
Figura 9 – Agregados .....	33
Figura 10 – Emulsão Asfáltica RR-2C .....	33
Figura 11 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria (a), execução de peneiramento (b). ....	35
Figura 12 – Amostra de agregado submetida ao ensaio de adesividade .....	37
Figura 13 - Máquina de abrasão Los Angeles.....	37
Figura 14 – Brita 1 resultante do ensaio de abrasão Los Angeles .....	38
Figura 15 – Ensaio de carga de partícula (a), resultado do ensaio de carga de partícula (b). ....	40
Figura 16 - Ensaio de resíduo por evaporação .....	41
Figura 17 – Emulsão sendo vertida na peneira de nº 20 (a), material retido na peneira de nº 20 (b).....	42
Figura 18 - Método da bandeja primeira camada.....	43
Figura 19 - Método da bandeja segunda camada.....	43
Figura 20 - Caixa dosadora.....	44
Figura 21 – Etapas de confecção do TSD.....	48
Figura 22 - Areia e pistão (a), espalhamento da areia (b), medição do diâmetro da mancha de areia (c), mantas com a mancha de areia (d). ....	49
Figura 23 - Curva granulométrica da brita 1 e limites de norma (faixa A). ....	51
Figura 24 - Curva granulométrica brita 0 e limites de norma (Faixa B) .....	52
Figura 25 - Curva granulométrica do pó de brita e limites de norma para capa selante.....	53
Figura 26 - Adesividade insatisfatória da Brita 1. ....	55

Figura 27 - Adesividade Satisfatória da brita 1 com acréscimo de ligante .....	55
Figura 28 - Resultado do ensaio de carga da partícula.....	56
Figura 29 - Mantas antes e depois de serem submetidas ao ensaio de desgaste....	59
Figura 30 - Comparação de resultados de desgaste WTAT sem capa selante .....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Faixas granulométricas para TSD .....	29
Tabela 2 – Tamanho dos grãos das britas .....	30
Tabela 3 – Faixas granulométricas do Tratamento Superficial Duplo .....	34
Tabela 4 - Quantidades mínimas de material para análise granulométrica.....	35
Tabela 5 – Classificação de forma dos agregados.....	36
Tabela 6 - Tabela de graduação para ensaio de abrasão Los Angeles. ....	38
Tabela 7 - Características das emulsões asfálticas .....	39
Tabela 8 – Classificação quanto à carga de partícula.....	40
Tabela 9 - Taxas de ligante e agregados segundo DNIT. ....	46
Tabela 10 – Dosagem de agregado miúdo e ligante para capa selante .....	46
Tabela 11 - Classificação quanto a macrotextura do pavimento .....	50
Tabela 12 - Granulometria da brita 1 e limites da norma (faixa A). ....	51
Tabela 13 - Granulometria da brita 0 e limites da norma (faixa B). ....	52
Tabela 14 - Granulometria do pó de brita e limites de norma para capa selante. ....	53
Tabela 15 - Resultado de Índice de Forma. ....	54
Tabela 16 - Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para brita 0 e brita 1.....	54
Tabela 17 - Taxa de agregados. ....	57
Tabela 18 - Taxa de ligante.....	57
Tabela 19 - Resultado desgaste WTAT .....	58
Tabela 20 - Resultado desgaste WTAT com capa selante. ....	59
Tabela 21 - Alturas médias do ensaio de mancha de areia .....	60

## **LISTA DE SIGLAS**

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CCT – Centro de Ciências Tecnológicas

LSP – Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação

RL – Ruptura Lenta

RM – Ruptura Média

RR – Ruptura Rápida

TSD – Tratamento Superficial Duplo

TSS – Tratamento Superficial Simples

TST – Tratamento Superficial Triplo

UEMA – Universidade Estadual do Maranhão

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Justificativa.....	13
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	14
2.1 Pavimento .....	14
2.2 Tipos de Pavimento .....	16
2.3 Tratamento Superficial.....	17
2.3.1 Histórico do Tratamento Superficial .....	17
2.3.2 Definição e classificação dos tratamentos superficiais .....	18
2.3.3 Outros tipos de tratamento superficial .....	19
2.4 Outros serviços aplicados na pavimentação.....	21
<i>Função de um tratamento superficial</i> .....	22
<i>Aplicação de um tratamento superficial</i> .....	22
2.5 Ligantes empregados na construção de tratamentos superficiais .....	22
2.5.1 Emulsão asfáltica.....	22
2.6 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP) .....	25
2.7 Agregados utilizados na confecção de tratamentos superficiais.....	26
Brita.....	29
3. METODOLOGIA, MATERIAIS E ENSAIOS .....	32
3.1 Considerações Iniciais:.....	32
3.2 Coleta de Materiais .....	33
3.3 Ensaio de caracterização dos materiais coletados .....	33
3.3.1 Ensaio de caracterização das britas .....	33
3.3.2 Ensaio de caracterização do ligante .....	39
3.4 Método de dosagem .....	42
3.4.1. Método de dosagem do agregado .....	42
3.4.2. Método de dosagem do ligante.....	44
3.4.3 Taxas de aplicação das especificações do DNIT .....	45
3.4.3.1 Dosagem da capa selante .....	46
3.5 Ensaio de Desgaste (WTAT) .....	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	50
4.1 Ensaio de caracterização física dos agregados .....	50

4.1.1 Análise granulométrica .....	50
4.1.2 Índice de forma .....	53
4.1.3 Abrasão Los Angeles.....	54
4.1.4 Adesividade .....	54
4.2 Ensaio de Caracterização do ligante .....	55
4.2.1 Carga de partícula .....	55
4.2.2 Peneiração.....	56
4.2.3 Carga de Partícula.....	56
4.3 Dosagem dos materiais .....	56
4.3.1 Dosagem do agregado .....	56
4.3.2 Dosagem do ligante .....	57
4.4 Ensaio WTAT.....	57
4.5 Ensaio Mancha de Areia.....	60
4.6 Comentários dos Resultados Obtidos .....	60
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	62
5.1 Principais Conclusões.....	62
5.2 Sugestões.....	63
REFERÊNCIAS.....	64

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo Bernucci (2008), o tratamento superficial é um dos diversos tipos de revestimentos asfálticos existentes na pavimentação de vias, ele se caracteriza principalmente pelo seu método construtivo, que consiste no espalhamento uniforme do agregado e na concomitantemente aplicação do ligante asfáltico, que envolverá o agregado por penetração direta ou invertida, o resultado desse processo é compactado dando fim ao processo. Esse método é utilizado em pavimentos flexíveis e pode apresentar até três finas camadas de agregado e ligante, sendo classificado como: Tratamento Simples (uma camada), Tratamento Duplo (duas camadas), Tratamento Triplo (três camadas).

Segundo Teixeira (2012), denomina-se por "penetração invertida" o tratamento que é iniciado pela aplicação do ligante. Já o termo "penetração direta" foi introduzido para melhor identificar os tratamentos executados em acostamentos com emulsões de baixa viscosidade, em que há necessidade de se iniciar por um espalhamento de agregado para evitar o escorrimento do ligante.

Seu uso pode ser relacionado à construção, manutenção e rejuvenescimento de pavimentos, sendo constituído basicamente de ligante e agregado. É um tipo de revestimento de simples execução e baixo custo, porém utilizá-lo não confere aumento da resistência estrutural para as outras camadas do pavimento. Entretanto a resistência ao desgaste da pista aumenta em larga escala, outro fator relevante desse tipo de revestimento é o aumento da adesão pneu-pavimento diminuindo a distância de parada e as derrapagens tornando a via mais segura ao usuário (BERNUCCI, 2008).

Dentro desse contexto, o trabalho propõe-se a estudar o revestimento tipo tratamento superficial, utilizando materiais disponíveis no mercado ludovicense, a fim de buscar alternativas para a pavimentação na capital maranhense, primando por um serviço de baixo custo e de fácil execução.

### 1.1 Justificativa

O Brasil é um país de grandes dimensões territoriais que depende principalmente do sistema rodoviário para interligá-lo, é através desse sistema que

grande parte da população e dos commodities são transportados. Entretanto mesmo com toda essa importância o estado de conservação das vias públicas ainda está longe de ser satisfatório, pois a maior parte delas se encontra com sérios problemas de infraestrutura apresentando trincas, buracos e até mesmo ausência de revestimento colocando em risco a trafegabilidade e segurança dos usuários.

O revestimento tipo tratamento superficial pode ser um grande aliado para a resolução dessas patologias, servindo como revestimento de alta resistência ao desgaste e baixo custo, por apresentar materiais simples e de fácil manuseio.

## 1.2 Obejtivos

### 1.2.1 Geral

Estudar o comportamento do Tratamento Superficial Duplo utilizando britas convencionais

### 1.2.2 Específicos

- Caracterização física e mecânica do agregado
- Analisar as características do ligante (emulsão RR-2C).
- Estudar traços para composição da mistura
- Comparar os resultados obtidos

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Pavimento

Segundo Bernucci (2008), o pavimento é um conjunto de várias camadas construídas acima da cota de terraplanagem, que tem como objetivo resistir aos esforços gerados pelo tráfego e meio ambiente, além de proporcionar conforto e segurança aos usuários da via.

O Pavimento é composto por várias camadas com variação em sua composição e objetivo, que descreveremos a seguir.

### *Revestimento*

É a camada que recebe os primeiros esforços oriundos do tráfego, apresenta em sua composição material betuminoso em mistura com agregado e tem como objetivo impermeabilizar o pavimento além de proporcionar conforto e segurança aos usuários (BERNUCCI, 2008).

### *Base*

Essa camada tem como objetivo resistir aos esforços verticais ocasionados pelo tráfego e distribuí-los para as outras camadas, devendo ser composta de um material de melhor qualidade se comparado ao das camadas inferiores (SENÇO, 2007).

### *Sub-Base*

A camada de sub-base tem função de complementar a atuação da base do pavimento, seu uso é opcional e ocorre quando não for viável economicamente ou tecnicamente construir o pavimento apenas com a base e o revestimento (SENÇO, 2007).

### *Reforço do Subleito*

É uma camada opcional construída acima da regularização com material de qualidade superior ao subleito. Tem como função complementar a atuação da sub-base e conseqüentemente da base, ou seja, ela deve ser capaz de absorver os esforços verticais oriundos das camadas superiores e transmitir para o subleito (SENÇO, 2007).

Segundo DNIT (2010), é uma camada granular executada sobre o subleito regularizado, e tem como objetivo diminuir elevadas espessuras da camada de sub-base, oriundas da baixa capacidade do subleito.

### *Subleito*

É a camada mais distante da superfície, sendo composta na maioria das vezes pelo solo natural regularizado, e tem como função receber e dissipar

definitivamente os esforços que não foram absorvidos nas camadas superiores (SENÇO, 2007).

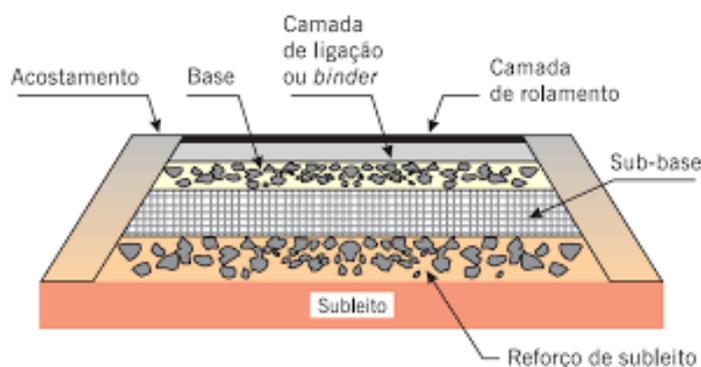
Ressalta – se que o subleito usualmente não é considerado como camada de pavimento.

## 2.2 Tipos de Pavimento

### *Pavimento Flexível ou Asfáltico*

Esse tipo de pavimento (Figura 1) é o mais utilizado no Brasil, apresenta baixo custo de produção, sendo constituído basicamente de camadas granulares em mistura com ligantes asfálticos, é composto de cinco camadas, sendo elas o subleito, reforço do subleito (opcional), sub-base, base e revestimento, alguma dessas camadas podem ser suprimidas levando em consideração o volume de tráfego da região (BERNUCCI, 2008).

Figura 1 – Pavimento Flexível

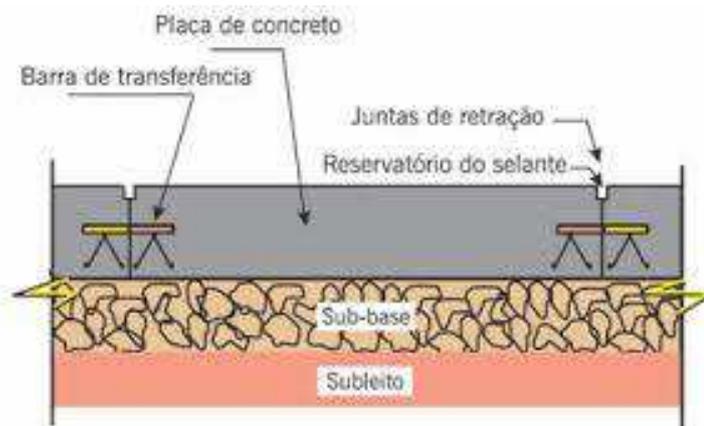


Fonte: Bernucci, 2008.

### *Pavimento Rígido ou Concreto-Cimento*

Esse tipo de pavimento (Figura 2) é caracterizado por apresentar placas de concreto como base, podendo conter armadura de aço ou não, é indicado para tráfego intenso apresentando pouca deformação e necessitando de pouca manutenção (BERNUCCI, 2008).

Figura 2 – Pavimento Rígido

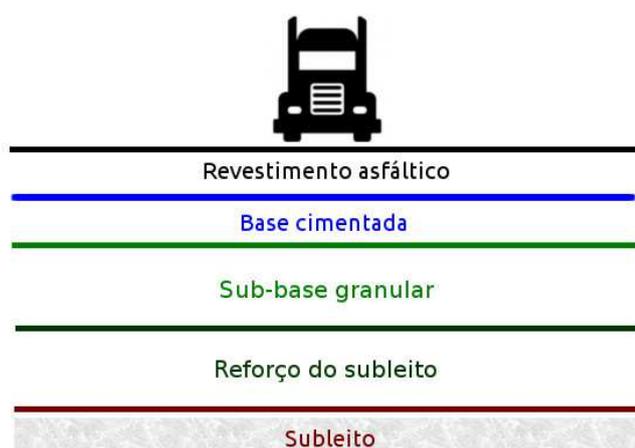


Fonte: Bernucci, 2008.

### *Pavimento Semi-rígido*

O pavimento semi-rígido (Figura 3) é caracterizado pela presença de material cimentante, como cal ou cimento nas camadas de base e sub-base, conferindo assim uma menor deformabilidade ao pavimento se comparado ao flexível (SENÇO, 2007).

Figura 3 – Pavimento Semi - Rígido



Fonte: E-Civil, 2019.

## 2.3 Tratamento Superficial

### 2.3.1 Histórico do Tratamento Superficial

O tratamento superficial teve origem na Europa, mais precisamente na Inglaterra e França por volta de 1800, quando se observou a capacidade de um resíduo de alcatrão, utilizado como combustível para iluminação, em promover a aglomeração de partículas de agregado. Entretanto esse tipo de revestimento só ganhou força a partir de 1924 quando a Inglaterra precisou melhorar sua malha viária (BUZATTI, 1994).

Já no Maranhão tem aproximadamente 120 quilômetros de tratamento superficial em suas rodovias. Muitas destas foram construídas na década de 70, como trechos das rodovias BR-135, na ligação dos municípios de Lago da Pedra, Lago do Junco e Igarapé Grande, por exemplo, foram pavimentados 26 Km em TSD. O agregado utilizado foi o seixo britado e ainda, para facilitar a liberação do tráfego, foi colocada areia sobre a última camada executada, funcionando como capa selante (MACÊDO, 2018 p. 20 *apud* JESUS, 2013).

### 2.3.2 Definição e classificação dos tratamentos superficiais

O tratamento superficial é um tipo de revestimento asfáltico utilizado na pavimentação, constituído por uma ou mais camadas de ligante asfáltico intercaladas com agregados minerais. Seu processo construtivo consiste na dispersão do ligante asfáltico sobre a camada de base do pavimento, que depois é coberta com o agregado e compactada (DER/SP, 2006).

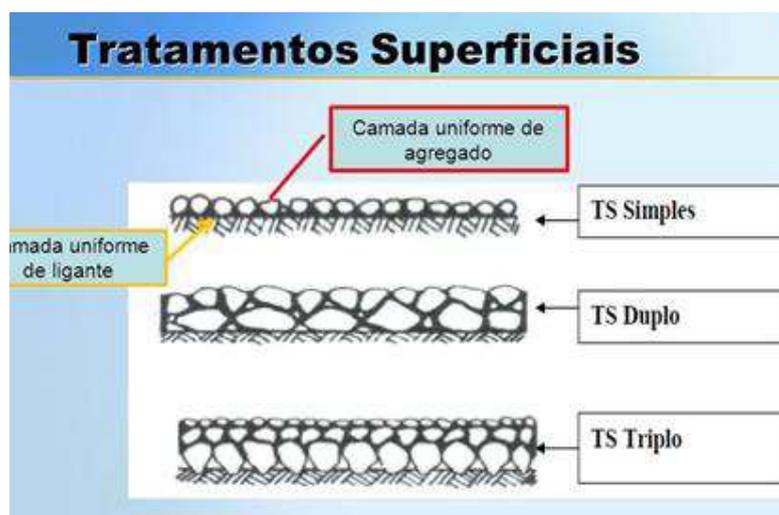
Segundo Teixeira (2012), o tratamento superficial consiste em uma fina e flexível camada de revestimento executada por espalhamento sucessivo de ligante asfáltico e agregado mineral. As principais características desse tipo de revestimento são a distribuição de materiais separadamente e o envolvimento do agregado pela penetração do ligante.

Ainda segundo Senço (2001), o tratamento superficial é constituído de uma pintura asfáltica regular, sobre uma base nivelada e imprimida, que posteriormente é coberta por agregado e compactada de forma leve, devido à pouca espessura resultante do revestimento.

De acordo com Bernucci (2008), o tratamento superficial é um revestimento flexível e delgado executado por espalhamento sucessivo do ligante asfáltico e agregado, podendo ser utilizado no revestimento de novos pavimentos ou na recuperação de revestimentos antigos.

Segundo Abeda (2006), o tratamento superficial se divide em três tipos (Figura 4) de acordo com o número de camadas de ligante e agregado intercaladas.

Figura 4 - Tipos de Tratamento Superficial



Fonte: ABEDA, 2006.

O Tratamento Superficial Simples (TSS), apresenta uma camada de ligante asfáltico penetrando de baixo para cima em uma penetração invertida, até envolver a única camada de agregado que foi espalhada (BERNUCCI, 2008).

Já no Tratamento Superficial Duplo (TSD), ocorre a presença de duas camadas de ligante e agregado intercaladas, havendo penetração invertida na primeira camada de agregado e invertida e direta na segunda. Há também uma diferença granulométrica entre as camadas de agregado, tendo a camada mais superficial uma granulometria menor afim de preencher melhor os vazios existentes na camada mais interna (BERNUCCI, 2008).

O Tratamento Superficial Triplo (TST), se difere do TSD apenas pela adição de mais uma camada de ligante e agregado, onde deve-se compactar de forma isolada à medida que for implementada cada camada assim como no TSD (BERNUCCI, 2008).

### 2.3.3 Outros tipos de tratamento superficial

Existem diversos outros tipos de tratamento superficiais, como por exemplo:

#### *Tratamento contra pó*

É uma técnica que visa controlar a poeira em estradas de terra ou em locais que serão pavimentados, consiste na dispersão de uma emulsão pouco viscosa, em

conjunto ou não de agregado miúdo. Em locais de baixíssimo tráfego pode ainda servir de revestimento de baixo custo (ABEDA, 2010).

### *Capa selante (cape seal)*

É um tipo de tratamento superficial de finas camadas que se caracteriza por conter uma base de TSS, a fim de garantir as condições mecânicas do revestimento, juntamente com uma camada de material selante para impermeabilização e melhoria das condições de rolamento da via (ABEDA, 2010).

### *Lama asfáltica*

Trata-se de um fluido composto por agregados, emulsão asfáltica, material de enchimento e água, que tem como principal aplicação a recuperação de pavimentos. Consiste no espalhamento à temperatura ambiente sobre a via, a fim de rejuvenescer e impermeabilizar o pavimento, evitando assim os danos que a água pode causar as camadas mais internas (BERNUCCI, 2008).

### *Microrrevestimento asfáltico*

Advém do aprimoramento da lama asfáltica por conter em sua composição, emulsões modificadas com polímeros para ganho de longevidade. É uma mistura de agregados, fíler, água e emulsão com polímero, podendo ser adicionadas fibras, que pode ser utilizada no revestimento de vias de baixo tráfego, na confecção de capa selante e na recuperação de pavimentos danificados (Figura5) (BERNUCCI, 2008).

Figura 5 - Execução de Microrrevestimento



Fonte: Bernucci, 2008.

### *Macadame Betuminoso por penetração*

Consiste no espalhamento de várias camadas de ligante e agregado sobre a via de forma sucessiva. Pode ser utilizada como revestimento, base ou binder, no primeiro caso a espessura deve ficar em torno de 20 mm, nos demais deve ser superior a 50 mm (ABEDA, 2010).

### 2.4 Outros serviços aplicados na pavimentação

#### *Imprimação*

Utiliza-se com o objetivo de impermeabilizar as camadas granulares anteriores ao revestimento, além de proporcionar melhor aderência entre a base e o revestimento que será executado (Figura 6). A imprimação consiste na dispersão de ligante sobre a via, podendo ser um ADP ou emulsão (ABEDA, 2010).

Figura 6 – Execução de Imprimação



Fonte: NTA Asfaltos, 2015.

#### *Pintura de ligação*

Tem como objetivo promover uma melhor aderência entre as camadas, podendo ser aplicada sobre a base ou um revestimento a ser restaurado, sua aplicação é dada pela dispersão de ligante asfáltico sobre a superfície (ABEDA, 2010).

Figura 7 – Execução de Pintura de Ligação.



Fonte: ABEDA, 2015.

### *Função de um tratamento superficial*

O tratamento superficial tem como funções proporcionar uma camada de rolamento de pequena espessura, porém, de alta resistência ao desgaste, servir de impermeabilizante para as camadas mais internas do pavimento, aumentar a aderência pneu-revestimento contribuindo assim para o aumento da segurança da via, ser um revestimento de grande flexibilidade para resistir as deformações oriundas do tráfego (BERNUCCI, 2008).

### *Aplicação de um tratamento superficial*

Há uma grande variedade de tratamentos superficiais, e diversos tipos de aplicações, sendo as principais:

- Servir de camada impermeabilizante
- Aumentar aderência entre o pneu-pavimento
- Evitar a dispersão de materiais pulverulentos sobre a via
- Rejuvenescimento de pavimentos com pequenos defeitos
- Revestimento de pavimentos de baixo e médio tráfego (ABEDA, 2010)

## 2.5 Ligantes empregados na construção de tratamentos superficiais

### 2.5.1 Emulsão asfáltica

A emulsão asfáltica é “um sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa, ou então de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica”, (DNIT, 2013, p. 2).

#### *Histórico das emulsões asfálticas*

A emulsão de asfalto catiônica foi criada em 1922 pelo químico inglês Hugh Alan Mackay, esse ligante revolucionou o mercado de revestimentos asfálticos da época (ABEDA, 2010).

No Brasil a utilização de emulsão asfáltica teve início em 1963, quando a Petrobras utilizando de tecnologia francesa, iniciou a exploração desse tipo de material, que logo em seguida sofreu por uma série de modificações, até estar totalmente adaptado a realidade brasileira de clima e natureza (PREGO, 2001).

#### *Classificação das emulsões asfálticas*

As emulsões asfálticas podem ser classificadas em duas categorias, sendo a primeira relacionada ao tipo de carga da partícula e a segunda relacionada ao tempo de ruptura (BRASQUÍMICA, 2019).

Há ainda uma terceira classificação que corresponde a quantidade de cimento asfáltico empregado na fabricação da emulsão, sendo representado pelos números “1” e “2”, onde o primeiro representa uma menor viscosidade e o segundo uma maior viscosidade em relação ao teor de asfalto (ABEDA, 2015).

Quanto ao tipo de carga:

Os agentes emulsificantes determinam a carga ou ausência de carga da emulsão. Quando há ionicidade nas partículas podemos classificá-la como aniônicas ou catiônicas, sendo a segunda representada pela letra “C”. No Brasil as emulsões catiônicas são as mais utilizadas devido a melhor adesividade com os mais variados tipos de agregados (ABEDA, 2015).

Quanto a velocidade de ruptura:

Ruptura Rápida (RR): Quando a ruptura ocorre imediatamente após o contato com o agregado, sendo designada com a letra R. São indicadas para trabalhar com agregados de baixa área superficial e em condições ideais de limpeza como a brita em um tratamento superficial. Sistema constituído pela dispersão de uma fase asfáltica em uma fase aquosa, ou então de uma fase aquosa dispersa em uma fase asfáltica (ABEDA, 2015).

Ruptura Média (RM): Quando o tempo de exposição é maior que o atuante na RR, sendo utilizada por exemplo em pré-misturados abertos (ABEDA, 2015).

Ruptura Lenta (RL): Apresenta um tempo de ruptura superior aos demais, sendo utilizada juntamente com agregados miúdos de grande área superficial, como areia e fíler. É aplicado na confecção de pré-misturados densos (ABEDA, 2015).

Alguns tipos de Emulsões (ABEDA, 2015):

RR – 1C, RR – 2C: Emulsões asfálticas catiônicas de ruptura rápida, sendo a primeira utilizada para pintura de ligação e a segunda para TS e macadame betuminoso.

RM - 1C, RM - 2C: Emulsões asfálticas catiônicas de ruptura média, sendo ambas utilizadas para pré-misturado a frio e areia asfalto a frio. RL – 1C: Emulsão asfáltica catiônica de ruptura lenta, utilizada em estabilização de solo e pré-misturado a frio.

LA – 1C: Emulsão asfáltica catiônica para lama asfáltica.

LAN: Emulsão asfáltica neutra para lama asfáltica.

EAI: Emulsão asfáltica para imprimação

#### *Utilização das emulsões asfálticas*

Vantagens do uso de emulsão asfáltica:

- a) Resultam em uma maior economia de energia, praticamente empregada sem necessidade de aquecimento.
- b) Apresentam excelente afinidade com todos os tipos de agregados eliminando o uso de aditivos melhoradores de adesividade (dope), normalmente empregados para melhorar a adesividade do cimento asfáltico de petróleo (CAP) em misturas a quente com agregados.
- c) Possibilitam

a utilização de agregados úmidos evitando a necessidade de combustíveis para sua secagem. d) Permitem estocagem a temperatura ambiente em instalações simples que não requerem fonte de aquecimento, combustíveis derivados de petróleo e isolamento térmico. e) Eliminam os riscos de incêndio e explosões, uma vez que não são utilizados solventes de petróleo em seu emprego. f) Evitam os riscos de acidentes por queimaduras. g) Não geram vapores tóxicos e poluentes mitigando impactos ao meio ambiente e à saúde ocupacional dos trabalhadores e da população lindeira às obras. h) Instalações industriais (usinas) possibilitam a produção de grandes volumes de misturas em equipamentos de baixo custo de aquisição e manutenção, bem como, fácil operação/distribuição, resultando em menores custos em relação às misturas a quente. i) A utilização de emulsões modificadas por polímeros tem possibilitado o uso de serviços asfálticos em vias de alto tráfego, melhorando as condições de segurança e de desempenho dos pavimentos frente às ações do tráfego e do clima (ABEDA,2010, p 52).

#### Desvantagens no uso de emulsão asfáltica:

De acordo com a bibliografia utilizada, são poucas as desvantagens de uso das emulsões, dentre elas podemos citar a sensibilidade à temperatura, devendo se enquadrar entre 3º e 75º C. Quando exposta ao ambiente forma uma camada protetora, que apesar de não oferecer risco a emulsão, pode causar problemas em bombas e mangueiras. Deve se ter cautela ao agitá-la pois a mesma pode entrar em ruptura (BERNUCCI, 2008).

## 2.6 Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

### Histórico do CAP

O emprego de asfaltos naturais remonta ao alvorecer da história. Há mais de 5 mil anos os povos da Mesopotâmia o utilizavam na formulação de tintas e vernizes, argamassas impermeabilizantes para construção e até mesmo como medicamento (ABEDA, 2010, p. 31).

### Definição

Segundo (DNIT, 2006, p. 2) o “Cimento asfáltico de petróleo é o asfalto obtido especialmente para apresentar as qualidades e consistências próprias para o uso direto na construção de pavimentos”.

O CAP é um ligante asfáltico betuminoso, de baixa reatividade química, impermeável a água e adesivo termoviscoplastico, sendo oriundo do processo de destilação do petróleo. Ele se apresenta em estado semi-sólido a temperatura ambiente, se liquefazendo em altas temperaturas (BERNUCCI, 2008).

O CAP é um agente aglutinante que ao interagir com o agregado funciona como uma espécie de cola, proporcionando uma forte ligação entre os grãos, essa característica o torna apto a resistir aos esforços ocasionados pelo tráfego. Esse ligante também tem importante função de impermeabilizar as camadas mais superficiais do pavimento impedindo que a água chegue e danifique as camadas mais internas (ABEDA, 2015).

#### CAP para tratamento superficial

O CAP também pode ser utilizado para confecção de tratamentos superficiais, entretanto é necessário mantê-lo aquecido durante o processo. Dessa forma esse ligante foi sendo substituído gradativamente por emulsão asfáltica, (BERNUCCI, 2008).

O cimento asfáltico para ser utilizado em TS necessita ter grande viscosidade sendo exigido um CAP 150/200 (DNIT – 147/12).

## 2.7 Agregados utilizados na confecção de tratamentos superficiais

### Definição

Agregado é todo material em partícula, incoesivo e quase inerte quimicamente, sendo conhecido na construção civil pelo nome específico como brita ou seixo (BAUER, 2000).

Segundo a NBR (2011), o agregado é um “material sem forma ou volume definido, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para produção de argamassas e de concreto”.

O agregado selecionado para obras de pavimentação, deverá se comportar de forma a suportar os esforços oriundos da utilização da via, desde as camadas mais superficiais até as mais internas, (BERNUCCI, 2008).

## Características dos agregados

Os agregados aptos a serem utilizados na confecção de tratamento superficial são pedra, cascalho ou seixo rolado, britados, devendo os mesmos obedecer às seguintes condições (DNIT, 2012):

- Apresentar desgaste à abrasão inferior a 40%;
- Índice de forma superior a 0,5;
- Perda inferior a 12% no ensaio de durabilidade;
- Se enquadrar granulometricamente em faixas estabelecidas por norma;
- Apresentar boa adesividade

### *Isenção de pó*

Os agregados com presença de materiais pulverulentos são um grande problema, pois alteram significativamente a interação entre o ligante e o agregado, diminuindo a adesividade e conseqüentemente a aderência. A única solução para a presença de pó no agregado é a lavagem de todo o material (LOIOLA, 2009).

### *Resistência ao choque e à abrasão*

Abrasão é o nome dado ao desgaste sofrido pelo agregado, quando o mesmo sofre atrito. Logo a resistência a abrasão é a capacidade que o agregado tem de resistir a esse desgaste (BAUER, 2000).

A abrasão “Los Angeles” é o desgaste que o agregado sofre, quando submetido a máquina de “Los Angeles” em conjunto com cargas abrasivas, sofrendo revoluções em intervalos de tempo controlados. Sendo o desgaste expresso pela porcentagem de material passante na peneira de malha 1.7mm (DNER, 1998).

A resistência a abrasão é medida através do ensaio de “Los Angeles”, onde esferas entrarão em choque e atrito com o agregado dentro de um cilindro. O material resultante desse processo é peneirado, e de acordo com a perda de massa se obtém quão resistente a abrasão é esse material (BAUER, 2000).

### *Forma e textura das partículas*

A geometria dos grãos dos agregados não é definida, podendo ser classificados em alongados, cúbicos, lamelares e discoides de acordo com as medidas de largura, espessura e comprimento. Outra característica dos agregados, é quanto a conformação da superfície, podendo ele ser anguloso, quando há presença de reentrâncias ou arredondado quando não ocorrem arestas. Eles podem ainda ser classificados como conchoidal quando apresentam faces côncavas ou defeituosos de quando convexos (BAUER, 2000).

A forma e a textura das partículas têm influência direta no comportamento do agregado, intervindo na resistência a abrasão e a compressão, trabalhabilidade e adesividade. Agregados com partículas irregulares ou angulares tendem a ter melhor desenvoltura, principalmente os mais cúbicos de arestas pontiagudos (BERNUCCI, 2008).

### *Granulometria adequada*

O estudo da granulometria do agregado, consiste em analisar a distribuição de tamanhos das partículas, de acordo com a massa de material retido em cada peneira, relacionando com a massa total da amostra (BAUER, 2000).

Escolher um material que se apresente dentro de uma distribuição granulométrica coerente à sua utilização, se faz essencial, pois a mesma determina a estabilidade do revestimento, por estar relacionada ao engate das partículas (BERNUCCI, 2008).

Como exemplo da granulometria dos tratamentos superficiais, apresenta-se na (Tabela 1), a granulometria dos agregados que devem ser utilizados na confecção de Tratamento Superficial Duplo.

Tabela 1- Faixas granulométricas para TSD

Peneiras		% passando, em peso			Tolerâncias da faixa de projeto
Malha	mm	1ª camada	2ª camada		
		A	B	C	
1"	25,4	100	-	-	± 7
¾"	19,0	90-100	-	-	± 7
½"	12,7	20-55	100	-	± 7
3/8"	9,5	0-15	85-100	100	± 7
Nº 4	4,8	0-5	10-30	85-100	± 5

Fonte: DNIT, 2012.

### *Adesividade entre agregado e ligante*

A adesividade é uma relação de aderência e cobertura entre o ligante betuminoso e o agregado, podendo ser verificada pelo não deslocamento da camada betuminosa que envolve o agregado, após a mistura ser submetida a um banho de 72 horas com água destilada em uma temperatura de 40º C (DNER, 1994).

Em caso de não afinidade entre ligante e agregado, deverá ser utilizado um melhorador de adesividade, como é o caso do dope que pode ser misturado ao ligante no canteiro de obras (LOILA, 2009).

### *Durabilidade*

A durabilidade do agregado é determinada pela capacidade do mesmo em resistir à desintegração, quando submetido a soluções de sulfeto de sódio ou magnésio. O ensaio de durabilidade busca simular o comportamento da água no agregado, em situações de congelamento e descongelamento, sendo extremamente necessário em locais com grande variação de temperatura (ARTERIS, 2011).

### *Brita*

A brita é o resultado do processo de fragmentação da rocha, fazendo com que ela se enquadre entre as peneiras de 2,4mm e 64mm, sendo comercializada em

5 categorias (Tabela 2) determinadas pela faixa granulométrica do material (BAUER, 2000).

Tabela 2 – Tamanho dos grãos das britas

NÚMERO	TAMANHO DOS GRÃOS	
	MÍNIMO	MÁXIMO
0	4.8	9.5
1	9.5	19
2	19	25
3	25	50
4	50	76
5	76	100

Fonte: Petrucci, 1982.

O processo de britagem tem influência direta na qualidade final do agregado, pois define o formato final e a graduação da partícula. É nessa atividade também que são descartadas as partes mais fracas das rochas. (BERNUCCI, 2008 *apud* MARQUES, 2001).

Segundo Bauer (2000), a brita é um agregado oriundo de rochas compactadas localizadas em jazidas, que passa por um processo de fragmentação controlada, dando origem a produtos finais que podem ser enquadrados em diversas categorias.

Figura 8 – Tipos de Brita.



Fonte: MORAES, 2018.

Como exemplo tem-se a gnaiss (brita) que é um tipo de rocha metamórfica, caracterizada pela mistura de cores claras (quartzo e feldspato) e escuras (biotita, anfibólio ou granada), servindo na maioria das vezes como um agregado de boa qualidade (BERTOLINO et al., 2012).

### A utilização de britas na pavimentação:

Na confecção de pavimentos em subleitos usa-se a bica corrida secundária e o pó de pedra. Para a base, emprego de pedra britada de graduação maior que 6mm (a ideal é 25 mm) originada de rocha sã e como material de enchimento a mistura de areia grossa e fina. Para o concreto betuminoso, uso de várias faixas granulométricas de brita, dependendo da camada (camada de rolamento – 1,7/9,5) e fíler para engorda de revestimentos betuminosos, evitando que o revestimento amoleça em dias de muito calor. (HAGEMANN, 2012, p. 40).

### 3. METODOLOGIA, MATERIAIS E ENSAIOS

A metodologia utilizada visa cumprir os objetivos apresentados nesse trabalho estão compostas pelos seguintes itens a seguir:

- Revisão bibliográfica sobre tratamentos superficiais;
- Coleta dos agregados;
- Realização dos ensaios de caracterização física dos agregados;
- Coleta da emulsão RR – 2C;
- Caracterização do ligante;
- Determinação das taxas de agregados e ligante;
- Confeção das mantas de tratamento superficial duplo em laboratório;
- Realização do ensaio de WTAT;
- Análise e apresentação dos resultados obtidos fazendo comparação com o de outros autores.

#### 3.1 Considerações Iniciais:

O trabalho foi idealizado com o objetivo de estudar a confecção de um tratamento superficial duplo, executado no Estado do Maranhão, utilizando materiais locais. Dessa forma todo o material que será apresentado, foi coletado no comércio local e os ensaios para sua caracterização foram realizados no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação do Centro de Ciências Tecnológicas (CCT) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Os métodos de dosagem e execução seguiram com o objetivo de verificar as características exigidas por norma para a confecção deste tipo de revestimento asfáltico.

Utilizou-se como referência além das normas rodoviárias vigentes, os trabalhos realizados por Loiola (2009), Pereira (2013) e Jesus (2013), que tiveram como base a confecção de mantas ou pizzas para determinação do desgaste através do ensaio de WTAT, onde foram executadas cerca de 18 pizzas sendo 9 delas utilizando apenas brita e emulsão e outras 9 com o acréscimo da capa selante.

### 3.2 Coleta de Materiais

Os materiais utilizados foram as britas 1, 0 e o pó de brita (Figura 9). Os agregados são oriundos do estoque da prefeitura da cidade e a emulsão (Figura 10) foi disponibilizada por uma empresa local que trabalha com pavimentação.

Figura 9 – Agregados



Fonte: Autor, 2019.

Figura 10 – Emulsão Asfáltica RR-2C



Fonte: Autor, 2019.

### 3.3 Ensaios de caracterização dos materiais coletados

#### 3.3.1 Ensaio de caracterização das britas

Foram realizados ensaios com o objetivo de analisar o enquadramento das britas nas normas complementares à norma 147/12, sendo elas a (DNER – ME 083)

de análise granulométrica, a (NBR 7809) de índice de forma, a (DNER – ME 078) de adesividade do ligante betuminoso, a (DNER-ME 035) de determinação de abrasão ‘Los Angeles’. Além desses ensaios tem-se ainda o de durabilidade (DNER-ME 089), que não foi possível de ser realizado devido à falta de solução de sulfato de sódio ou magnésio conforme exige a norma.

### *Análise granulométrica*

Nesse ensaio foi utilizada como referência a norma (DNER – ME 083) “Agregados, análise granulométrica” que através do peneiramento obtém-se a variação do tamanho dos grãos dos agregados. Através desse ensaio é possível ainda obter características de resistência, permeabilidade e durabilidade.

De acordo com o resultado obtido no peneiramento objetivou-se enquadrar os materiais nas faixas apresentadas na (tabela 3), referente a Tratamento Superficial Duplo.

Tabela 3 – Faixas granulométricas do Tratamento Superficial Duplo

Peneiras		% passando, em peso			Tolerâncias da faixa de projeto
Malha	mm	1ª camada	2ª camada		
		A	B	C	
1"	25,4	100	-	-	± 7
¾"	19,0	90-100	-	-	± 7
½"	12,7	20-55	100	-	± 7
3/8"	9,5	0-15	85-100	100	± 7
Nº 4	4,8	0-5	10-30	85-100	± 5
Nº 10	2,0	-	0-10	10-40	± 5
Nº 200	0,074	0-2	0-2	0-2	± 2

Fonte: DNIT, 2012.

Para iniciar esse ensaio, os agregados foram colocados para secar por 24 horas na estufa, em uma temperatura próxima a 110°C, a fim de remover toda água presente na superfície de cada pedra. Após esse procedimento as amostras são separadas e pesadas, devendo obedecer a quantidade mínima de material de acordo com a (Tabela 4). Logo em seguida é feito o peneiramento manual (Figura 11 a) utilizando as peneiras contempladas na norma (Figura 11 b). O resultado desse

ensaio, é obtido através da relação entre o material total e o retido ou passante em cada peneira, sendo assim é possível determinar a variação do tamanho dos grãos.

Tabela 4 - Quantidades mínimas de material para análise granulométrica

DIMENSÃO MÁXIMA CARACTERÍSTICA DO AGREGADO (mm)	MASSA MÍNIMA DE AMOSTRA DE ENSAIO (kg)
4.8	1
9.5	5
19	7
25	10
38	15
50	20

Fonte: DNIT,2012.

Figura 11 - Peneiras utilizadas no ensaio de granulometria (a), execução de peneiramento (b).



Fonte: O autor, 2019.

### Índice de Forma

Esse ensaio é utilizado para obtenção do formato das partículas da brita 1, que está diretamente relacionado com a qualidade do mesmo, sendo geralmente considerado o melhor agregado para pavimentação, aquele que se apresenta de forma mais cúbica (BERNUCCI, 2010).

O índice de forma é encontrado através da obtenção das médias das alturas (a), larguras (b) e espessuras (c), de 200 grãos de agregado que foram devidamente peneirados e selecionados (tabela 5). O método escolhido se baseia na

utilização do paquímetro como medidor, sendo fixado na norma ABNT NBR 7809/2005. A tabela 2 mostra as relações para classificação do material.

Tabela 5 – Classificação de forma dos agregados

MÉDIAS DAS RELAÇÕES B/A E C/B	CLASSIFICAÇÃO DA FORMA
$B/A > 0.5$ $C/B > 0.5$	CÚBICA
$B/A < 0.5$ $C/B > 0.6$	ALONGADA
$B/A > 0.5$ $C/B < 0.7$	LAMELAR
$B/A < 0.5$ $C/B < 0.8$	ALONGADA-LAMELAR

Fonte: Bernucci, 2010 apud NBR, 1989.

### *Adesividade*

Esse ensaio é realizado seguindo a norma do DNER-ME 078/1994, e tem como objetivo analisar a fixação e espalhamento do ligante betuminoso sobre a superfície da partícula da brita 1. Este ensaio consiste no espalhamento de 17,5 g de ligante asfáltico sobre uma amostra de 500 g de agregado previamente preparada, o resultado é obtido após três dias em que a mistura tenha sido colocada na estufa a uma temperatura de 40°C, sendo totalmente visual devendo cada partícula ser analisada a fim de encontrar falhas de desprendimento do ligante.

A adesividade deve ser definida como satisfatória (Figura 12), quando não for observado desprendimento de ligante sobre a superfície do agregado, e insatisfatória quando for percebida ausência de ligante

Segundo Pereira (2013), a quantidade de 17,5 g de emulsão fixada em norma é insuficiente para o cobrimento de toda a superfície do agregado. Assim recomenda que aumente um pouco a quantidade de ligante, sendo acrescido em torno de 10% para obtenção de uma análise mais conclusiva.

Figura 12 – Amostra de agregado submetida ao ensaio de adesividade



Fonte: O Autor, 2019

### *Abrasão Los Angeles*

O ensaio de abrasão tem como objetivo simular os esforços que desgastam a Brita 1 e a Brita 0, durante a execução e uso do revestimento, consiste em submeter uma amostra de 5 kg de cada agregado lavada e seca em conjunto com esferas de aço, a revoluções dentro de um cilindro padrão (figura 13), fazendo com que as partículas sofram impactos e dessa forma seja possível analisar sua resistência (BERNUCCI, 2010).

Figura 13 - Máquina de abrasão Los Angeles



Fonte: O autor, 2019.

A brita 1 utilizada foi enquadrada na graduação B e a brita 0 na graduação C (Tabela 6), de acordo com a norma DNER – ME 035/1998, as resistências foram

obtidas através da relação percentual entre a quantidade de material que foi colocada no cilindro, e a retida no processo de lavagem na peneira de 1,7mm do material resultante do ensaio (figura 14).

Tabela 6 - Tabela de graduação para ensaio de abrasão Los Angeles.

Peneiras Abertura em mm		Amostra - massa parcial em gramas						
Passando em	Retido em	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
63	50	—	—	—	—	2500 ± 50	—	—
50	38	—	—	—	—	5000 ± 50	5000 ± 50	—
38	25	1250 ± 25	—	—	—	—	5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25	—	—	—	—	—	5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	—	—	—	—	—
9,5	6,3	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
6,3	4,8	—	—	2500 ± 10	—	—	—	—
4,8	2,4	—	—	—	5000 ± 10	—	—	—
Massas totais em gramas		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
Nº de rotações do tambor		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fonte: DNER, 1998.

Figura 14 – Brita 1 resultante do ensaio de abrasão Los Angeles



Fonte: O autor, 2019

Para que o material seja considerado apto a ser utilizado para execução de Tratamento Superficial Duplo, é necessário que mais de 60% da amostra de 5 kg seja retida na peneira de 1.7mm.

### 3.3.2 Ensaio de caracterização do ligante

A emulsão RR-2C apresenta algumas características especificadas em norma do DNIT 165/2013 (Tabela 7), para analisar se a emulsão utilizada se enquadra nessas características foram realizados os seguintes ensaios:

Tabela 7 - Características das emulsões asfálticas

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	Ruptura Rápida	
		RR-1C	RR-2C
<b>Ensaio para a emulsão</b>			
Viscosidade Saybolt-Furol a 25°C, máx.	s	90	-
Viscosidade Saybolt-Furol a 50°C	s	-	100 a 400
Sedimentação, máx.	% m/m	5	5
Peneiração (0,84 mm), máx.	% m/m	0,1	0,1
Resistência à água (cobertura), mín. (2)	%	80	80
Adesividade em agregado miúdo, mín.	%	-	-
Carga da partícula	-	positiva	positiva
pH, máx.	-	-	-
<b>Destilação</b>			
Solvente destilado	% v/v	-	-
Resíduo seco, mín.	% m/m	62	67
<b>Desemulsibilidade</b>			
Min.	% m/m	50	50
Máx.		-	-
Mistura com filler silício	%	-	-
Mistura com cimento	%	-	-
<b>Ensaio para o resíduo da emulsão obtido pela NBR 14896:2012</b>			
Penetração a 25°C (100 g e 5s)	mm	4,0 a 15,0	4,0 a 15,0
Teor de betume, mín.	%	97	97
Ductilidade a 25°C, mín.	cm	40	40

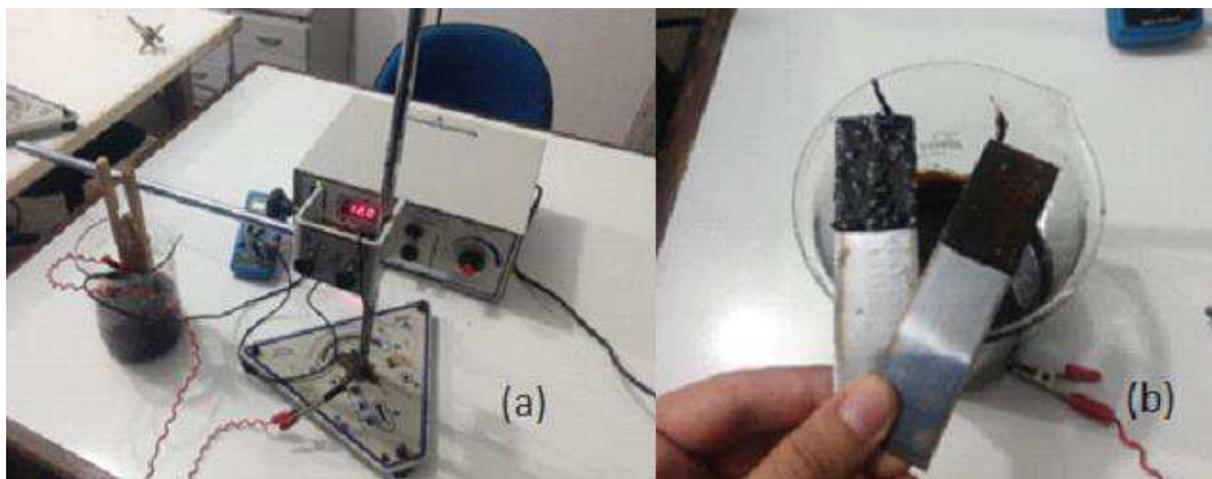
Fonte: DNIT, 2013.

#### *Carga de partícula*

Esse ensaio se baseia na norma 156/2011, e tem como objetivo obter a carga da partícula de emulsão. É realizado colocando-se duas placas de aço inoxidável em uma determinada quantidade de ligante, logo em seguida deve-se passar uma corrente contínua de no mínimo 8 miliampères nas placas, de forma que uma funcione como cátodo e a outra como ânodo (Figura 15a).

O resultado é obtido após cerca de 30 minutos ou quando se observar uma diminuição significativa da passagem de corrente, nesse momento as placas são retiradas do contato com o ligante e lavadas, de acordo com a fixação do asfalto (Figura 15b) é possível determinar a carga da partícula, a (Tabela 8) mostra a classificação da emulsão quanto à carga de partícula.

Figura 15 – Ensaio de carga de partícula (a), resultado do ensaio de carga de partícula (b).



Fonte: O autor, 2019.

Legenda: Imagem A: Ensaio; Imagem B resultado da carga de partícula.

Tabela 8 – Classificação quanto à carga de partícula

EMULSÃO	CATODO	ANODO
CATIÔNICA	DEPÓSITO	X
ANIÔNICA	X	DEPÓSITO
NÃO-IÔNICA	X	X
ANFOTÉRICA	PEQUENO DEPÓSITO	PEQUENO DEPÓSITO

Fonte: DNIT, 2002.

### *Resíduo por Evaporação*

O resíduo por evaporação tem como objetivo analisar a quantidade de CAP presente na emulsão, é realizado submetendo 50 g de ligante (Figura 16) a uma temperatura elevada até a evaporação total da água, no momento em que não se observar mais a presença de vapor acima do béquer ou formação de bolhas na emulsão, o mesmo deve ser retirado do fogo e pesado, o resultado é obtido subtraindo o peso inicial de emulsão pelo peso após a realização do ensaio. A norma DAER/RS-EL 210/01 fixa esse ensaio.

Figura 16 - Ensaio de resíduo por evaporação



Fonte: O autor, 2019.

### *Peneiração*

O ensaio de peneiração (figura 17) segundo a norma 14393/2012 consiste em peneirar uma amostra de 1000 g de emulsão, com o objetivo de definir a quantidade de material retido, que não deve ser superior a 0,1% da massa de emulsão.

O ensaio se inicia passando a emulsão pela peneira 0,84mm, previamente umedecida com água destilada, após esse procedimento o conjunto de peneira e fundo é levado para a estufa permanecendo lá por duas horas. O resultado é obtido com a variação do peso inicial do conjunto em relação ao peso após a retirada da estufa, dessa forma é possível detectar os indesejáveis empelotamentos de CAP na emulsão.

Figura 17 – Emulsão sendo vertida na peneira de nº 20 (a), material retido na peneira de nº 20 (b)



Fonte: O autor, 2019.

### *Viscosidade Saybolt Furol*

Não foi possível realizar o ensaio por problemas no equipamento.

### *Desemulsibilidade*

Não foi possível realizar esse ensaio por falta do reagente: Aerosol OT a 0,8% (Dioctil Sulfosuccinato de Sódio).

## 3.4 Método de dosagem

### 3.4.1. Método de dosagem do agregado

Segundo Pereira (2013), a dosagem de agregados para utilização em tratamentos superficiais pode ser realizada através de métodos diretos como é o caso da caixa dosadora e indiretos como o Hanson.

Para determinar a quantidade de agregado a ser utilizada, foi escolhido o método experimental da bandeja, que consiste no espalhamento manual do agregado, sobre uma bandeja plana de fundo vermelho com 50 x 50 cm, onde o agregado precisa ser colocado como uma forma de mosaico, sem que haja sobreposição nem falhas de preenchimento (Figura 18), A taxa de agregado é obtida dividindo-se o peso do agregado pela área da bandeja, sendo obtido primeiro a taxa para a primeira camada e logo em seguida a taxa para a segunda camada.

Figura 18 - Método da bandeja primeira camada



Fonte: O Autor, 2019.

Primeiramente é preciso realizar o ensaio para o agregado utilizado na primeira camada de tratamento superficial (brita 1), logo em seguida a segunda camada deve ser colocada sobre a primeira (Figura 19) com o objetivo de cobrir os espaços vazios.

Figura 19 - Método da bandeja segunda camada



Fonte: O autor, 2019.

Outro parâmetro necessário para utilização desse método, é a determinação da massa específica solta dos agregados, obtida colocando-se uma quantidade de agregado em uma caixa de dimensões conhecidas, a fim de se obter o volume de acordo com a altura que o mesmo ocupe na caixa, após esse processo é realizada a divisão do peso de agregado dentro da caixa pelo volume ocupado.

O cálculo da taxa de agregado é feito através da seguinte fórmula

$$Ta = \frac{Pa - Pb}{Ab} \quad (1)$$

Onde:

Ta: Taxa de agregado ( $\text{g}/\text{cm}^2$ )

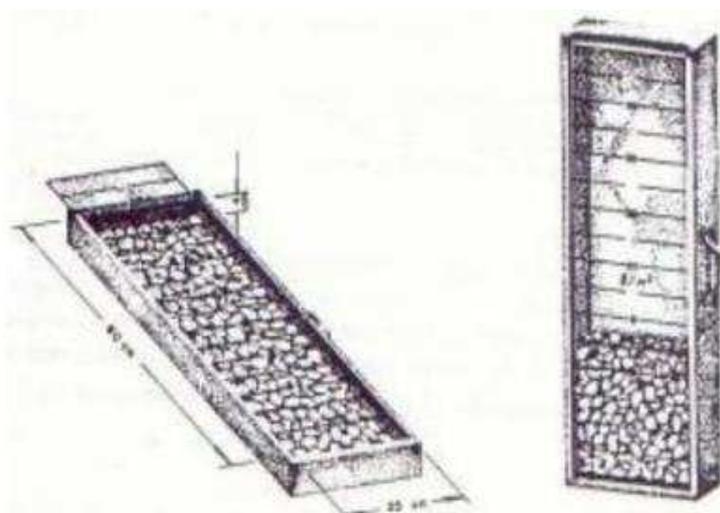
Pa: Peso do agregado (g)

Pb: Peso da bandeja (g)

Ab: Área da bandeja( $\text{cm}^2$ )

Existem outros métodos de dosagem que podem ser utilizados, como é o caso do método da caixa dosadora que segundo Pereira (2013 *apud* LARSEN, 1985) (figura 20) consiste na colocação do agregado, em uma caixa na posição horizontal com dimensões de 80x25x4cm, de forma a similar à disposição que os mesmos se encontrarão na pista. Após esse processo a caixa é posicionada na vertical, para a obtenção da taxa de agregado em  $\text{L}/\text{m}^2$ , de acordo com a marcação presente na tampa transparente da caixa.

Figura 20 - Caixa dosadora.



Fonte: Larsen, 1985.

#### 3.4.2. Método de dosagem do ligante

A quantidade de ligante asfáltico pode ser obtida de forma experimental ou teórica, e deverá levar em conta as características do agregado como por exemplo a porosidade e dimensão da partícula, e as características de uso como tráfego de veículos (LOIOLA, 2009).

A taxa de ligante é determinada tomando como base a quantidade de agregado, sendo utilizadas as seguintes fórmulas:

Para Tratamento Superficial Simples

$$T(RR1C) = \frac{(0,94 \times Tcap)}{0,62} \text{ ou } T(RR1C) = 0,126 \times Tg \quad (2)$$

$$T(RR2C) = \frac{(0,94 \times Tcap)}{0,62} \text{ ou } T(RR2C) = 0,117 \times Tg \quad (3)$$

Onde,

T(RR1C): Taxa de Emulsão

Tcap: Taxa de CAP

Tg: Taxa de agregado

Para Tratamento Superficial Duplo

$$T(RR1C) = \frac{(0,9 \times Tcap)}{0,67} \text{ ou } T(RR1C) = 0,121 \times Tg \quad (4)$$

$$T(RR2C) = \frac{(0,9 \times Tcap)}{0,67} \text{ ou } T(RR2C) = 0,112 \times Tg \quad (5)$$

Onde,

T(RR1C): Taxa de Emulsão

Tcap: Taxa de CAP

Tg: Taxa de agregado

### 3.4.3 Taxas de aplicação das especificações do DNIT

Para que sejam definidas as taxas de ligante e agregados, é necessária a elaboração de um projeto que leve em conta a individualidade de cada obra e as características dos materiais utilizados, entretanto o DNIT fixa na norma 147/2012 ES

alguns parâmetros para TSD, que devem ser considerados na elaboração dos projetos (Tabela 9).

Tabela 9 – Taxas de aplicação do DNIT

CAMADA	LIGANTE (l/m <sup>2</sup> )	AGREGADO (kg/m <sup>2</sup> )
1ª	1.2 a 1.8	20 a 25
2ª	0.8	10 a 12

Fonte: DNIT, 2012.

É importante salientar que segundo Pereira (2013), os valores especificados na norma do DNIT são bem maiores que os calculados através do método da bandeja que foi utilizado.

### 3.4.3.1 Dosagem da capa selante

Para dosagem da capa selante foi utilizada a tabela 10, que determina a utilização de 50 g de emulsão diluída e 153 g de pó de brita levando em consideração a área do anel (0,051m<sup>2</sup>).

Tabela 10 – Dosagem de agregado miúdo e ligante para capa selante

Taxas	Tratamentos superficiais recém construídos	Misturas asfálticas densas, desgastadas superficialmente e moderadamente trincadas	Misturas asfálticas a frio abertas ou semi-densas	Misturas asfálticas muito desgastadas superficialmente e moderadamente trincadas
Agregado miúdo (kg/m <sup>2</sup> )	2 a 4	2 a 3	3 a 5	4 a 6
RR – 2C, pura (l/m <sup>2</sup> )	0,5	-	0,8	-
RR – 2C, diluída em água para aplicação (l/m <sup>2</sup> )	1,0	-	1,0	-
RR com polímero (l/m <sup>2</sup> )	-	0,6 a 0,7	0,7	0,8 a 1,0

Fonte: DER-PR, 2005.

### 3.5 Ensaio de Desgaste (WTAT)

Para a realização deste ensaio não existe uma norma específica. Dessa forma são utilizados como referências trabalhos acadêmicos tais como o de Pereira (2013) e Loiola (2009).

Esse ensaio consiste na confecção de “pizzas” de tratamentos superficiais, funcionando como uma espécie de revestimento em miniatura, que serão submetidas a uma máquina de WTAT, a fim de simular o desgaste ocasionado pelo tráfego.

Foram utilizadas duas marcas distintas de manta para servir de base para o tratamento superficial, elas foram moldadas e cortadas no Laboratório de Mecânica dos Solos e Pavimentação (LSP) da UEMA.

#### Etapas de confecção do TSD:

- 1 – Primeiramente todo o agregado foi lavado, secado em estufa e separado de acordo com a dosagem calculada;
- 2 – Utilizou-se como suporte uma madeira tipo MDF, juntamente com a manta já cortada e o anel são colocados na balança que logo em seguida é tarada (Figura 21 a);
- 3 – A quantidade de emulsão calculada é aquecida até atingir 60° C, depois despejada e espalhada (Figura 21 b) dentro das limitações do anel;
- 4 – A primeira camada de agregado é colocada sobre o ligante (Figura 21 c);
- 5 – É realizada a compactação utilizando 4 passagens do rolo (Figura 21 d);
- 6 – O conjunto retorna para a balança para que seja colocada a segunda camada de ligante e agregado (Figura 21 e), e novamente é realizada a compactação;
- 7 – Nessa etapa é executada a capa selante se for o caso, primeiramente o ligante diluído é espalhado (Figura 21 f) sobre a segunda camada do TSD e logo em seguida o agregado miúdo é despejado (Figura 21 g). Após esse procedimento o rolo de compactação é passado duas vezes sobre a pizza;
- 8 – As “pizzas” são colocadas na estufa por 24 horas;
- 9 – Após uma hora à temperatura ambiente é realizada a pesagem de cada pizza (figura 21 h);
- 10 – As pizzas são submetidas ao ensaio de WTAT por 2,5 minutos (Figura 21 i);
- 11 – É realizada a lavagem e secagem em estufa das pizzas confeccionadas;
- 12 – As pizzas são novamente pesadas para obtenção do peso seco após o ensaio.

A seguir podemos visualizar as etapas de confecção do TSD na figura

Figura 21 – Etapas de confecção do TSD.



Fonte: O autor, 2019.

13 – O desgaste é calculado em porcentagem de acordo com a fórmula 6

$$D = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad (6)$$

Onde,

D: Desgaste em %;

P<sub>i</sub>: Peso inicial da pizza (g);

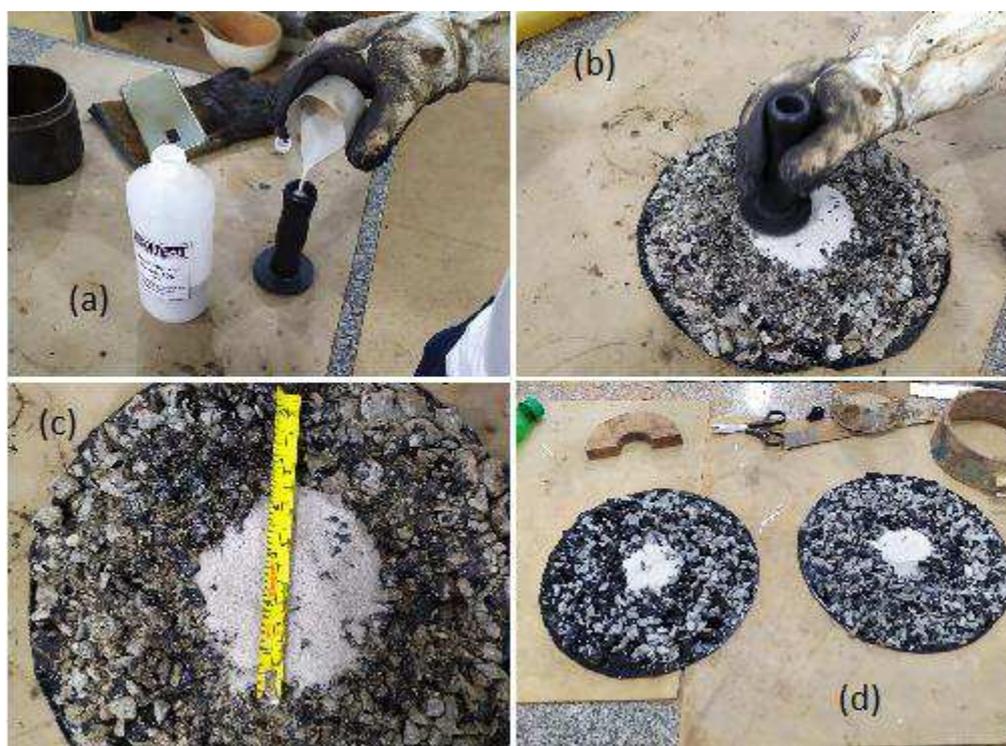
P<sub>f</sub>: Peso da pizza lavada e seca após o desgaste (g)

### 3.6 Ensaio de Mancha de Areia

Para a realização desse ensaio, fixado pela norma ASTM-E 965-96 (1998), utilizou-se 25 000mm<sup>3</sup> de uma areia uniforme, passante na peneira de nº 60 e retida na de nº 80 (Figura 22 a). A areia é espalhada em movimentos circulares, utilizando

um pistão, sobre a superfície das mantas de TSD (Figura 22 b), até que comecem a aparecer as pontas dos agregados e um círculo seja formado, nesse momento são realizadas 4 medições do diâmetro da circunferência formada pela areia (Figura 22 c), a média desses valores será utilizada para o cálculo da altura média de mancha de areia. O ensaio foi realizado sobre as mantas de melhor e pior resultado, no ensaio de desgaste WTAT para o traço convencional (Figura 22 d) e com capa selante.

Figura 22 - Areia e pistão (a), espalhamento da areia (b), medição do diâmetro da mancha de areia (c), mantas com a mancha de areia (d).



Fonte: O autor, 2019.

Utiliza-se a equação 7 para calcular a altura média da mancha de areia:

$$HM = \frac{4V}{D^2 \times (3,14)} \quad (7)$$

Sendo:

HM = altura média da mancha de areia (mm);

V = volume de areia (25 000 mm<sup>3</sup>);

D = diâmetro médio do círculo de areia (mm).

A macrotextura é classificada de acordo com a altura da mancha de areia, utilizando a tabela 11.

Tabela 11 - Classificação quanto a macrotextura do pavimento

ALTURA MÉDIA DA MANCHA DE AREIA (mm)	TEXTURA SUPERFICIAL
$HS < OU = 0.20$	MUITO FINA OU MUITO FECHADA
$0.20 < HS < OU = 0.40$	FINA OU FECHADA
$0.40 < HS < OU = 0.80$	MÉDIA
$0.80 < HS < OU = 1.2$	GROSSEIRA OU ABERTA
$HS > 1.2$	MUITO GROSSEIRA OU MUITO ABERTA

Fonte: ABPv (1999) apud Loiola (2009).

Segundo DNIT (2006), os valores da altura de mancha de areia devem se enquadrar entre os intervalos de 0,6 mm a 1,2 mm, para que o resultado obtido possa ser classificado como média, grosseria ou aberta.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 Ensaio de caracterização física dos agregados

#### 4.1.1 Análise granulométrica

Os agregados se enquadraram nas faixas contempladas na norma 147/2012, tendo a brita 1 (Tabela 12) e (Figura 23) se enquadrado na faixa A, e a brita 0 (Tabela 13) e (Figura 24) na faixa de tolerância da categoria B de Tratamento Superficial Duplo. O pó de brita (Tabela 14) e (Figura 25) utilizado para execução da capa selante tem granulometria especificada na norma do DER (2005) que fala sobre capa selante.

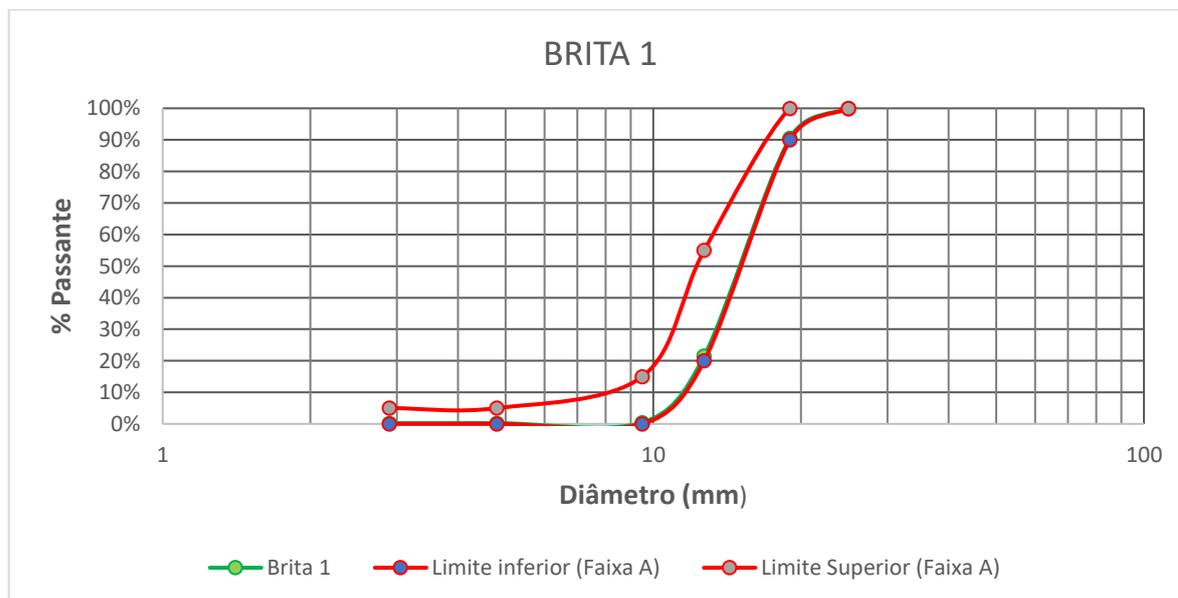
## Brita 1

Tabela 12 - Granulometria da brita 1 e limites da norma (faixa A).

GRANULOMETRIA DA BRITA 1			
PENEIRAS	% PASSANTE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
25	100.00%		
19	90.60%		
12.7	21.50%	100%	100%
9.5	0.40%	85%	100%
4.8	0.20%	10%	30%
2.9	0.20%	0%	10%
FUNDO	0.10%	0%	2%

Fonte: O autor, 2019.

Figura 23 - Curva granulométrica da brita 1 e limites de norma (faixa A).



Fonte: O autor, 2019.

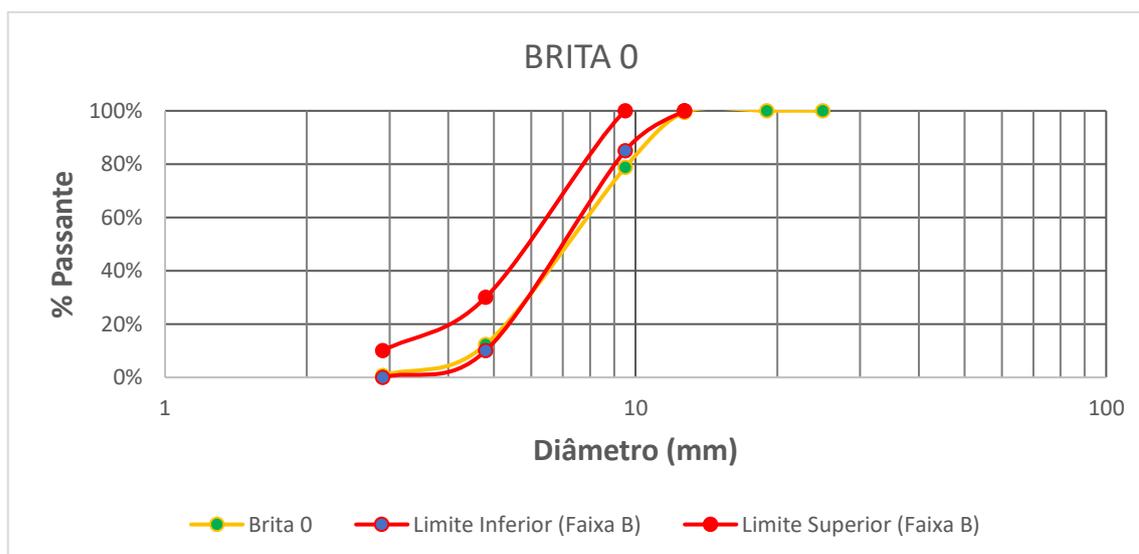
Brita 0

Tabela 13 - Granulometria da brita 0 e limites da norma (faixa B).

GRANULOMETRIA DA BRITA 0				
PENEIRAS	% PASSANTE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR	TOLERÂNCIA
25	100.00%			
19	100.00%			
12.7	99.45%	100%	100%	7%
9.5	78.76%	85%	100%	7%
4.8	12.33%	10%	30%	5%
2.9	0.73%	0%	10%	5%
FUNDO	0.08%	0%	2%	5%

Fonte: O autor, 2019.

Figura 24 - Curva granulométrica brita 0 e limites de norma (Faixa B)



Fonte: O autor, 2019.

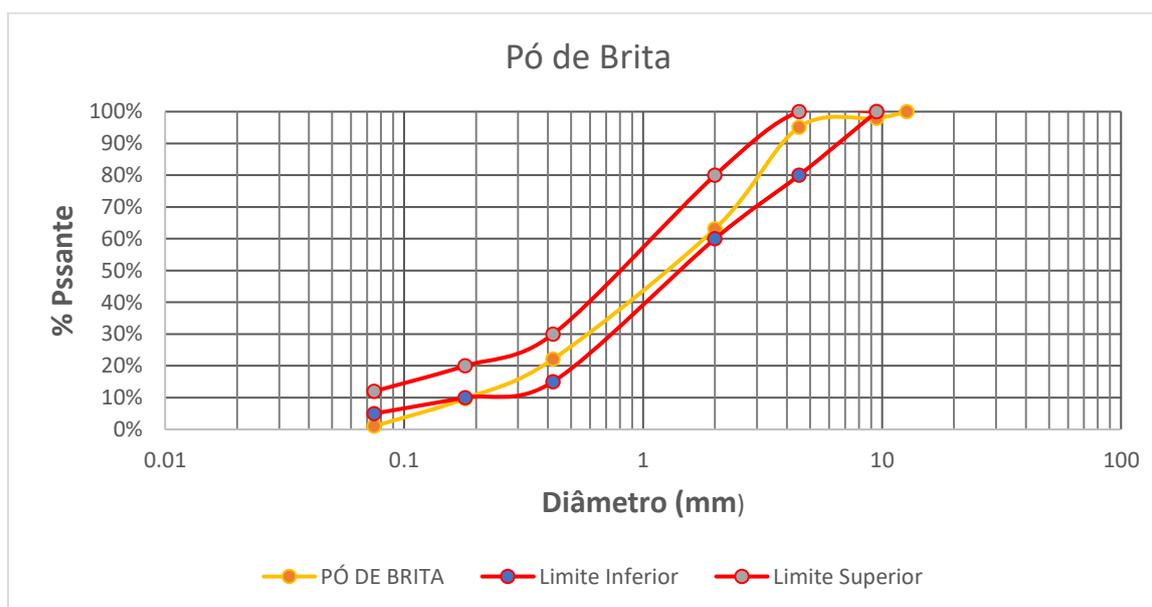
## Pó de Brita

Tabela 14 - Granulometria do pó de brita e limites de norma para capa selante.

GRANULOMETRIA DO PÓ DE BRITA + PEDRISCO			
PENEIRAS	% PASSANTE	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
25	100%	-	-
12.7	100.00%	-	-
9.5	97.89%	100%	100%
4.5	95.12%	80%	100%
2	63.14%	60%	80%
0.42	22.11%	15%	30%
0.18	9.71%	10%	20%
0.075	1.02%	5%	12%

Fonte: O autor, 2019.

Figura 25 - Curva granulométrica do pó de brita e limites de norma para capa selante.



Fonte: O autor, 2019.

## 4.1.2 Índice de forma

A norma DNER 309/97 estabelece 0,5 como valor mínimo para as relações de B/A e C/B obtidas através do ensaio de Índice de Forma. Dessa maneira é possível garantir que o agregado utilizado seja cúbico (tabela 15) como recomenda a norma de execução do TSD.

Tabela 15 - Resultado de Índice de Forma.

ÍNDICE DE FORMA			
AGREGADO	MÉDIA B/A	MÉDIA C/B	CLASSIFICAÇÃO
B1	0.75	0.65	CÚBICO

Fonte: O Autor, 2019.

#### 4.1.3 Abrasão Los Angeles

A norma do DNIT 147/2012, recomenda que o agregado sofra no máximo 40% de desgaste nesse ensaio, para que o mesmo esteja apto a ser utilizado na execução de TSD, de acordo com a (Tabela 16) é possível observar que os materiais obtiveram excelente resultado, ficando distante do limite estabelecido.

Tabela 16 - Resultado do ensaio de Abrasão Los Angeles para brita 0 e brita 1.

ENSAIO DE ABRASÃO LOS ANGELES						
MATERIAL	FAIXA DE GRADUAÇÃO	CARGA ABRASIVA	NÚMERO DE ESFERAS	MASSA INICIAL (g)	MASSA RETIDA NA PENEIRA 1,7mm	RESULTADO DE DESGASTE
B1	B	4584	11	5000	4446.16	11.08%
B0	C	3330	8	5000	4031.50	19.37%

Fonte: O autor, 2019.

#### 4.1.4 Adesividade

O ensaio de adesividade para brita 1 foi realizado primeiramente utilizando 17,5 g de ligante, quantidade contemplada na norma do DNER – ME 078/94, obtendo-se um resultado insatisfatório (figura 26). Em seguida, tomando como base o trabalho de (PEREIRA, 2013), onde o mesmo indica a necessidade de maior quantidade de ligante para recobrimento total do agregado, foi refeito o ensaio com acréscimo de cerca de 10 % de emulsão totalizando 20g, sendo dessa forma possível a obtenção de um resultado satisfatório (figura 27).

Figura 26 - Adesividade insatisfatória da Brita 1.



Fonte: O autor, 2019.

Figura 27 - Adesividade Satisfatória da brita 1 com acréscimo de ligante



Fonte: O autor, 2019.

## 4.2 Ensaio de Caracterização do ligante

### 4.2.1 Carga de partícula

Neste ensaio após a emulsão ter sido submetida a uma corrente de 9,42 Ampères durante 5 minutos, momento no qual a mesma apresentou redução significativa de corrente e o ensaio foi interrompido, foi obtido o resultado indicando que a emulsão é catiônica, tendo em vista que o material ficou depositado apenas no polo positivo como indica a (figura 28).

Figura 28 - Resultado do ensaio de carga da partícula.



Fonte: O autor, 2019.

#### 4.2.2 Peneiração

A emulsão apresentou um resultado de 0,06% inferior ao limite máximo de 0.1% estabelecido em norma. A massa de material retido na peneira de número 20 indica que a emulsão praticamente não apresenta empelotamento, estando apta para utilização.

#### 4.2.3 Carga de Partícula

Foi obtido um resultado de 67.7% de material não evaporado em relação a amostra inicial de emulsão, sendo superior ao limite mínimo de 67% estabelecido em norma.

#### 4.3 Dosagem dos materiais

##### 4.3.1 Dosagem do agregado

Através do método da bandeja foi possível determinar a quantidade de agregado (Tabela 17) para as duas camadas.

Tabela 17 - Taxa de agregados.

CAMADA	TAXA DE AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )	MASSA ESPECÍFICA SOLTA(kg/L)	TAXA DE AGREGADO (L/m <sup>2</sup> )	TAXA DE LIGANTE (L/m <sup>2</sup> )
1º	21	1.67	12.6	0.82
2º	10.1	1.73	5.8	1.23

Fonte: O autor, 2019.

Para capa selante foi utilizado 150 g de pó de brita de acordo com a norma do DER/PR 19/05.

#### 4.3.2 Dosagem do ligante

A taxa de ligante (Tabela 18) foi encontrada a partir da taxa de agregado em L/m<sup>2</sup>, onde foram somadas as taxas de agregados da primeira e segunda camada e logo em seguida, utilizando a equação 5 obteve-se a quantidade total de ligante, sendo direcionado 40 % dessa quantidade para a primeira camada e 60 % para a segunda camada.

Tabela 18 - Taxa de ligante

CAMADA	TAXA DE LIGANTE (l/m <sup>2</sup> )
1º	0.82
2º	1.23
CAPA SELANTE (ligante diluído em água na proporção de 1 para 1)	1

Fonte: O autor, 2019.

#### 4.4 Ensaio WTAT

Para realização desse ensaio foram confeccionadas 9 pizzas para o TSD convencional e 9 pizzas para o TSD com capa selante, sendo fixada a quantidade de ligante e agregado de acordo com a norma (DERT-ES-P 11/00) e apresentada nas Tabelas 17 e 18.

Os agregados foram lavados e separados em sacos plásticos um dia antes da confecção das mantas. A quantidade de ligante foi medida no momento da confecção para evitar a ruptura e o empelotamento da emulsão.

Para a realização do ensaio foi optado por não variar a taxa de ligante, dessa forma é possível aumentar o número de amostras de um mesmo traço, obtendo um resultado mais confiável.

Na (Tabela 19) pode-se observar o desgaste sofrido pelas pizzas de traço usual. Um fator relevante é o elevado resultado apresentado pela pizza 2 que elevou a média em quase 1%.

Tabela 19 - Resultado desgaste WTAT

ENSAIO DE DESGASTE WTAT					
PIZZA	TAXA DE LIGANTE L/m <sup>2</sup>		TAXA DE AGREGADO (Kg/m <sup>2</sup> )		DESGASTE
	1º CAMADA	2º CAMADA	1º CAMADA	2º CAMADA	
P1	0.82	1.23	21	9.6	10%
P2	0.82	1.23	21	9.6	18%
P3	0.82	1.23	21	9.6	12%
P4	0.82	1.23	21	9.6	11%
P5	0.82	1.23	21	9.6	8%
P6	0.82	1.23	21	9.6	10%
P7	0.82	1.23	21	9.6	6%
P8	0.82	1.23	21	9.6	7%
P9	0.82	1.23	21	9.6	13%
MÉDIA	10.50%				
DESVIO PADRÃO	3.50%				

Fonte: O autor, 2019.

Na (Tabela 20) é possível observar o desgaste sofrido pelas pizzas com adição de capa selante. Alguns resultados encontrados se afastam da média consideravelmente, sendo o pior resultado foi observado na pizza de número 1 e o melhor na de número 9.

Um fator determinante obtido através desse ensaio, é a falta de melhoria do desgaste com a aplicação de capa selante.

Tabela 20 - Resultado desgaste WTAT com capa selante.

ENSAIO DE DESGASTE WTAT					
PIZZA	TAXA DE LIGANTE L/m <sup>2</sup>		TAXA DE AGREGADO (KG/m <sup>2</sup> )		DESGASTE
	1º CAMADA	2º CAMADA	1º CAMADA	2º CAMADA	
P1	0.82	1.23	21	9.6	16%
P2	0.82	1.23	21	9.6	14%
P3	0.82	1.23	21	9.6	14%
P4	0.82	1.23	21	9.6	8%
P5	0.82	1.23	21	9.6	9%
P6	0.82	1.23	21	9.6	8%
P7	0.82	1.23	21	9.6	8%
P8	0.82	1.23	21	9.6	12%
P9	0.82	1.23	21	9.6	4%
MÉDIA	10.40%				
DESVIO PADRÃO	3.80%				

Fonte: O autor, 2019.

Em ambos os casos houve elevado desprendimento do agregado da segunda camada, fator que influenciou consideravelmente para o aumento do desgaste.

Na figura 29, é possível visualizar as mantas antes e depois de serem submetidas ao ensaio de desgaste.

Figura 29 - Mantas antes e depois de serem submetidas ao ensaio de desgaste.



Fonte: O autor, 2019.

Legenda: Manta antes do desgaste (a); mantas depois dos desgastes(b); manta com capa selante antes do desgaste(c); mantas com capa selante depois dos desgastes(d).

#### 4.5 Ensaio Mancha de Areia

De acordo com os resultados obtidos através do ensaio (tabela 21), é possível classificar as pizzas após o desgaste WTAT como muito grosseiras tendo como referência a tabela 11. Foi possível observar ainda uma pequena diminuição da altura da mancha de areia nas pizzas com capa selante.

Tabela 21 - Alturas médias do ensaio de mancha de areia

ENSAIO DE MANCHA DE AREIA		
PIZZAS	DIÂMETRO MÉDIO (mm)	ALTURA DA MANCHA DE AREIA (HM)
2	73.25	5.94
7	72.75	6.02
1 com Capa Selante	89	4.02
9 com Capa Selante	107.75	2.74

Fonte: O autor, 2019.

#### 4.6 Comentários dos Resultados Obtidos

Em relação ao índice de forma, o resultado de 0,75 na relação  $b/a$  e 0,65 na  $c/b$  mostram a cubicidade da brita 1, importante característica que permite um melhor intertravamento entre as partículas do agregado e conseqüentemente uma melhor resposta aos esforços ocasionados pelo tráfego.

De acordo com o ensaio de abrasão Los Angeles, a perda de 11% de material apresentada pela brita 1 e 18% apresentada pela brita 0, permite concluir que as mesmas demonstram excelente resistência, servindo dessa forma para o uso em tratamento superficial.

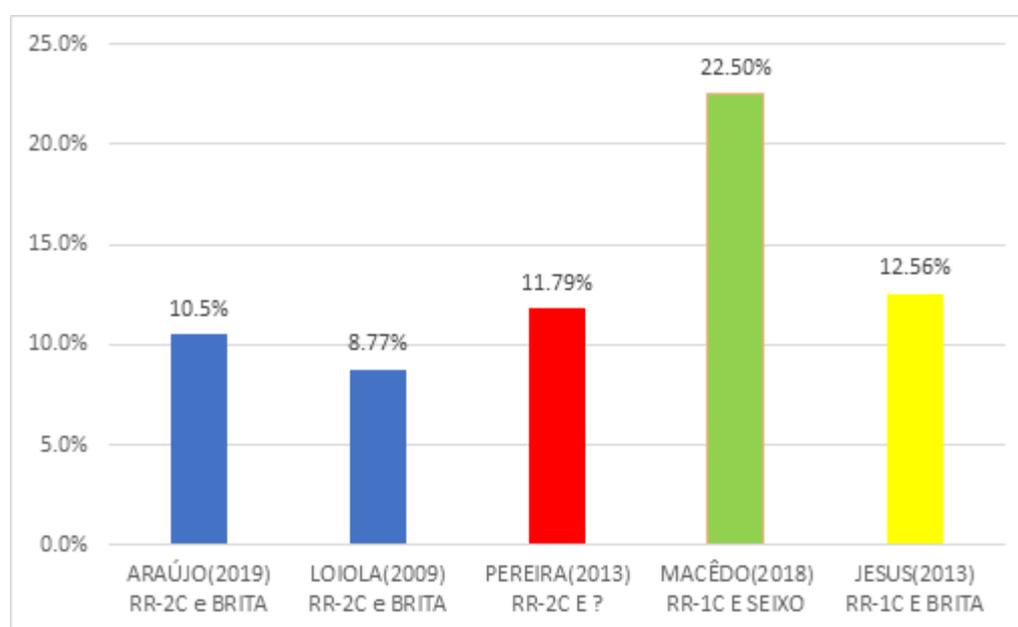
O resultado do ensaio de WTAT com traço usual se comparado ao apresentado no trabalho de Macêdo (2018), mostra um melhor desempenho do tratamento superficial proposto nesse trabalho, utilizando britas, em relação ao confeccionado por ele, que utilizou seixo rolado. Um dos fatores que possivelmente possa ter influenciado, foi a utilização do seixo rolado que apresenta menor resistência a abrasão se comparado a brita. Outro indicador é a escolha pela emulsão RR – 1C,

utilizada por Macêdo (2018), que apresenta menor teor de CAP do que a RR – 2C utilizada nesse trabalho e recomendada na norma do DNIT - 147/2012.

É possível ainda fazer comparação com o trabalho de Loiola (2009), que apresentou resultado similar no que se refere ao ensaio de WTAT, tendo obtido desgaste médio de 8,77%, utilizando a emulsão RR – 2C e britas como agregados.

Outro trabalho que pode ser comparado é de Pereira (2013), que apresentou desgaste de 11,79 % para o traço convencional utilizando britas e emulsão RR – 2C, obtendo assim um desgaste superior ao encontrado nesse trabalho.

Figura 30 - Comparação de resultados de desgaste WTAT sem capa selante



Fonte: O autor, 2019.

Em relação a macrotextura, os resultados obtidos no ensaio de mancha de areia, mostraram que o TSD executado em laboratório se encontra fora do intervalo determinado pelo DNIT (2006). Dessa forma é necessário encontrar uma solução para a grande quantidade de vazios que o mesmo apresenta, tendo em vista que o ensaio de areia busca determinar a capacidade do revestimento em drenar a água entre o pneu e o pavimento, determinando a distância média entre as partículas de agregado presentes na parte mais superficial do revestimento, (SILVA, 2007).

## 5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 5.1 Principais Conclusões

De acordo com os resultados obtidos nesse trabalho, através da realização de ensaios fixados em normas, é possível afirmar que a brita 1, brita 0 e emulsão RR-2C, disponíveis no mercado maranhense, estão aptas para serem utilizadas na execução de Tratamento Superficial Duplo, principalmente em rodovias de baixa tráfego como é o caso de grande parte das estradas vicinais que cortam o Estado do Maranhão.

Em relação a utilização da capa selante, não se observou vantagem significativa ao empregar essa técnica, um dos fatores que pode ter influenciado o resultado negativo, foi a utilização do pó de brita em detrimento da areia como agregado miúdo, tendo em vista que a areia é mais fina e preenche melhor os vazios, selando melhor o revestimento contra a passagem da água.

O desvio padrão apresentado pelas amostras, indica uma discrepância entre os valores de desgaste encontrados. Isso provavelmente se deve ao processo de moldagem das mantas, no qual é difícil manter um padrão tendo em vista a quantidade de procedimentos necessários e a forma totalmente manual de confeccioná-las. É importante salientar que a execução dos Tratamentos Superficiais, são realizadas com um maquinário especializado proporcionando um padrão e uma melhor qualidade na execução.

Após a confecção das pizzas foi possível observar um desprendimento excessivo do agregado presente na segunda camada, após a retirada da estufa e antes da realização do ensaio de WTAT, fato que deve ser considerado visando o aprimoramento dos métodos de dosagem, tendo em vista que ainda não existe uma norma que especifique esse ensaio para utilização em Tratamento Superficial Duplo, e que o mesmo é utilizado devido a uma adaptação realizada por Loiola (2009).

## 5.2 Sugestões

- 1 – Aprimorar os métodos de dosagem dos agregados e ligante;
- 2 – Melhorar a confecção das pizzas de Tratamento Superficial Duplo, tentando torná-las mais homogêneas com a melhor distribuição dos agregados e ligante;
- 3 – Analisar a aderência pneu-revestimento na utilização do tratamento superficial, já que o mesmo pode ser utilizado em casos onde há necessidade de corrigir a falta de aderência;
- 4 – Buscar por outras formas de avaliação das pizzas além do desgaste WTAT;
- 5 – Testar outros agregados miúdos na confecção da capa selante;
- 6 – Buscar por outros métodos de melhoramento do TSD, como é o caso do banho diluído.

## REFERÊNCIAS

ARTERIS. **Sanidade dos Agregados Pelo Uso do Sulfato de Sódio ou Magnésio.**

Disponível em: <<http://www.arteris.com.br/wp-content/uploads/2018/07/ME-Sanidade-dos-agregados-pelo-uso-do-sulfato-de-s%C3%B3dio-ou-magn%C3%A9sio.pdf>>. Acesso em: 22 jun. 2019.

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Utilização de ligantes em serviços de pavimentação.** 1º. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2015.

ABEDA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Utilização de ligantes em serviços de pavimentação.** 1º. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2015.

\_\_\_\_\_. - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Manual Básico de Emulsões Asfálticas.** 2. ed. Rio de Janeiro: ABEDA, 2010.

\_\_\_\_\_. - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTOS. **Dosagem de Tratamentos Superficiais e Microrrevestimentos.** Rio de Janeiro. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM. **ASTM E 965 – 96:** Standard Test Method for Measuring Pavement Macrottexture Depth Using a Volumetric Technique, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14746/14:** Microrrevestimento a frio e lama asfáltica – determinação de perda por abrasão úmida (WTAT). Rio de Janeiro, 2014.

\_\_\_\_\_. **NBR 14393/12.:** Emulsões asfálticas — Determinação da peneiração. Rio de Janeiro, 2012.

\_\_\_\_\_. **NBR 7809:2005:** Agregado graúdo - Determinação do índice de forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. **NBR 9935/2011:** Agregados - Terminologia. Rio de Janeiro, 2011.

\_\_\_\_\_. **NBR 14491/00:** Emulsões Asfálticas - Determinação da Viscosidade Saybolt-Furol. Rio de Janeiro, 2000.

BRASQUIMICA. **EMULSÕES ASFÁLTICAS PARA PAVIMENTAÇÃO.** Disponível em:<[https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg\\_pub\\_det.cfm/emulsoes-asfalticas-para-pavimentacao](https://www.brasquimica.com.br/informacoes-tecnicas/prg_pub_det.cfm/emulsoes-asfalticas-para-pavimentacao)>. Acesso em: 22 jun. 2019.

BAUER, L. A. Falcão. **MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO 1.** 5º. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. p. 1-471.

BERTOLINO, L. C.; PALERMO, N.; BERTOLINO, A. V. F. A. Geologia. In: **Manual de agregados para a construção civil**. 2.ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2012. Cap. 4. p.69-79

BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. 3ª. ed. Rio de Janeiro: Petrobrás - ABEDA, 2008.

BUZATTI, D.J. **Dosagem de tratamentos superficiais: pavimentação rodoviária**. Instituto de Engenharia Aplicada (IEA). Belo Horizonte – Minas Gerais, 1994.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM – DER-SP. **ET-DE-P00/021**: Tratamentos Superficiais. São Paulo, 2001.

DEPARTAMENTO DE EDIFICAÇÕES, RODOVIAS E TRANSPORTES – DERT-CE. **DERT-ES-P 11/00**: Tratamento Superficial Duplo. Especificações gerais para serviços e obras rodoviárias. Fortaleza, 2000.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ - DERPR. **DER/PR ES-P 19/05**: Pavimentação: Capa Selante. Curitiba, 2005.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Manual de Restauração de Pavimentos Asfálticos**. Rio de Janeiro: Publicação IPR - 720, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT - 147/2012 ES**: Pavimentação Asfáltica - Tratamento Superficial Duplo - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT - 095/2006 EM**: Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT - 156/11- ME**: Emulsão asfáltica – Determinação da carga da partícula - Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **DNIT – 165/13- EM**: Emulsões asfálticas para pavimentação – Especificação de material. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **DNER-ME 035/98**: Agregados: Determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ - DNER. **DNER-ME 083/98**: Agregados - Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

\_\_\_\_\_ - DNER. **DNER-ME 089/94**: Agregados - Avaliação da Durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Rio de Janeiro, 1994.

\_\_\_\_\_ - DNER. **DNER-ME 078/94**: Agregado Graúdo - Adesividade a ligante betuminoso. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM - DAER/RS.  
**DAER/RS-EL 210/01**: Determinação do resíduo por evaporação para emulsões asfálticas. Porto Alegre, 2001.

HAGEMANN, Sabrina Elicker. **Materiais de Construção Básicos**. Rio Grande do Sul: Universidade Aberta do Brasil, 2011.

JESUS, A. P. D. **Experiências Laboratoriais com Utilização de Tratamento Superficial Duplo no estado do Maranhão**. 2013. 46f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual do Maranhão. São Luís. 2013.

LOIOLA, P. R. R. **Estudo de agregados e ligantes alternativos para emprego em Tratamentos Superficiais de rodovias**. 2009. 206f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2009.

MACÊDO, L. F. C. **Avaliação dos tratamentos superficiais simples e duplo de rodovias utilizando seixo rolado como agregado graúdo**. 2018. 67f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Unidade de Ensino Superior Dom Bosco. São Luís, 2018.

PEREIRA, S. L. O. **Avaliação de Tratamentos Superficiais de Rodovias através de Análise de Laboratório**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2010.

PEREIRA, S. L. O. **Avaliação De Tratamento Superficial Simples, Duplo E Triplo De Rodovias Através Do Emprego De Diferentes Agregados Da Região Metropolitana De Fortaleza**. 2013. 211f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2013.

PREGO, A. S. S. **A Memória da Pavimentação no Brasil**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação - ABPv, 2001.

ROCHA, F. L. L. **Utilização de Agregado Siderúrgico (Escória de Aciaria) em Revestimento Asfáltico Tipo Tratamento Superficial**. 2011. 115f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2011.

SENÇO, W. **Manual de Técnicas de Pavimentação**. Volume II – 1ª edição – São Paulo, Pini, 2001.

SENÇO, WLASTERMILLER DE; **Manual de técnicas de pavimentação** : volume 1 . 2º. ed. São Paulo: Pini, 2007. p. 3-758.

SILVA, J. P. S. (2007) **Aderência pneu-pavimento aeroportuário: conceitos e generalidades. In: Congresso de Infra-Estrutura de Transportes, 1., 2007, São Paulo. CONINFRA, ref. 01-53A.**

TEIXEIRA, Luiz Henrique. **Tratamento superficial**. 2012. Disponível em: <<http://sinicesp.org.br/materias/2012/bt12a.htm>> acesso: 12 jun. 2019.