

PROGRAMA DE
pesquisa
2016

**Área de Concentração: Desenvolvimento Urbano e
Infraestrutura**

Tema: Transportes e Mobilidade Urbana.

Título:

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE
QUALIDADE DAS OBRAS DE INFRAESTRUTURA
DE TRANSPORTES**

Integrantes do Grupo de Pesquisa

Pesquisador-Coordenador: Francisco Lopes de Magalhães Junior - TCE/RJ

Pesquisador: Sandra Oda - UFRJ

Pesquisador-Avaliador: Jean Marcel de Faria Novo - TCE-RJ

SUMÁRIO

SUMÁRIO	1
LISTA DE FIGURAS	5
LISTA DE TABELAS	7
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	8
RESUMO DO PROJETO	11
1. INTRODUÇÃO	12
1.1. Justificativa	13
1.2. Objetivo Geral.....	14
1.3. Objetivos Específicos	14
2. CONTRATOS FISCALIZADOS PELO TCE-RJ	15
3. PROBLEMAS E DEFEITOS NOS PAVIMENTOS	18
3.1. Erros de Projeto.....	18
3.2. Seleção de Materiais Inadequada ou Dosagem de Materiais Inadequada	19
3.3. Erros Construtivos	19
3.4. Seleção Inadequada de Alternativa de Manutenção e Reabilitação.....	20
3.5. Para Corrigir Erros e Defeitos	20
4. CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO	21
4.1. Características Técnicas - Qualidade das Obras	21
4.2. Controle Tecnológico.....	22
4.2.1. Imprimação (DNIT 144/2014-ES).....	23
4.2.1.1. Material asfáltico	23
4.2.1.2. Execução.....	23
4.2.2. Pintura de ligação (DNIT 145/2012-ES).....	24
4.2.2.1. Material asfáltico	24
4.2.2.2. Execução.....	24
4.2.3. Regularização do Subleito (DNIT 137/2010-ES)	24
4.2.3.1. Materiais.....	24
4.2.3.2. Execução.....	25
4.2.4. Reforço do Subleito (DNIT 138/2010-ES).....	25
4.2.4.1. Materiais	25
4.2.4.2. Execução.....	25
4.2.5. Base e Sub-base	26
4.2.5.1. Materiais.....	26
4.2.5.2. Execução.....	26
4.2.6. Concreto Asfáltico (CA)	28
4.2.6.1. Materiais asfálticos	28
4.2.6.2. Materiais Pétreos	29
4.2.6.3. Execução.....	29
4.2.7. Tratamento Superficial (TS).....	31
4.2.7.1. Material asfáltico	31
4.2.7.2. Agregados.....	31
4.2.7.3. Equipamento.....	31

4.2.7.4. Execução.....	31
4.2.8. Microrrevestimento asfáltico a frio	32
4.2.8.1. Materiais asfálticos	32
4.2.8.2. Agregados.....	32
4.2.8.3. Execução.....	33
4.2.9. Microrrevestimento asfáltico a quente (ET-DE-P00/023 - 2006).....	34
4.2.9.1. Materiais asfálticos	34
4.2.9.2. Agregados.....	34
5. PAVIMENTOS	36
5.1. Camadas dos Pavimentos	38
5.1.1. Regularização do Subleito	39
5.1.2. Reforço do Subleito.....	39
5.1.3. Base e Sub-Base.....	40
5.1.3.1. Brita Graduada Simples - BGS	43
5.1.3.2. Solo-Brita.....	44
5.1.3.3. Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC.....	44
5.1.3.4. Solo-Cimento.....	45
5.1.3.5. Solo Melhorado com Cimento.....	46
5.1.3.6. Solo-Cal.....	46
5.1.3.7. Solo-Asfalto.....	47
5.1.4. Revestimentos	47
5.1.4.1. Concreto Asfáltico (CA).....	49
5.1.4.2. Stone Matrix Asphalt (SMA)	50
5.1.4.3. Gap-Graded (GG).....	51
5.1.4.4. Camada Porosa de Atrito (CPA).....	51
5.1.4.5. Tratamentos Superficiais	52
5.1.4.6. Pré-Misturado a Frio (PMF).....	53
5.1.4.7. Microrrevestimento	53
5.1.5. Imprimação.....	54
5.1.6. Pintura de Ligação	55
5.2. Projeto de Pavimentos	55
5.2.1. Solicitações nas Camadas.....	55
5.2.2. Parâmetros para o Projeto	56
5.2.2.1. Solicitações.....	56
5.2.2.2. Pressão e área de contato.....	56
5.2.3. Projeto de Pavimentos.....	57
5.2.3.1. Classificação de Solos Segundo a HRB.....	57
5.2.3.2. Ensaio CBR - California Bearing Rating.....	58
5.2.3.3. Método de Projeto de Pavimento Flexível do DNER.....	60
5.2.3.4. Capacidade de Suporte	60
5.2.3.5. Classificação dos Materiais Granulares	61
5.2.3.6. Tráfego	62
5.2.3.7. Espessura Mínima de Revestimento.....	65
5.2.3.8. Dimensionamento do Pavimento.....	65
5.3. Dosagem de Misturas Asfálticas	67
5.3.1. Seleção da Granulometria.....	70

5.3.1.1. Método das Tentativas	70
5.3.1.2. Método Ruthfucs	70
5.3.1.3. Método Bailey	71
5.3.2. Seleção do Teor de Asfalto	72
5.3.2.1. Método Marshall	72
5.3.2.2. Método Superpave	74
6. EXECUÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO	78
6.1. EXECUÇÃO da Imprimação com Ligante Asfáltico	79
6.1.1. Condições Gerais	79
6.1.2. Condições Específicas	79
6.1.2.1. Material	79
6.1.2.2. Equipamentos	79
6.1.2.3. Execução	80
6.1.3. Controle Tecnológico de Materiais	80
6.1.3.1. Asfalto diluído	81
6.1.3.2. Emulsão asfáltica do tipo EAI	81
6.1.4. Controle Tecnológico da Execução	81
6.1.4.1. Temperatura	81
6.1.4.2. Taxa de Aplicação (T)	81
6.2. EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO	82
6.2.1. Condições Gerais	82
6.2.2. Condições Específicas	82
6.2.2.1. Material	82
6.2.2.2. Equipamentos	83
6.2.2.3. Execução	83
6.3. Execução da Regularização do Subleito	84
6.3.1. Condições Gerais	84
6.3.2. Condições Específicas	84
6.3.2.1. Materiais	84
6.3.2.2. Equipamentos	85
6.3.2.3. Execução	85
6.3.3. Controle Tecnológico de Materiais	85
6.3.4. Controle Tecnológico da Execução	86
6.4. Execução da Camada de Reforço do Subleito	86
6.4.1. Condições Gerais	86
6.4.2. Condições Específicas	87
6.4.2.1. Materiais	87
6.4.2.2. Equipamentos	87
6.4.2.3. Execução	87
6.4.3. Controle de Tecnológico de Materiais	87
6.4.4. Controle Tecnológico da Execução	88
6.5. Execução das Camadas de Base e Sub-Base	89
6.5.1. Base e Sub-base de Brita Graduada Simples	90
6.5.1.1. Condições Gerais	90
6.5.1.2. Condições Específicas	90

6.5.1.3. Execução.....	91
6.5.1.4. Controle dos Materiais	94
6.5.1.5. Controle da Execução	94
6.5.1.6. Verificação do Produto	95
6.5.2. Base de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC.....	95
6.5.2.1. Condições Gerais.....	96
6.5.2.2. Condições Específicas	96
6.5.2.3. Execução.....	98
6.5.2.4. Controle	101
6.5.2.5. Aceitação.....	104
6.5.3. Outros Tipos de Base e Sub-base.....	106
6.6. Execução da Camada de Revestimento	106
6.6.1. Concreto Asfáltico	106
6.6.1.1. Condições Gerais.....	106
6.6.1.2. Condições Específicas	106
6.6.1.3. Execução.....	110
6.6.1.4. Controle dos Materiais	111
6.6.1.5. Controle da Usinagem do Concreto Asfáltico	112
6.6.1.6. Espalhamento e Compactação na Pista.....	113
6.6.1.7. Verificação do Produto	113
6.6.2. Tratamentos Superficiais.....	114
6.6.2.1. Condições Gerais.....	115
6.6.2.2. Condições Específicas	115
6.6.2.3. Controle Tecnológico.....	118
6.6.3. Microrrevestimento Asfáltico a Frio com Emulsão Modificada por Polímero.....	119
6.6.3.1. Condições Gerais.....	119
6.6.3.2. Condições Específicas	120
6.6.3.3. Controle Tecnológico dos Materiais	123
6.6.3.4. Controle Tecnológico da Execução.....	123
6.6.4. Outros Tipos de Misturas Asfálticas	124
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
REFERÊNCIAS	131
NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	134
APÊNDICE I – FISCALIZAÇÕES TCE-RJ.....	142
APÊNDICE II – MANUAL DE BOAS PRÁTICAS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA.....	149

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Porcentagem quantitativa dos tipos de obras fiscalizadas.	15
Figura 2 - Grupos de obras fiscalizadas.	16
Figura 3 - Percentual quantitativo de obras de infraestrutura fiscalizadas pelo TCE-RJ.	17
Figura 4 - Percentual monetário de obras de infraestrutura fiscalizadas pelo TCE-RJ.	17
Figura 5 - Distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível.	37
Figura 6 - Pavimento flexível constituído por revestimento, base, sub-base e reforço do subleito.	38
Figura 7 - Pavimento rígido constituído por placa de concreto de cimento e sub-base.	38
Figura 8 - Execução da regularização do subleito.	39
Figura 9 - Execução de reforço do subleito.	39
Figura 10 - Exemplos de pedregulhos e seixos rolados.	40
Figura 11 - Exemplos de laterita.	40
Figura 12 - Compactação de BGS.	41
Figura 13 - Camada de BGS.	41
Figura 14 - Camada de macadame betuminoso.	41
Figura 15 - Camada com bica corrida.	41
Figura 16 - Execução de solo-brita.	42
Figura 17 - Camada de solo arenoso fino lateríticos.	42
Figura 18 - Execução de solo cimento.	42
Figura 19 - Execução de solo cal.	42
Figura 20 - Tipos de bases e sub-bases empregadas nos pavimentos.	43
Figura 21 - Execução de camada de base de BGS.	43
Figura 22 - Brita graduada simples - BGS.	43
Figura 23 - Execução da camada de solo-brita.	44
Figura 24 - Lançamento da camada de base de BGTC.	45
Figura 25 - Compactação da camada de base de BGTC.	45
Figura 26 - Execução da camada de solo-cimento na Pista Experimental do Mackenzie.	46
Figura 27 - Execução da camada de solo cal.	47
Figura 28 - Execução de solo-emulsão.	47
Figura 29 - Rua com alvenaria poliédrica.	48
Figura 30 - Rua com paralelepípedo.	48
Figura 31 - Tipos de revestimentos empregados nos pavimentos.	49
Figura 32 - Revestimento de concreto asfáltico.	49
Figura 33 - Execução de concreto asfáltico.	49
Figura 34 - Mastique asfáltico dentro do esqueleto mineral de um SMA.	50
Figura 35 - Detalhe do contato pedra-pedra em um SMA.	50
Figura 36 - Revestimento de SMA.	51
Figura 37 - SMA funciona como anti-spray na chuva.	51
Figura 38 - Execução de revestimento com gap graded.	51
Figura 39 - Camada porosa de atrito.	52
Figura 40 - Tratamento superficial.	52
Figura 41 - Lançamento de agregados.	52
Figura 42 - Execução de camada de revestimento com pré-misturado a frio.	53
Figura 43 - Execução de serviço de tapa-buraco com pré-misturado a frio.	53
Figura 44 - Execução de camada de microrrevestimento a frio.	54
Figura 45 - Execução de imprimação sobre base acabada.	54
Figura 46 - Execução de pintura de ligação.	55
Figura 47 - Classificação HRB.	58
Figura 48 - Ensaio CBR.	59
Figura 49 - Layout da pista experimental da AASHO (redesenhada pelo HRB em 1961).	60
Figura 50 - Fotos da pista experimental da AASHO.	60
Figura 51 - Fator de equivalência de operações - Eixo simples.	63

Figura 52 - Fator de equivalência de operações - Eixo tandem duplo.....	64
Figura 53 - Fator de equivalência de operações - Eixo tandem triplo.....	64
Figura 54 - Gráfico de determinação da espessura do pavimento	66
Figura 55 - Esquema da estrutura do pavimento.....	67
Figura 56 - Materiais (agregados e ligante asfáltico) e corpo de prova moldado em laboratório.....	67
Figura 57 - Exemplo de materiais utilizados em uma mistura asfáltica.....	69
Figura 58 - Exemplo do método Ruthfucs.....	71
Figura 59 - Divisão de uma mistura de agregados	72
Figura 60 - Compactador Marshall.....	73
Figura 61 - Ensaio para determinar a estabilidade e fluência do corpo de prova.	74
Figura 62 - Esquema de compactação por amassamento utilizando um compactador giratório.	75
Figura 63 - Corpos de prova de 150 e de 100 mm de diâmetro moldados com compactador giratório... ..	76
Figura 64 - Atividades que devem ser realizadas durante a etapa de execução do pavimento.....	78
Figura 65 - Sistema de acompanhamento do controle tecnológico de pavimentos.	126
Figura 66 - Quantidade de contratos de infraestrutura fiscalizados entre 2006 e 2017.	129

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipo de Obras Auditadas	15
Tabela 2 - Ensaio para o controle tecnológico da imprimação asfáltica.	23
Tabela 3 - Ensaio para o controle tecnológico da imprimação asfáltica.	24
Tabela 4 - Ensaio para o controle tecnológico da regularização do subleito.	25
Tabela 5 - Ensaio para o controle tecnológico do reforço do subleito.....	26
Tabela 6 - Ensaio para o controle tecnológico de base e sub-base de BGTC.	27
Tabela 7 - Ensaio para o controle tecnológico de base e sub-base de BGS.....	28
Tabela 8 - Ensaio para aceitação dos materiais para o concreto asfáltico.	29
Tabela 9 - Ensaio para o controle tecnológico de revestimento com concreto asfáltico.....	30
Tabela 10 - Ensaio para o controle tecnológico de revestimento com tratamento superficial.	32
Tabela 11 - Ensaio realizado no controle tecnológico de micro revestimento asfáltico a frio.	33
Tabela 12 - Ensaio para o controle tecnológico de microrrevestimento asfáltico a quente.....	34
Tabela 13 - Valores de IS_{IG} em função do índice de grupo, IG.	61
Tabela 14 - Faixas granulométricas para materiais de base.	62
Tabela 15 - Coeficiente estrutural, k, para os diferentes tipos de materiais.	65
Tabela 16 - Espessura mínima de revestimento em função do tráfego, N.	65
Tabela 17 - Níveis de projeto em função do tráfego.....	76
Tabela 18 - Lista das especificações para cada tipo de base e sub-base.	89
Tabela 19 - Faixas granulométricas de BGS.....	90
Tabela 20 - Faixa Granulométrica.	97
Tabela 21 - Faixas granulométricas de concreto asfáltico.	107
Tabela 22 - Características do concreto asfáltico.....	108
Tabela 23 - Valores mínimos de VAM para o concreto asfáltico.	108
Tabela 24 - Lista de ensaios de controle de campo.	114
Tabela 25 - Coleta de materiais das camadas durante a construção (em pista).	114
Tabela 26 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Simples - TSS.	116
Tabela 27 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Duplo - TSD.	116
Tabela 28 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Triplo - TST.	116
Tabela 29 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Simples.....	117
Tabela 30 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Duplo.	117
Tabela 31 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Triplo.....	117
Tabela 32 - Composição granulométrica da mistura de agregados (ISSA - 143).....	121
Tabela 33 - Métodos e condições de dosagem (ISSA - 143).....	121
Tabela 34 - Misturas asfálticas utilizadas em camada de revestimento.....	124

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AA	Areia Asfalto
AAF	Areia Asfalto a Frio
AAQ	Areia Asfalto a Quente
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADP	Asfalto Diluído de Petróleo
ASTM	American Society for Testing and Materials
BGS	Brita Graduada Simples
BGTC	Brita Graduada Tratada com Cimento
CA	Concreto Asfáltico
CALTRANS	California Department of Transportation
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBR	California Bearing Rating
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CCP	Concreto de Cimento Portland
CM	Cura Média
cP	centiPoise
CPA	Camada Porosa de Atrito
CR	Cura Rápida
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EA	Emulsão Asfáltica
EA	Equivalente de Areia
ECA	Efeito do Calor e do Ar
EM	Especificação de Material
ES	Especificação de Serviço
FC	Fator de Carga
FE	Fator de Eixos
FEO	Fator de Equivalência de Operações
FHWA	Federal Highway Administration
FR	Fator Climático Regional
FV	Fator de Veículos
GC	Grau de Compactação
GG	Gap-Graded
HRB	Highway Research Board
HS	Altura de areia
IF	Índice de Forma
IG	Índice de Grupo

IP	Índice de Plasticidade
IRI	International Roughness Index ou Índice de Rugosidade Internacional
ISC	Índice de Suporte California
ISSA	International Slurry Surfacing Association
k	Coefficiente de Equivalência Estrutural
k _B	Coefficiente de Equivalência Estrutural da Base
k _R	Coefficiente de Equivalência Estrutural do Revestimento
k _{Ref}	Coefficiente de Equivalência Estrutural do Reforço do subleito
k _s	Coefficiente de Equivalência Estrutural da Sub-base
LA	Desgaste por Abrasão Los Angeles
LL	Limite de Liquidez
LP	Limite de Plasticidade
MCT	Miniatura Compactado Tropical
ME	Método de Ensaio
MRAF	Microrrevestimento asfáltico a frio
N	Número Equivalente de operações de um eixo tomado como padrão de 8,2 t
NCHRP	National Cooperative Highway Research Program
NMAS	Nominal Maximum Aggregate Size
NMPS	Nominal Maximum Particle Size
p	Número de anos de projeto
PG	Performance Grade
PMF	Pré-Misturado a Frio
PMQ	Pré-Misturado a Quente
PRO	Procedimento
QI	Quociente de Irregularidade
RBV	Relação Betume Vazios
RCD	Resíduo de Construção e Demolição
Ref	Reforço do Subleito
RL	Ruptura Lenta
RM	Ruptura Média
RR	Ruptura Rápida
RTFOT	Rolling Thin Film Oven Test
SAFL	Solo Arenoso Fino Laterítico
SHRP	Strategic Highway Research Program
ConTecPav	Aplicativo de Controle Tecnológico de Pavimentos
SMA	Stone Matrix Asphalt
SPT	Standard Penetration Test
sSF	segundos de Saybolt Furol
SUPERPAVE	Superior Performance Asphalt Pavements
TCE	Tribunal de Contas do Estado
TS	Tratamento Superficial

TSD	Tratamento Superficial Duplo
TSS	Tratamento Superficial Simples
TST	Tratamento Superficial Triplo
USACE	United States of American Corps of Engineering
VAM	Vazios do Agregado Mineral
VDM	Veículo Diário Médio
VDR	Valores de Resistência à Derrapagem
Vt	Volume total de tráfego
Vv	Volume de vazios

RESUMO DO PROJETO

No Brasil, a maior parte dos transportes de carga e de passageiros é feito por meio rodoviário. Infelizmente, a baixa qualidade da execução de obras de infraestrutura de transportes decorrentes da falta e/ou deficiência no controle tecnológico, particularmente dos pavimentos, resulta na redução da vida útil do pavimento. Conseqüentemente, muitas rodovias apresentam desempenho ruim, proporcionando demora e custos elevados, uma vez que o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais, repassados aos custos dos produtos. Uma melhoria na qualidade de uma estrada pode ser obtida durante o processo de construção, seja de um pavimento novo ou de uma reconstrução. Este projeto tem como objetivo elaborar um sistema de acompanhamento do controle tecnológico na execução dos serviços em obras de pavimentação, a partir da identificação dos problemas mais comuns em contratos de infraestrutura de transportes no que se refere à qualidade dos serviços executados, particularmente dos pavimentos, verificando as possíveis causas das falhas detectadas.

1. INTRODUÇÃO

A engenharia rodoviária é uma das mais antigas artes conhecidas pela humanidade. Desde a antiguidade têm sido estudados teorias e conceitos sobre pavimentos das estradas, ruas e rodovias. Isso permite dizer que já foram décadas de estudos sobre o pavimento. As técnicas de construção de estradas melhoraram gradualmente com o passar dos anos, através do estudo do tráfego rodoviário, do alinhamento das estradas e dos materiais empregados nas camadas. Além disso, os materiais e métodos de construção de estradas se tornaram mais modernos e eficazes. No entanto, muitos pavimentos apresentam condições inaceitáveis logo após a sua construção. Por que isso acontece? Como evitar que isso aconteça?

Para proporcionar conforto, segurança e economia ao usuário, o pavimento rodoviário deve ser construído respeitando as exigências das especificações e normas técnicas. Infelizmente, nem sempre isso acontece e, por esse motivo, os problemas surgem logo após a construção do pavimento. A execução deve seguir o projeto, que deve contemplar todas as análises de materiais e produtos que serão utilizados na composição do pavimento. Para isso deve ser feita coleta e avaliação de amostras de materiais antes da aplicação na pista. Essa etapa é denominada de pré-execução. A quantidade mínima de ensaios varia com o tipo e a camada do pavimento e geralmente está discriminada nas seções de controle tecnológico das especificações de obras de cada material e camada do pavimento, sendo que deve ser rigorosamente obedecida.

Vale lembrar que na etapa de execução deve ser realizada a análise de alguns resultados obtidos na etapa de pré-execução para verificar se correspondem aos materiais realmente selecionados para a obra. O controle de execução deve ser feito durante a aplicação dos materiais na pista, bem como na usina (quando houver). As amostras coletadas devem ser identificadas e acompanhadas de informações sobre os materiais, estacas e camadas, que serão utilizadas em avaliações posteriores.

Quando se tem base ou sub-base tratada quimicamente, controles do processo de produção das misturas com o aditivo (cimento, cal etc.) também são necessários. No caso de misturas de materiais para camadas de bases e sub-bases preparadas em usinas de solo deve-se fazer o controle tecnológico durante todas as etapas: na usina, no espalhamento e na compactação. No caso de revestimento com mistura asfáltica usinada a quente, o controle da execução engloba diversas etapas, desde a caracterização e preparação dos materiais, o controle da produção da massa asfáltica na usina, o transporte da massa asfáltica até a sua aplicação. Além disso, é fundamental verificar se a usina disponível atende às necessidades para produzir o tipo de mistura asfáltica selecionada, assim como realizar sua calibração antes de iniciar a produção da massa asfáltica.

1.1. Justificativa

Os custos dos produtos e serviços estão diretamente ligados à qualidade dos meios de transportes. No Brasil, a maior parte dos transportes de carga (61,1%) e de passageiros (95%) é feito por meio rodoviário (CNT, 2016), o que acaba agravando o estado dos pavimentos. Os custos dos produtos e serviços estão diretamente ligados à qualidade dos meios de transportes. Apesar da extensa malha rodoviária no país, apenas 12,3% da rede de 1.720.756 quilômetros de estradas e rodovias nacionais são pavimentadas (CNT, 2016). Infelizmente, muitas rodovias pavimentadas estão velhas e desgastadas e apresentam desempenho ruim, proporcionando demora e custos elevados, uma vez que o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento em custos operacionais, repassados aos custos dos produtos. Uma melhoria na qualidade de uma estrada pode ser obtida durante o processo de construção, seja de um pavimento novo ou de uma reconstrução.

Um pavimento deve ser construído para resistir aos esforços solicitantes do tráfego e às ações das intempéries, proporcionando uma superfície de rolamento com conforto e segurança para os usuários durante toda a sua vida útil. De forma geral, o desempenho do pavimento está relacionado com as características dos materiais empregados na composição das camadas e com o processo de construção e, em alguns casos, a vida útil do pavimento é reduzida em função de erros ou problemas durante o processo de execução.

Para avaliar a qualidade dos pavimentos deve ser feito o controle tecnológico da execução de cada camada. Muitas vezes, estruturas de pavimento com características similares têm comportamentos bastante distintos. Isso acontece porque sofrem a influência de diversos fatores como a localização, a geometria, o sistema de drenagem, as variações climáticas e, principalmente, as cargas de tráfego.

Os gastos com manutenção e reconstrução precoce dos pavimentos em virtude de se ignorar as propriedades fundamentais dos materiais são incalculáveis. Estes gastos são inaceitáveis na medida em que se pode dispor de técnicas e métodos que permitam uma melhor avaliação da qualidade dos materiais da construção dos pavimentos. Para utilizar de forma adequada os recursos é importante atender às especificações indicadas nos editais correspondentes aos diferentes tipos de obras e isso pode ser mais eficiente se for auxiliado por um sistema de gerência.

1.2. Objetivo Geral

O objetivo desta pesquisa é elaborar um sistema de acompanhamento do controle tecnológico na execução dos serviços em obras de infraestrutura de transportes (pavimentos), a partir da identificação das possíveis causas para a baixa qualidade verificada nas obras já realizadas.

1.3. Objetivos Específicos

- Identificar os tipos de obras de infraestrutura de transportes que são avaliadas pelo TCE-RJ;
- Identificar problemas e defeitos de pavimentos executados, e outras possíveis causas para a baixa qualidade constatada nas obras;
- Identificar e definir as características técnicas essenciais (necessárias) para aceitação de obras de infraestrutura de transportes (pavimentação asfáltica);
- Definir o tipo e a forma de controle tecnológico das etapas de construção das obras de infraestrutura de transportes (pavimentação asfáltica);
- Elaborar manual de boas práticas na execução dos serviços em obras de infraestrutura de transportes de pavimentação asfáltica.

Para atingir o objetivo desta etapa do trabalho, inicialmente foram identificados quais os principais erros, problemas e defeitos que surgem nos pavimentos logo após a sua execução. Em função dos defeitos foram listados de forma resumida os controles mínimos necessários para que as obras atendam às especificações com qualidade. Em seguida são apresentados os tipos de pavimentos e os materiais que podem ser empregados em cada camada. Para finalizar, são apresentadas as características técnicas de execução das camadas do pavimento, quando são indicados o tipo e a forma de controle tecnológico que devem ser realizados durante as etapas de construção das camadas do pavimento.

Foram utilizadas como referências as normas e especificações técnicas dos seguintes órgãos:

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas;
- ASTM - American Society for Testing and Materials;
- AASHTO - American Association of State Highway and Transportation Officials;
- DER-SP - Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo;
- DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem;
- DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

2. CONTRATOS FISCALIZADOS PELO TCE-RJ

No intuito de identificar os tipos de obras de infraestrutura que são avaliadas pelo **TCE-RJ**, foram relacionados 360 contratos fiscalizados (**Apêndice I**) pela Subsecretaria de Auditoria e Controle de Obras e Serviços de Engenharia – SSO, subsecretaria responsável no TCE-RJ pela fiscalização dos contratos de obras, resultando num montante de controle de R\$18 bilhões. As auditorias foram realizadas entre os anos de 2006 e 2017 e os valores auditados variaram entre R\$ 17 mil (???) e R\$ 9 bilhões, sendo esse limite superior referente ao contrato do Metrô-Rio.

No presente estudo, os contratos de obras foram classificados em função do tipo de obra com os respectivos quantitativos e montantes **financeiros** de cada tipo de obra, conforme se verifica na **Tabela 1**.

Tabela 1 - Tipo de Obras Auditadas

TIPO	QUANTIDADES	VALOR (R\$)
Edificação	126	R\$ 2.112.501.617,28
Iluminação	1	R\$ 5.015.731,87
Obra de Arte (Pontes e Viadutos)	3	R\$ 35.759.661,08
Obra de Contenção	17	R\$ 185.150.536,44
Obra Ferroviária	5	R\$ 9.602.614.405,39
Pavimentação Asfáltica	117	R\$ 2.510.230.174,54
Saneamento	59	R\$ 2.687.172.736,45
Urbanização	32	R\$ 931.150.213,86
SOMA	360	R\$ 18.069.595.076,91

Com base na quantidade foi construída a **Figura 1** para demonstrar a porcentagem quantitativa de cada tipo de obra em relação ao total de 360 contratos.

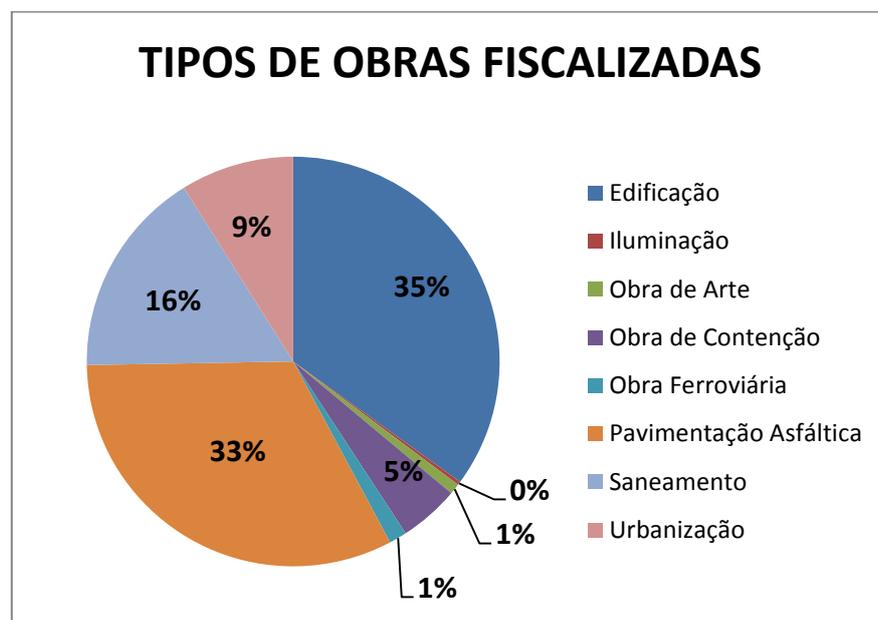


Figura 1 - Porcentagem quantitativa dos tipos de obras fiscalizadas.

Com base na tipologia adotada, as obras foram resumidas em dois grandes grupos: Contratos de **Infraestrutura** (Iluminação, Obras de Arte, Obras de Contenção, Obras Ferroviárias, Pavimentação Asfáltica, Saneamento e Urbanização) e **Outros** Contratos (Obras de Edificações). Na **Figura 2** pode-se verificar os percentuais de cada grupo do universo auditado pelo TCE-RJ.

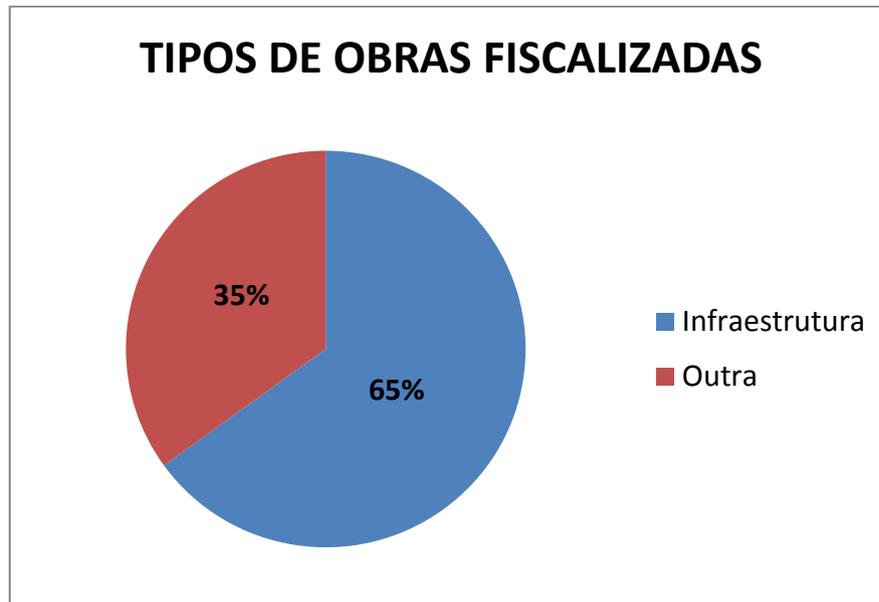


Figura 2 - Grupos de Obras Fiscalizadas

OUTRAS – NO QUADRO

Dentro do universo total, verificou-se que as obras de infraestrutura representam 65% em quantidade (**Figura 2**) e que, dentre os contratos de infraestrutura, as obras de **pavimentação asfáltica** compreendem a parcela bastante expressiva de 50% do grupo, conforme **Figura 3**. Estes dados demonstram a importância do acompanhamento do TCE-RJ e do controle tecnológico sobre as **obras de pavimentação**.

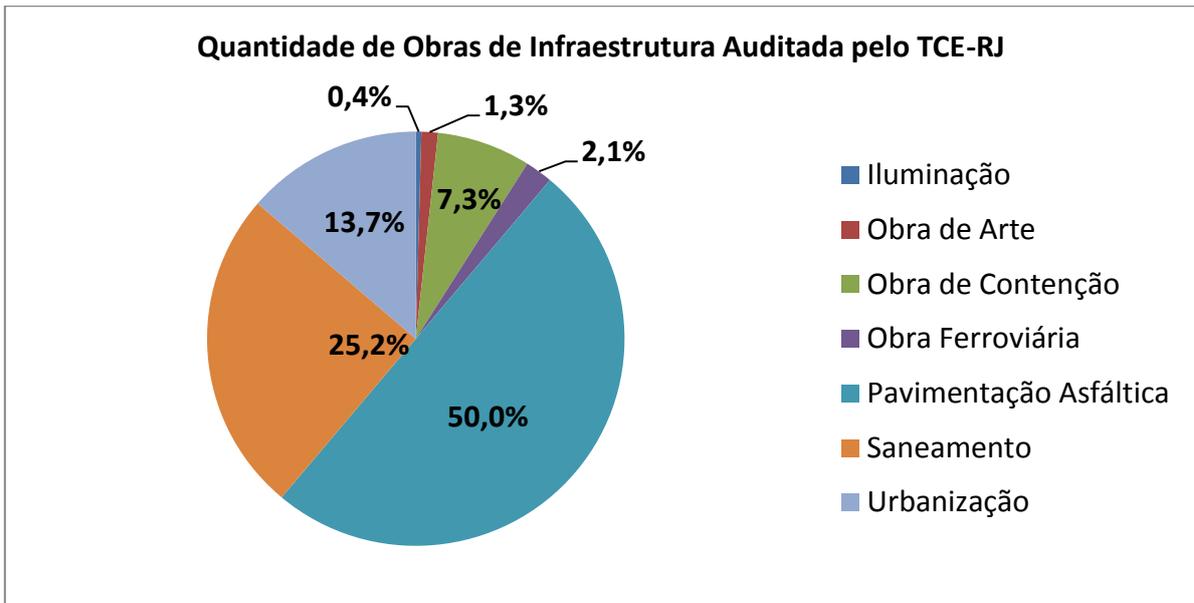


Figura 3 - Percentual quantitativo de obras de infraestrutura fiscalizadas pelo TCE-RJ.

AUDITADAS – NO QUADRO

Para a análise do valor monetário dos contratos de infraestrutura, optou-se por excluir o contrato do Metrô-Rio, pois **ele** representa 50% (R\$ 9 **bilhões**) do total auditado (R\$ 18 **bilhões**), o que resulta na **Figura 4**. Verificou-se que os contratos de obras de **pavimentação asfáltica** representam 37,9% do universo monetário de investimentos em infraestrutura.

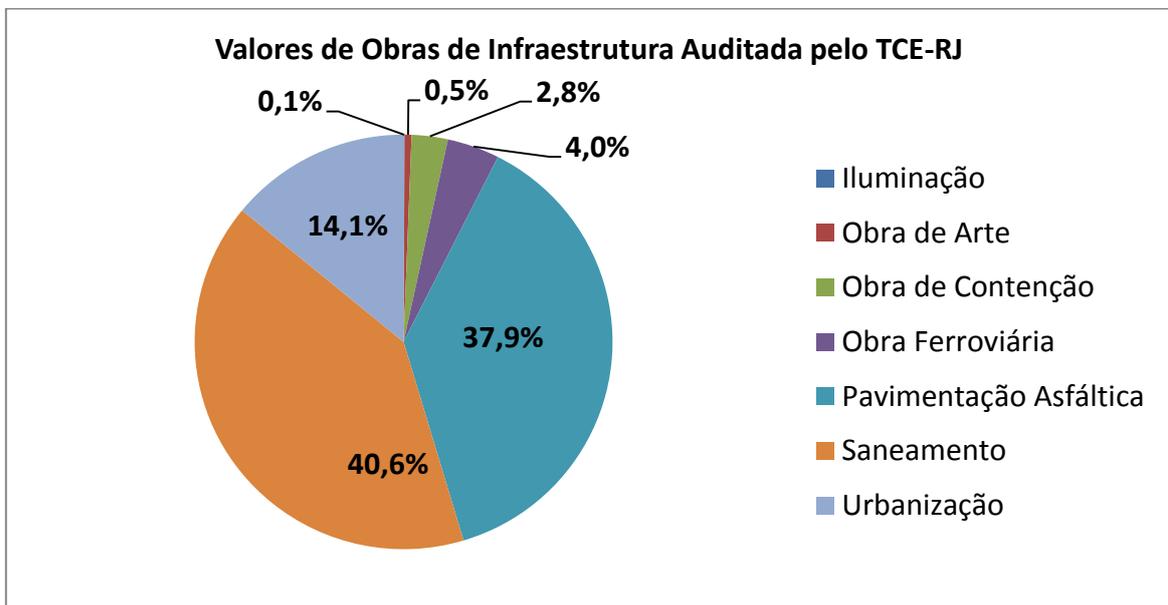


Figura 4 - Percentual monetário de obras de infraestrutura fiscalizadas pelo TCE-RJ.

AUDITADAS – NO QUADRO

Portanto, tanto por critérios **quantitativos** (**Figura 3**) como por valores de investimentos (**Figura 4**), as obras de **pavimentação asfáltica** demandam significativa parcela de atenção do TCE-RJ.

3. PROBLEMAS E DEFEITOS NOS PAVIMENTOS

Os problemas e defeitos nos pavimentos asfálticos podem ocorrer devido a erros cometidos durante a elaboração do projeto, na definição dos materiais empregados nas camadas do pavimento (seleção ou dosagem inadequada dos materiais), nas etapas de construção e também na seleção inadequada de alternativas de manutenção e reabilitação.

3.1. Erros de Projeto

Um dos erros mais comuns é o projeto errado ou inadequado. Geralmente esse erro está relacionado com o volume de tráfego utilizado no dimensionamento da estrutura do pavimento, em função da dificuldade de prever o tráfego real que atuará no período de projeto. Isso pode acontecer por um dos seguintes motivos:

- Falta de contagens e dados de tráfego local e da utilização de dados de vias da região (que apresentam características similares, mas não idênticas);
- Previsão de tráfego inadequada ou volume de veículos não previsto em projeto: falta de conhecimento das perspectivas de crescimento real do tráfego, acarretando um tráfego maior do que o previsto.

Outro erro comum é cometido no dimensionamento da estrutura do pavimento:

- Incompatibilidade estrutural entre as camadas gerando fadiga precoce dos revestimentos (por exemplo, revestimento asfáltico muito delgado, **com alta rigidez**, construído sobre camadas muito resilientes ou elásticas com alta deflexão);
- Material selecionado inexistente ou de difícil disponibilidade local, obrigando a substituições incorretas durante a obra;
- Alteração de jazida determinada em projeto, por outras mais distantes, causando aumento na distância e no custo de transporte dos materiais;
- Falta de investigação do solo, com ensaios SPT (*Standard Penetration Test*) para identificação de camadas de solo mole em áreas de ocorrência e verificação do nível de água (o qual deve estar 1,5 m abaixo da superfície do subleito). Estes ensaios são importantes para elaboração de estudos de estabilização desses tipos de solo e drenagem profunda ou outra solução para rebaixamento do lençol freático caso esteja acima de 1,5 m. Além disso, é importante também a execução dos ensaios básicos de solo para obtenção dos parâmetros úteis ao dimensionamento da estrutura: CBR (ou módulo de resiliência no caso do método mecanístico), granulometria, LL, IP, classificação dos solos etc.
- Necessidade de substituição de solos moles devido à falta de inspeção visual do solo,

deixando de alertar para o problema na fase de planejamento;

- Drenagem insuficiente do pavimento: a localização das sarjetas, o posicionamento dos drenos e a inclinação transversal da pista podem acarretar o acúmulo de água no pavimento;
- Subdimensionamento da estrutura;
- Presença de trilhas de roda e trincas generalizadas no revestimento, causadas por dimensionamento inadequado das camadas do pavimento que são insuficientes e não atendem à carga submetida e ao aumento de tráfego previsto.

3.2. Seleção de Materiais Inadequada ou Dosagem de Materiais Inadequada

Os erros mais comuns são:

- Seleção incorreta de solo para reforço de subleito: solo mais fraco que o material do subleito;
- Seleção de agregados com qualidade inadequada para compor as camadas de base e sub-base do pavimento: valor alto de abrasão Los Angeles, lamelaridade alta etc.;
- Seleção inadequada do tipo de solo ou dosagem inadequada para solo-brita;
- Dosagem errada de materiais estabilizados com cimento ou cal;
- Dosagem errada do teor de ligante asfáltico de misturas asfálticas:
- Excesso de ligante, causando fluência excessiva, escorregamento de massa, exsudação ou deformação permanente;
- Falta de ligante, causando excesso de vazios com ar e desagregação ou trincamento precoces;
- Variações de materiais e teores durante a usinagem;
- Uso de ligante asfáltico inadequado na composição do concreto asfáltico para as condições ambientais ou de tráfego: o tipo de ligante asfáltico utilizado e o seu teor na composição da mistura podem trazer alterações na resistência e na textura do concreto asfáltico;
- Uso de temperatura inadequada na usinagem das misturas;
- Uso de faixa granulométrica inadequada.

3.3. Erros Construtivos

Os erros mais comuns são:

- Execução de revestimento asfáltico a quente em dias chuvosos ou em temperaturas baixas;
- Aplicação da massa asfáltica sobre imprimação ou pintura de ligação não rompida;
- Aplicação da imprimação ou da pintura de ligação de forma inadequada ou insuficiente;
- Serviços de pintura de ligação com excesso de ligante, levando à perda do revestimento já executado;
- Compactação com uso de equipamento de baixa eficiência: falta de compactação apropriada das camadas, causando deformações e afundamentos excessivos ou rupturas localizadas;
- Compactação de misturas asfálticas em temperaturas inadequadas, ou variabilidade de

- temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação;
- Erro nas taxas de ligante;
 - Espessuras das camadas de sub-base, base e revestimento diferentes (menores) do que as definidas em projeto. Por meio de sondagem com sonda rotativa pode-se realizar a extração de corpos de prova, que irá permitir a verificação das espessuras das camadas, bem como as características da mistura asfáltica aplicada após a análise de corpo de provas;
 - Serviços de terraplenagem executados com altura menor que a determinada em projeto, trazendo, além dos prejuízos financeiros, instabilidade no leito estradal;
 - Realização de drenagem em área alagada utilizando bueiros, quando seria necessária a substituição de solos moles por outros de maior resistência. Como consequência podem surgir borrachudos e trincas generalizadas no pavimento, causados pela infiltração de água no subleito e na sub-base.

3.4. Seleção Inadequada de Alternativa de Manutenção e Reabilitação

Os erros mais comuns são:

- Reforço com uso de revestimento asfáltico delgado e rígido sobre pavimento muito trincado, possibilitando rapidamente a reflexão de trincas;
- Uso de tratamentos superficiais delgados para redução de irregularidade;
- Uso de revestimentos asfálticos permeáveis sobre pavimento trincado sem tratamentos de impermeabilização.

3.5. Para Corrigir Erros e Defeitos

- Verificação “in situ” dos problemas do trecho ou da via, e das condições geométricas dos taludes e de drenagem;
- Levantamento de dados climáticos, de tráfego e de mapas geológicos, pedológicos ou geotécnicos;
- Levantamento de memórias técnicas e de relatórios de projeto e de controle tecnológico de todas as etapas da obra;
- Estabelecimento de cenário global de defeitos e relação com todos os dados.

4. CONTROLE TECNOLÓGICO DA EXECUÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO

4.1. Características Técnicas - Qualidade das Obras

Uma obra rodoviária, para ser implantada, passa por diversas etapas, começando com o planejamento global, o projeto detalhado de cada componente até finalizar com a construção. Em todas as etapas é fundamental que a qualidade seja sempre colocada como o fator mais relevante. Um bom projeto pode ser desperdiçado se a execução não for bem-feita. Assim como em qualquer tipo obra, a construção do pavimento deve ser executada respeitando as normas, procedimentos e especificações do respectivo órgão fiscalizador, seja municipal, estadual ou federal, de forma que as características técnicas essenciais sejam atendidas.

As exigências de controle de qualidade e os métodos de ensaio são especificados para se assegurar que a obra responda às normas de qualidade mínima apropriadas ao comportamento desejado. Assim, a qualidade obtida em conformidade com as normas, por ocasião das obras, é um complemento à qualidade do projeto.

No entanto, o fato de seguir os procedimentos de construção não é suficiente para que se tenha uma obra com qualidade. É importante salientar que existem parâmetros de aceitação e rejeição dos resultados, que devem ser atendidos e verificados através do controle tecnológico. As atividades de controle da qualidade também poderão descobrir falhas no projeto e, assim, indicar mudanças que podem melhorar a qualidade dos serviços executados.

É relevante que a empresa executora utilize procedimentos documentados para determinar os métodos de medição, inspeção e ensaios, além dos critérios de aceitação aplicados na avaliação da obra e dos processos, durante todas as fases. Junto com os procedimentos devem ser especificadas as tolerâncias e os valores esperados de desempenho com indicação quanto à sua aprovação ou não.

A má qualidade dos serviços, muitas vezes, está relacionada com a atuação precária da fiscalização ou com a falta de recursos materiais e humanos para um acompanhamento eficaz. Outro fato que pode contribuir para a baixa qualidade dos serviços é que ocorrem casos em que as licitações são feitas apenas com o projeto básico, as quais, embora legalmente permitidas, acarretam necessidade de revisão da planilha orçamentária quando concluído o projeto executivo. No caso de obras rodoviárias, um problema que acontece muitas vezes é que, como não são realizadas sondagens em quantidade suficiente para se conhecer as condições do local da obra, a determinação do quantitativo de serviços e o dimensionamento do pavimento são elaborados de modo aquém do necessário exigido para atender ao tráfego da via.

A utilização de projeto inadequado, sem atender às normas técnicas adequadas, pode ocasionar diversos problemas. Para evitar que isso aconteça, o projeto deve ser analisado antes do início das obras e a equipe técnica deve verificar quais as recomendações e os procedimentos que atendam às especificações técnicas referentes à construção de cada camada do pavimento.

Neste sentido, o controle de qualidade deve sempre ser considerado sob dois enfoques: o controle administrativo e o controle tecnológico ou qualitativo. O controle administrativo tem como objetivo a verificação da execução do trabalho quanto às exigências legais e administrativas de contrato. O controle tecnológico assegura a conformidade às especificações, verificando, por meio de ensaios e medições, a qualidade dos serviços, dos materiais e suas respectivas aplicações.

A importância da caracterização dos materiais antes de iniciar as obras é fundamental para se construir pavimentos de qualidade, que **atenda** às especificações e **proporcione** um pavimento de excelente qualidade. Um dos principais problemas e causas de defeitos é a realização de serviços de pavimentação com a utilização de materiais de baixa qualidade, tanto no revestimento, seja asfáltico ou em concreto, quanto nas camadas inferiores, que compõem a infraestrutura dos pavimentos rodoviários. Considera-se que essa prática seja responsável pela deterioração prematura de pavimentos, gerando prejuízos para o Poder Público e para a sociedade. Isso pode ser evitado se for realizado o controle tecnológico de forma adequada.

4.2. Controle Tecnológico

O controle tecnológico é fundamental para obter o sucesso da construção. Entende-se por bom controle tecnológico da execução a realização de ensaios específicos para garantir a qualidade da camada executada, em espaçamentos adequados que representem uma boa amostragem do serviço, com controle de deformabilidade, acabamento, geometria, espessuras etc.

É importante observar que para o controle tecnológico é essencial a coleta de materiais e a realização de ensaios em laboratório especializado, localizado o mais próximo possível do local da obra, de preferência na usina. Além disso, para o controle tecnológico adequado, uma equipe deverá acompanhar as operações de usinagem, outra equipe as operações de preparo do subleito, **uma outra** equipe acompanhando os serviços de execução de base e sub-base e **ainda outra** equipe acompanhando os serviços de execução da camada de rolamento.

Nos itens seguintes são apresentados de forma resumida os parâmetros que devem ser avaliados no controle tecnológico durante a execução das camadas do pavimento e suas respectivas normas.

4.2.1. Imprimação (DNIT 144/2014-ES)

4.2.1.1. Material asfáltico

- Asfalto diluído (DNER EM-363/97)
 - Viscosidade cinemática a 60°C (ABNT NBR 14756);
 - Ponto de fulgor e combustão (vaso aberto TAG) (ABNT NBR 5765);
 - Destilação (ABNT NBR 14856).
- Emulsão asfáltica (DNIT 165/2013-EM)
 - Viscosidade Saybolt-Furol (ABNT NBR 14491);
 - Resíduo por evaporação (ABNT NBR 14376);
 - Peneiramento (ABNT NBR 14393);
 - Carga da partícula (DNIT ME 156/2011);
 - Sedimentação (ABNT NBR 6570).

4.2.1.2. Execução

- Taxa de aplicação

A **Tabela 2** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da imprimação asfáltica, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 2 - Ensaios para o controle tecnológico da imprimação asfáltica.

Ensaios	Normas	Quantidade	Descrição
M - Asfalto diluído: viscosidade cinemática a 60°C;	ABNT NBR 14756	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Asfalto diluído: ponto de fulgor e combustão (vaso aberto TAG)	ABNT NBR 5765	1 ensaio	
M - Asfalto diluído: viscosidade Saybolt-Furol no mínimo a 3 temperaturas, para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura	DNER-ME 004/94	1 ensaio	Para cada 100 t
M - Asfalto diluído: ensaio de destilação para verificação da quantidade de resíduo	ABNT NBR 14856	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: viscosidade Saybolt-Furol a 50°C;	ABNT NBR 14491	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: resíduo por evaporação	ABNT NBR14376	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: peneiramento	ABNT NBR14393	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: carga da partícula	DNIT ME 156/2011	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: sedimentação	ABNT NBR 6570	1 ensaio	Para cada 100 t
M - Emulsão asfáltica: viscosidade Saybolt-Furol no mínimo a 3 temperaturas, para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura	ABNT NBR 14491	1 ensaio	
E - Taxa de Aplicação do asfalto diluído		5 ensaios	Pesagem de bandejas

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com

área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

4.2.2. Pintura de ligação (DNIT 145/2012-ES)

4.2.2.1. Material asfáltico

- Emulsão asfáltica (DNER-EM 369/97)
 - Viscosidade Saybolt-Furol (DNER-ME 004/94);
 - Resíduo por Evaporação (ABNT NBR 14376);
 - Peneiramento (DNER-ME 005/95);
 - Carga da partícula (DNIT 156/2011-ME).

4.2.2.2. Execução

- Taxa de aplicação

A **Tabela 3** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da pintura de ligação, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 3 - Ensaios para o controle tecnológico da imprimação asfáltica.

Ensaios	Normas	Quantidade	Descrição
M - Emulsão asfáltica: viscosidade Saybolt-Furol a 50°C;	ABNT NBR 14491	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Emulsão asfáltica: resíduo por evaporação	ABNT NBR14376	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: peneiramento	ABNT NBR14393	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: carga da partícula	DNIT ME 156/2011	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica: sedimentação	ABNT NBR 6570	1 ensaio	Para cada 100 t
M - Emulsão asfáltica: viscosidade Saybolt-Furol no mínimo a 3 temperaturas, para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura	ABNT NBR 14491	1 ensaio	
E - Taxa de Aplicação da emulsão asfáltica		5 ensaios	Pesagem de bandejas

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

4.2.3. Regularização do Subleito (DNIT 137/2010-ES)

4.2.3.1. Materiais

- Compactação (DNER-ME 129/94);
- Índice de Suporte Califórnia, ISC e Expansão (DNER-ME 049/94);
- Análise granulométrica (DNER-ME 080/94);
- Limite de Plasticidade, LP (DNER-ME 082/94);
- Limite de Liquidez, LL (DNER-ME 122/94);

4.2.3.2. Execução

- Umidade higroscópica (DNER-ME 052/94);
- Massa específica aparente seca “in situ” (DNER-ME 092/94);
- Grau de compactação (DNIT 137/2010–ES).

A **Tabela 4** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da regularização do subleito, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 4 - Ensaios para o controle tecnológico da regularização do subleito.

Ensaios	Normas	Quantidade	Descrição
M - Compactação	DNER-ME 129/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Índice de suporte Califórnia, ISC, e expansão	DNER-ME 049/94	3 ensaios	1 ensaio a cada 400m
M - Análise granulométrica	DNER-ME 080/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Limite de plasticidade, LP	DNER-ME 082/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Limite de liquidez, LL	DNER-ME 122/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
E - Umidade higroscópica	DNER-ME 052/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Massa específica aparente seca “in situ”	DNER-ME 092/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Grau de compactação	DNIT 137/2010–ES	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.

A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

4.2.4. Reforço do Subleito (DNIT 138/2010-ES)

4.2.4.1. Materiais

- Compactação (DNER-ME 129/94);
- Índice de Suporte Califórnia, ISC e Expansão (DNER-ME 049/94);
- Análise granulométrica (DNER-ME 080/94);
- Limite de Plasticidade, LP (DNER-ME 082/94);
- Limite de Liquidez, LL (DNER-ME 122/94);

4.2.4.2. Execução

- Umidade higroscópica (DNER-ME 052/94);
- Massa específica aparente seca “in situ” (DNER-ME 092/94);
- Grau de compactação (DNIT 138/2010–ES).

A **Tabela 5** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de reforço do subleito, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 5 - Ensaio para o controle tecnológico do reforço do subleito.

Ensaio	Normas	Quantidade	Descrição
M - Compactação	DNER-ME 129/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Índice de suporte Califórnia, ISC, e expansão	DNER-ME 049/94	3 ensaios	1 ensaio a cada 400m
M - Análise granulométrica	DNER-ME 080/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Limite de plasticidade, LP	DNER-ME 082/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
M - Limite de liquidez, LL	DNER-ME 122/94	5 ensaios	1 ensaio a cada 200m
E - Umidade higroscópica	DNER-ME 052/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Massa específica aparente seca "in situ"	DNER-ME 092/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Grau de compactação	DNIT 137/2010-ES	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.

A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000 m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

4.2.5. Base e Sub-base

4.2.5.1. Materiais

- Granulometria (DNER-ME 083/98);
- CBR e expansão (quando aplicável) (DNER-ME 049/94);
- Equivalente de areia (quando aplicável) (DNER-ME 054/98);
- Limite de liquidez (quando aplicável) (DNER-ME 122/94);
- Índice de plasticidade (quando aplicável) (DNER-ME 082/94);
- Compactação (DNER-ME 129/94).

4.2.5.2. Execução

- Grau de compactação;
- Umidade.

Vale ressaltar que os ensaios podem variar de acordo com os materiais que compõem os tipos de base e sub-base selecionados.

A **Tabela 6** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de base e sub-base de brita graduada tratada com cimento, BGTC, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 6 - Ensaio para o controle tecnológico de base e sub-base de BGTC.

Ensaio	Normas	Quantidade	Descrição
A - Agregados graúdos: índice de forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Agregados graúdos: perda com Na ₂ SO ₄ <20%, e com MgSO ₄ <30%.	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Agregados graúdos: Los Angeles, LA ≤ 50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	
A - Agregados miúdos: equivalente de areia ≥ 55%	DNER-ME 054/98	3 ensaios	
M - Cimento: ensaio de finura	ABNT NBR 11579	1 ensaio	1 ensaio a cada 30 t de cimento
M - Agregados graúdos: índice de Forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	1 ensaio	1 ensaio no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material
M - Agregados graúdos: perda com Na ₂ SO ₄ <20%, e com MgSO ₄ <30%.	DNER-ME 089/94	1 ensaio	
M - Agregados graúdos: Los Angeles, LA ≤ 50%	DNER-ME 035/98	1 ensaio	
M - Agregado miúdo: equivalente de areia	DNER-ME 054/98	1 ensaio	
U - Teor de umidade pelo método da frigideira		4 ensaios	
U - Análise granulométrica	DNER-ME 083/94	2 ensaios	
U - Teor de cimento		2 ensaios	
E - Teor de umidade, antes da compactação		30 ensaios	1 ensaio a cada 250 m ²
E - Massa específica aparente seca máxima e umidade ótima	ABNT NBR 7182	1 ensaio	
E - Resistência à compressão simples, aos 28 dias	ABNT NBR 5739	30 ensaios	1 ensaio a cada 250 m ²
E - Resistência à compressão simples, aos 7 dias	ABNT NBR 5739	10 ensaios	1 ensaio a cada 750 m ²
E - Resistência à tração por compressão diametral	ABNT NBR 7222	30 ensaios	1 ensaio a cada 250 m ²
E - Umidade, massa específica aparente seca "in situ" e grau de compactação	ABNT NBR 7185	30 ensaios	1 ensaio a cada 250 m ²
G - Controle de espessura e cotas		50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m
G - Controle da largura e alinhamento		50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m
G - Controle do acabamento da superfície		50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m
G - Deflexões: com viga Benkelman ou FWD - Falling Weight Deflectometer, após 28 dias de cura.	DNER ME 024/98 DNER PRO 273	50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m por faixa alternada e 1 ensaio a cada 40 m na mesma faixa

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução; U - Controle da Produção da BGTC na usina; G - Controle Geométrico e de Acabamento.

A **Tabela 7** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de base e sub-base de brita graduada simples, BGS, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 7 - Ensaio para o controle tecnológico de base e sub-base de BGS.

Ensaio	Normas	Quantidade	Descrição
A - Índice de forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Perda com Na ₂ SO ₄ <20%, e com MgSO ₄ <30%	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Desgaste por abrasão Los Angeles, LA≤50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	
A - Equivalente de areia ≥ 55%	DNER-ME 054/98	3 ensaios	
M - Análise granulométrica	DNER-ME 080/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Equivalente de areia	DNER-ME 054/98	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Compactação*	DNER-ME 129/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
M - Índice de suporte Califórnia, ISC, e expansão	DNER-ME 049/94	4 ensaios	1 ensaio a cada 300 m
E - Umidade higroscópica	DNER-ME 052/94 DNER-ME 088/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Massa específica aparente seca "in situ"	DNER-ME 092/94 DNER-ME 036/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m
E - Grau de compactação	DNIT 137/2010-ES	10 ensaios	1 ensaio a cada 100m

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

*Energia de compactação indicada no projeto, adotando-se no mínimo a do Proctor Modificado. Na usina de solos, deve ser coletado o mesmo número de amostras, na saída do misturador.

A tolerância admitida de umidade higroscópica é de ±1,0% em relação à umidade ótima.

4.2.6. Concreto Asfáltico (CA)

A execução do concreto asfáltico deverá obedecer à especificação DNIT ES 031/2006 - Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico.

4.2.6.1. Materiais asfálticos

Pode ser utilizado cimento asfáltico de petróleo (CAP) puro ou modificado. Deverá ser obrigatoriamente armazenada uma amostra de 1 kg de todo material asfáltico que será utilizado na obra para verificação de alguma anomalia na mistura aplicada, devidamente identificada.

Ensaio de caracterização:

- Viscosidade "Saybolt-Furol" (ABNT NBR 14950);
- Espuma;
- Penetração a 25°C (ABNT NBR 6576);
- Ponto de fulgor (ABNT NBR 11341);
- Índice de susceptibilidade térmica (ABNT NBR 6576 e ABNT NBR 6560);
- Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560).

Recomendação: todo o carregamento de material asfáltico que não atender às especificações técnicas deverá ser devolvido.

4.2.6.2. Materiais Pétreos

Recomenda-se que a umidade dos agregados nos silos frios não seja superior a 2,0%, devendo-se para tanto proteger os depósitos de agregados das intempéries, tornando-se obrigatório este procedimento no caso do emprego de usinas de fluxo contínuo.

Ensaio de caracterização:

- Granulometria (DNER-ME 083/98);
- Desgaste por abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98);
- Equivalente de areia do agregado miúdo (ABNT NBR 12052);
- Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares (ABNT NBR 6954);
- Durabilidade, com sulfato de sódio e sulfato de magnésio (DNER-ME 089/94);
- Adesividade (ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584).

4.2.6.3. Execução

- Temperaturas do ar, da massa na usina e da massa antes de aplicada na pista;
- Teor de CAP;
- Granulometria;
- Grau de compactação;
- Espessura.

Obs.: Os corpos de prova devem ser extraídos com sonda rotativa.

A **Tabela 8** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados para aceitação dos materiais, antes do início da produção da mistura asfáltica na usina.

Tabela 8 - Ensaio para aceitação dos materiais para o concreto asfáltico.

Ensaio	Norma	Quantidade	Descrição
A - Agregados graúdos: desgaste Los Angeles, LA ≤ 50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Agregados graúdos: índice de forma, IF > 0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	
A - Agregados graúdos: perda com Na ₂ SO ₄ < 20%, e com MgSO ₄ < 30%	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Agregados miúdos: equivalente de areia ≥ 55%	DNER-ME 054/98	3 ensaios	
A - Ligante asfáltico com dope: envelhecimento RTFOT	ASTM D 2872	3 ensaios	
A - Ligante asfáltico com dope: envelhecimento ECA	ASTM D 1754	3 ensaios	
A - Agregado+asfalto com dope: ensaio de adesividade	DNER-ME 078/94 DNER-ME 079/94	3 ensaios	
A - Agregado+asfalto com dope: dano por umidade induzida	AASHTO T 283	3 ensaios	

Nota: Ensaio eventuais: somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e à natureza dos materiais.

A **Tabela 9** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de revestimento com concreto asfáltico, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 9 - Ensaios para o controle tecnológico de revestimento com concreto asfáltico.

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
M - Granulometria do agregado, de cada silo quente	DNER-ME 083/98	3 ensaios	1 ensaio a cada jornada de 8 horas de trabalho
M - Granulometria do material de enchimento (filler)	DNER-ME 080/94	1 ensaio	
M - Equivalente de areia do agregado miúdo	DNER-ME 054/98	1 ensaio	
M - Cimento asfáltico: ensaio de penetração a 25°C	ABNT NBR 6576	3 ensaios	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Cimento asfáltico: ensaio do ponto de fulgor	ABNT NBR 11341	3 ensaios	
M - Cimento asfáltico: índice de susceptibilidade térmica	ABNT NBR 6560	3 ensaios	A cada 100 t
M - Cimento asfáltico: ensaio de espuma		3 ensaios	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Cimento asfáltico: viscosidade Saybolt-Furol	ABNT NBR 14950	3 ensaios	
M - Cimento asfáltico: viscosidade Saybolt-Furol a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura	ABNT NBR 14950	3 ensaios	A cada 100 t
U - Teor de ligante asfáltico	DNER-ME 053/94	10 ensaios	1 ensaio a cada 700 m ²
U - Granulometria da mistura de agregados	DNER-ME 080/94	10 ensaios	
U - Temperatura do agregado, no silo quente da usina		10 ensaios	
U - Temperatura do ligante asfáltico na usina		10 ensaios	
U - Temperatura da mistura na saída do misturador		10 ensaios	
U - Mistura asfáltica: dano por umidade induzida	AASHTO T 283	3 ensaios	30 kg de massa asfáltica de cada caminhão
U - Características da mistura: adesividade	AASHTO T 209	3 ensaios	
U - Características da mistura: densidade máxima Rice	ASTM D2042	3 ensaios	
E - Temperatura da massa asfáltica na pista antes de iniciar a compactação		10 ensaios	1 ensaio a cada 100 m
E - Grau de compactação da mistura asfáltica	DNIT ES 031/2004	10 ensaios	
G - Controle de Espessura e Cotas		50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m
G - Controle da Largura e Alinhamento		50 ensaios	
G - Controle do Acabamento da Superfície com medidores tipo resposta - $QI \leq 35$ cont/km ($IRI \leq 2,7$)	DNER PRO 164/94 DNER PRO 182/94	50 ensaios	
G - Deflexões: com viga Benkelman ou FWD - Falling Weight Deflectometer, após 28 dias de cura	DNER ME 024/98 DNER PRO 273	50 ensaios	1 ensaio a cada 20 m por faixa alternada e 40 m na mesma faixa
G - Segurança: valores de resistência à derrapagem, medido com o pêndulo Britânico, $VDR \geq 45$	ASTM E 303	10 ensaios	1 ensaio a cada 100 m
G - Segurança: altura de areia: $1,20\text{mm} \geq HS \geq 0,60\text{mm}$	ASTM E 965-06	10 ensaios	

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

4.2.7. Tratamento Superficial (TS)

A execução do tratamento superficial como revestimento deverá obedecer às especificações referentes a cada tipo:

- Tratamento superficial simples, TSS: DNIT 146-10-ES;
- Tratamento superficial duplo, TSD: DNIT 147-10-ES;
- Tratamento superficial triplo, TST: DNIT 148-10-ES.

4.2.7.1. Material asfáltico

- Emulsão asfáltica tipo RR-2C (DNER-EM 369/97).
 - Viscosidade Saybolt-Furol (ABNT NBR 581);
 - Resíduo por Evaporação (ABNT NBR 6568);
 - Peneiramento (DNER-ME 005/95);
 - Desemulsibilidade (DNIT 157/2011-ME);
 - Carga de partícula (DNIT 156/2011-ME).

4.2.7.2. Agregados

O agregado para o tratamento superficial deverá ser obrigatoriamente lavado, cuja operação deve ser feita em local apropriado, não sendo aceitável a simples lavagem no caminhão. A empresa deverá fornecer os resultados de granulometria e do índice de forma obtidos com amostras coletadas na correia, pelo menos durante três dias, devendo as taxas de agregado ser determinadas através do mosaico.

- Granulometria (DNER-ME 083/98);
- Índice de forma (DNER-ME 086/94).

4.2.7.3. Equipamento

Deve ser feita a aferição do caminhão espargidor de ligante, no início dos serviços e quando julgado necessário.

4.2.7.4. Execução

- Temperatura do ar e do ligante;
- Taxa de ligante;
- Taxa de agregado.

A **Tabela 10** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de revestimento com tratamento superficial, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 10 - Ensaios para o controle tecnológico de revestimento com tratamento superficial.

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
A - Agregados graúdos: desgaste Los Angeles, LA≤50%	DNER-ME 035/98	3 ensaios	1 amostra representativa de acordo com a norma
A - Agregados graúdos: índice de forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	3 ensaios	
A - Agregados graúdos: perda com Na ₂ SO ₄ <20%, e com MgSO ₄ <30%	DNER-ME 089/94	3 ensaios	
A - Análise granulométrica	DNER-ME 083/94	3 ensaios	
M - Ligante asfáltico: ensaio de determinação do resíduo de destilação de emulsões asfálticas	ABNT NBR 6568	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Ligante asfáltico: ensaio de peneiramento	ABNT NBR 14393	1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: ensaio de desemulsibilidade	ABNT NBR 6569	1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: ensaio de carga de partícula	ABNT NBR 6567	1 ensaio	
M - Agregados: análise granulométrica	DNER-ME 083/94	1 ensaio	Para cada 900 m ³
M - Agregados graúdos: Índice de Forma, IF >0,5 e % de partículas lamelares ≤ 10%	DNER-ME 086/94	1 ensaio	Para cada 900 m ³
M - Agregados: ensaio de adesividade	DNER-ME 079/94	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
E - Quantidade de agregados**	Pesagem de bandejas	1 ensaio	Para cada caminhão
E - Quantidade de ligante asfáltico***	Pesagem de bandejas	1 ensaio	

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

** A tolerância admitida na taxa de aplicação dos agregados é de $\pm 1,5$ kg/m².

***A tolerância admitida na taxa de aplicação do ligante asfáltico é de $\pm 0,2$ l/m².

4.2.8. Microrrevestimento asfáltico a frio

A execução do microrrevestimento a frio como revestimento deverá obedecer à especificação DNIT 035/2005-ES.

4.2.8.1. Materiais asfálticos

- Emulsão asfáltica modificada por polímero
 - Viscosidade Saybolt-Furol (ABNT NBR 581);
 - Resíduo por Evaporação (ABNT NBR 6568);
 - Peneiramento (DNER-ME 005/95);
 - Recuperação elástica (para emulsão com polímero) (DNER-ME 382/99).

4.2.8.2. Agregados

- Granulometria (DNER-ME 083/98);
- Equivalente de areia do agregado miúdo (ABNT NBR 12052);
- Adesividade (ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584).

4.2.8.3. Execução

- Teor de ligante;
- Granulometria.

A **Tabela 11** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 11 - Ensaios realizados no controle tecnológico de microrrevestimento asfáltico a frio.

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
M - Emulsão asfáltica modificada por polímero: viscosidade Saybolt-Furol	ABNT NBR 14491	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Emulsão asfáltica modificada por polímero: resíduo	ABNT NBR 6568	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica modificada por polímero: peneiramento	DNER ME 005/94	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica modificada por polímero: carga de partícula	DNER ME 002/98	1 ensaio	
M - Emulsão asfáltica modificada por polímero: recuperação elástica a 25°C, no resíduo da emulsão	DNER ME 382/99	1 ensaio	
M - Agregados: granulometria	DNER-ME 083/98	4 ensaios	Para cada segmento de aplicação (300 m)
M - Agregados: ensaios de adesividade	DNER-ME 059/94 DNER-ME 079/94	4 ensaios	
M - Agregados: equivalente de areia	DNER-ME 054/98	4 ensaios	
E - Verificação do equipamento: consistência da mistura espalhada		4 ensaios	
E - Verificação do equipamento: atendimento do projeto da mistura		4 ensaios	
E - Verificação da taxa de aplicação: quantidade, espessuras e velocidades de aplicação para proporcionar o acabamento desejado	pesagem de bandejas	4 ensaios	
E - Verificação da taxa de emulsão asfáltica: extração de betume com o aparelho Soxhlet (variação da % de ligante residual: $\pm 0,3\%$)	ASTM D 2172	4 ensaios	
E - Verificação da granulometria da mistura de agregados: análise granulométrica dos agregados provenientes do ensaio de extração	DNER-ME 083/98	4 ensaios	

Nota: A - Aceitação do material antes da execução; M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

4.2.9. Microrrevestimento asfáltico a quente (ET-DE-P00/023 - 2006)

4.2.9.1. Materiais asfálticos

- Cimento asfáltico modificado por polímero tipo SBS.
 - Ponto de amolecimento (ABNT NBR 6560);
 - Viscosidade Brookfield (ABNT NBR 15184);
 - Ponto de fulgor (ABNT NBR 11341);
 - Recuperação elástica (ABNT NBR 15086);
 - Estabilidade à estocagem (ABNT NBR 15166);
 - Penetração a 25°C (ABNT NBR 6576);
 - Resíduo no RTFOT: variação em massa (ABNT NBR 15235).

4.2.9.2. Agregados

- Granulometria (DNER ME 083/94);
- Desgaste por abrasão Los Angeles (NBR NM 51);
- Equivalente de areia do agregado miúdo (ABNT NBR 12052);
- Índice de forma e porcentagem de partículas lamelares (ABNT NBR 6954);
- Durabilidade, com sulfato de sódio e sulfato de magnésio (DNER ME 089/94);
- Adesividade (ABNT NBR 12583 e ABNT NBR 12584).

A **Tabela 12** apresenta a relação de ensaios que devem ser realizados no controle tecnológico de materiais e de execução da camada de microrrevestimento asfáltico a quente, considerando um quilômetro de extensão.

Tabela 12 - Ensaios para o controle tecnológico de microrrevestimento asfáltico a quente.

Ensaios	Norma	Quantidade	Descrição
M - Ligante asfáltico: ponto de amolecimento	ABNT NBR 6560	1 ensaio	Para todo carregamento que chegar à obra
M - Ligante asfáltico: viscosidade Brookfield	ABNT NBR 15184	1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: ponto de fulgor	ABNT NBR 11341	1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: recuperação elástica	ABNT NBR 15086	1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: espuma a 175°C		1 ensaio	
M - Ligante asfáltico: estabilidade à estocagem	ABNT NBR 15166		
M - Ligante asfáltico: penetração a 25 °C	ABNT NBR 6576		
M - Resíduo no RTFOT (ligante asfáltico): <ul style="list-style-type: none"> • variação em massa • ponto de amolecimento • penetração • recuperação elástica 	ABNT NBR 15235 ABNT NBR 6560 ABNT NBR 6576 ABNT NBR 15086		Para cada 100 t
M - Agregados: abrasão Los Angeles	DNER-ME 035/98	1 ensaio	No início da utilização do agregado na obra e sempre que houver
M - Agregados graúdos: índice de forma e % de partículas lamelares	ABNT NBR 6954	1 ensaio	
M - Agregados graúdos: perda com Na ₂ SO ₄ com MgSO ₄	DNER-ME 089/94	1 ensaio	

M - Agregados: ensaios de adesividade	ABNT NBR 12583 ABNT NBR 12584	1 ensaio	variação da natureza do material
M - Agregados: equivalente de areia	ABNT NBR 12052	1 ensaio	
E - Verificação da temperatura da massa asfáltica, na saída dos caminhões carregados na usina		2 ensaios	Em todos os caminhões
E - Verificação da temperatura dos agregados nos silos quentes		2 ensaios (de cada silo)	Por jornada de 8 horas de trabalho
E - Verificação da temperatura do cimento asfáltico, antes da entrada do misturador		2 ensaios	
E - Granulometria do agregado de cada silo	DNER ME 083/94	2 ensaios	
E - Granulometria do material de enchimento, fíler	DNER ME 083/94	1 ensaio	
E - Verificação da quantidade de ligante: extração de ligante	ASTM D 6307 DNER ME 053/98	2 ensaios	
E - Verificação da granulometria da mistura de agregados: análise granulométrica dos agregados provenientes do ensaio de extração	DNER-ME 083/98	2 ensaios	

Nota: M - Controle tecnológico de materiais; E - Controle tecnológico de execução.

5. PAVIMENTOS

Tecnicamente, “o pavimento é uma estrutura composta por camadas construída sobre uma fundação (terreno natural) denominada de subleito”, que recebe em sua superfície solicitações do tráfego de veículos com rodas flexíveis (pneus) (YODER & WITCZAK, 1975).

Segundo o DNIT (2006), “o pavimento, por injunções de ordem técnico-econômicas é uma estrutura de camadas em que materiais de diferentes resistências e deformabilidades são colocados em contato, resultando daí um elevado grau de complexidade no que respeita ao cálculo de tensões e deformações e atuantes nas mesmas resultantes das cargas impostas pelo tráfego”.

As principais funções dos pavimentos são:

- resistir aos esforços verticais oriundos do tráfego e distribuí-los para camadas subjacentes;
- resistir aos esforços horizontais (desgaste), tornando mais durável a superfície de rolamento;
- melhorar as condições de rolamento quanto ao conforto e segurança;
- resistir às ações do intemperismo.

O pavimento, se comparado com outras estruturas usuais da engenharia civil, tem vida curta. É, na realidade, construído para ser solicitado pelo tráfego ao longo de 10, 20 anos. Por esse motivo a compreensão dos processos de deterioração do pavimento é de vital importância. Do ponto de vista funcional, o pavimento tem a tarefa de suportar o tráfego com segurança, conforto e economia. Essa função está intimamente relacionada com o estado da superfície de rolamento. A evolução das condições de rolamento, por sua vez, depende das intempéries, do tráfego e das características estruturais do pavimento (SÓRIA, 1997).

Acima do subleito, o pavimento é composto de camadas, que de modo geral têm melhores características e são mais caras, à medida que estão mais próximas da superfície. Do ponto de vista estrutural a camada mais importante é a base. Sobre ela, para suportar os efeitos destrutivos do tráfego e das intempéries, está a capa ou camada de rolamento. Abaixo da base, como transição ao subleito, pode haver uma sub-base e/ou um reforço do subleito (SÓRIA, 1997).

Para caracterização da "capacidade estrutural" de cada camada foi criado o conceito de equivalência estrutural: uma camada de material e espessura determinada é equivalente à outra camada de outro material e outra espessura, se o desempenho do pavimento com cada uma das camadas for igual. Para essa equivalência foi necessário o estabelecimento de um padrão de comparação. Foi adotado o "material granular" como referência, e em função da resistência (vantagem) dos outros materiais, em termos de desempenho do pavimento, sobre o

material granular, foi estabelecido o "coeficiente de equivalência estrutural" ou, mais exatamente, a faixa de variação do coeficiente estrutural de cada material. Os materiais considerados na determinação das faixas de variação do coeficiente estrutural foram estabelecidas experimentalmente, a partir de avaliações de desempenho de trechos e pistas experimentais. As fontes básicas para isso foram a pista experimental da AASHO e experimentos do U.S. Army Corps of Engineers (SÓRIA, 1997).

Segundo Yoder & Witczak (1975), historicamente, pavimentos são divididos em duas categorias: flexível ou rígido. O pavimento flexível pode ser constituído de uma camada de rolamento de pequena espessura, aplicada sobre camadas de base e de sub-base que são construídas sobre o subleito compactado. O pavimento rígido é constituído por placa de concreto de cimento Portland e pode ou não ter uma camada de base entre a placa e o subleito.

A principal diferença entre os dois tipos de pavimentos está na forma como ocorre a distribuição das cargas para o subleito (Figura 5). O pavimento rígido, devido ao elevado Módulo de Elasticidade do CCP, tende a distribuir a carga sobre uma área relativamente maior do subleito, sendo que a própria placa de concreto fornece a maior parte da capacidade estrutural de pavimento rígido. O pavimento flexível utiliza um maior número de camadas e distribui cargas para uma área menor do subleito (YODER & WITCZAK, 1975).

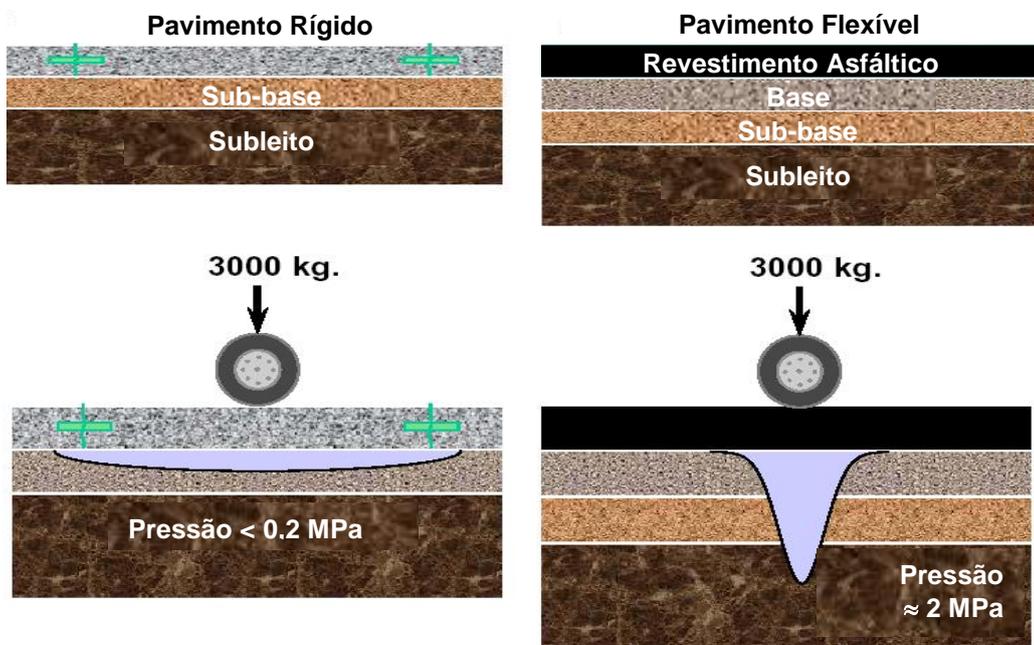


Figura 5 - Distribuição de cargas nos pavimentos rígido e flexível.

Fonte: adaptado de TRANSPORTATION ENGINEERING, 2016.

No Brasil, assim como em diversos países, a maioria dos pavimentos (~ 95%) é composta por revestimento asfáltico sobre camadas granulares e é conhecida por pavimento flexível. Apenas 5% apresenta na camada de rolamento ou revestimento uma placa de concreto de cimento, que também tem função de base e é denominado de pavimento rígido.

5.1. Camadas dos Pavimentos

A quantidade de camadas e suas espessuras variam com a qualidade do material do subleito, com o tráfego que irá solicitar o pavimento e as características dos materiais que irão compor a estrutura do pavimento, sendo que as camadas mais próximas da superfície devem ter melhores características (maior resistência) e, conseqüentemente, poderão apresentar custos mais elevados.

Dependendo das características de suporte do subleito e do tráfego, um pavimento flexível pode ser constituído por uma das seguintes formas:

- Revestimento, base, sub-base e reforço do subleito (**Figura 6**);
- Revestimento, base e sub-base;
- Revestimento e base.



Figura 6 - Pavimento flexível constituído por revestimento, base, sub-base e reforço do subleito.

O pavimento rígido é constituído de (**Figura 7**):

- PLACA DE CONCRETO DE CIMENTO: camada que desempenha ao mesmo tempo o papel de revestimento e de base;
- SUB-BASE: camada construída, algumas vezes, com o objetivo de evitar o bombeamento do solo do subleito.



Figura 7 - Pavimento rígido constituído por placa de concreto de cimento e sub-base.

O revestimento é a camada de rolamento, localizada na parte superior do pavimento, sendo a última camada a ser construída, enquanto que a regularização do subleito é a primeira atividade a ser executada. Sendo assim, serão apresentadas as camadas na sequência de execução, ou seja, de baixo pra cima.

5.1.1. Regularização do Subleito

A regularização do subleito (**Figura 8**) é uma operação destinada apenas para nivelar o leito estradal, transversal e longitudinalmente, obedecendo às larguras e cotas constantes das notas de serviço de regularização de terraplenagem do projeto. Por esse motivo, a regularização não constitui, propriamente, uma camada de pavimento, pois tem espessura variável, podendo ser nula em um ou mais pontos da seção transversal. Para execução da **regularização**, devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 137/2010-ES.



Figura 8 - Execução da regularização do subleito.

Fonte: MARQUES, 2015.

5.1.2. Reforço do Subleito

O reforço do subleito (**Figura 9**) compreende uma camada estabilizada granulometricamente, executada sobre o subleito devidamente compactado e regularizado, empregada quando se torna necessário reduzir espessuras elevadas da camada de sub-base, originadas pela baixa capacidade de suporte do subleito. Geralmente essa camada é executada com materiais disponíveis nas regiões próximas à obra.



Figura 9 - Execução de reforço do subleito.

Fonte: MARQUES, 2015.

Os materiais selecionados para camada de reforço, após compactados, devem apresentar capacidade de suporte superior ao do subleito. Não devem ser expansivos, excessivamente plásticos e nem completamente granulares (isentos de plasticidade). Para execução da **regularização**, devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 138/2010-ES.

5.1.3. Base e Sub-Base

A base, camada estruturalmente mais importante do pavimento, merece sempre um cuidado especial. De modo geral, o material utilizado na camada de base deve apresentar resistência elevada, sendo que o valor de CBR, índice de suporte Califórnia, exigido deve ser maior que 80%. Isso restringe os solos puros em geral, com exceção de alguns solos lateríticos, com composição granulométrica e teor de argila favorável (SÓRIA, 1997).

A sub-base é a camada complementar à base e com as mesmas funções desta, executada sobre o subleito ou reforço do subleito. Deve ser usada quando não for aconselhável executar a base diretamente sobre o leito regularizado ou sobre o reforço, por circunstâncias técnico-econômicas.

Dentre os materiais naturais possíveis de serem usados nas camadas de base e de sub-base estão os **pedregulhos** e os **seixos rolados** (Figura 10) e as **lateritas** (Figura 11) ou seixos lateríticos. Os cuidados com esses materiais devem ser concentrados nos finos e na exploração das jazidas. Um determinado teor de finos é aceitável ou até desejável. Entretanto, excesso de finos e materiais muito plásticos ou expansivos pode inviabilizar o uso.



Figura 10 - Exemplos de pedregulhos e seixos rolados.
Fonte: PEDRAO PEDRAS, 2016.



Figura 11 - Exemplos de laterita.
Fonte: MARQUES, 2015.

Durante muito tempo foi empregada base do tipo macadame, construída com agregados de maior dimensão que a da brita graduada (Figuras 12 e 13), e grudadas por asfalto (macadame betuminoso, Figura 14). Entretanto, como o custo desse material é alto, o seu uso em camada de base é cada vez mais raro, pelo menos no Brasil. A dimensão da brita é um dos fatores mais importante na estabilidade da camada. Por exemplo, uma camada de 20 cm de areia fina e uniforme, com diâmetro de 1 mm, é muito menos estável que uma camada de pedra britada com diâmetro máximo de 10 cm. Para a camada de areia fina a relação entre dimensões da partícula e da espessura da base é de 1:200. Já para o macadame com pedras de 10 cm de diâmetro essa relação seria de 1:2. O número de partículas seria muito menor para o macadame. A relação entre o número de partículas seria, grosseiramente, entre 10^4 a 10^5 . Isto é, a camada de areia teria entre 10.000 e 100.000 vezes mais partículas.

Outro material que também é bastante empregado nas camadas de sub-base ou base é a bica corrida (Figura 15). Esse material é composto por produtos resultantes de britagem primária de rocha sã, que em uma condição granulométrica mínima assegura estabilidade à camada, quando executada através das operações de espalhamento, homogeneização, umedecimento e compactação (DER/SP, 2010).



Figura 12 - Compactação de BGS.
Fonte: PRATEC, 2015



Figura 13 - Camada de BGS.
Fonte: GOVERNO MUNICIPAL DE ARAGUAPAZ, 2015



Figura 14 - Camada de macadame betuminoso.
Fonte: SRU FÁTIMA, 2015



Figura 15 - Camada com bica corrida.
Fonte: MARQUES, 2015

Têm sido bastante usadas nos últimos anos bases de **solo-brita-descontínuo (Figura 16)**. São materiais obtidos por mistura de **solo laterítico (Figura 17)** com brita, em proporções de 40-60% e 50-50%. O material resultante reúne as boas características de coesão da fração argilosa dos solos lateríticos com a estrutura granular da brita.



Figura 16 - Execução de solo-brita.
Fonte: MARQUES, 2015.



Figura 17 - Camada de solo arenoso fino lateríticos.
Fonte: MARQUES, 2015.

As bases estabilizadas são as camadas que, além de solo e brita, recebem agentes estabilizantes como cimento Portland, cal, asfalto, resinas etc. Possuem técnicas construtivas semelhantes às granulares por correção granulométrica. Os principais tipos de bases estabilizadas são: **solo cimento (Figura 18)**, **solo cal (Figura 19)** e **solo asfalto**.



Figura 18 - Execução de solo cimento.
Fonte: MARQUES, 2015.



Figura 19 - Execução de solo cal.
Fonte: MARQUES, 2015.

São mostrados na **Figura 20** todos os tipos de bases e sub-bases que podem ser utilizadas nos pavimentos e, em seguida, são apresentados os tipos mais empregados no Brasil (em azul).

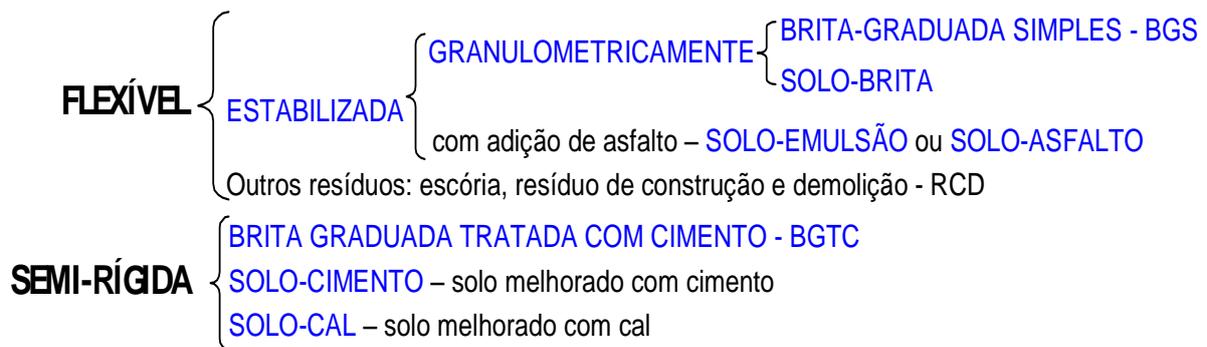


Figura 20 - Tipos de bases e sub-bases empregadas nos pavimentos.
Fonte: ODA, 2014.

5.1.3.1. Brita Graduada Simples - BGS

A brita graduada é produto de uma “estabilização granulométrica”, em que são determinadas as proporções de materiais de granulometrias diferentes, produzindo uma mistura que atenda a uma especificação (faixa granulométrica) e que, corretamente compactada, resulta em um produto final com propriedades adequadas de estabilidade e durabilidade. A BGS pode ser empregada nas camadas de base ou de sub-base e é produzida em usina e a sua estabilização é obtida pela ação mecânica do equipamento de compactação (DNIT, 2010, Figuras 21 e 22).



Figura 21 - Execução de camada de base de BGS.
Fonte: MARQUES, 2015.



Figura 22 - Brita graduada simples - BGS.
Fonte: EMBU S.A., 2015.

5.1.3.2. Solo-Brita

A sub-base e base de solo brita são camadas constituídas de mistura artificial em usina de solo com agregado pétreo britado que apresentam grande estabilidade e durabilidade, para resistir às cargas do tráfego e ação dos agentes climáticos, quando adequadamente compactadas. A **Figura 23** mostra as etapas de preparação e execução de uma camada de solo-brita.



Figura 23 - Execução da camada de solo-brita.
Fonte: MARQUES, 2015.

5.1.3.3. Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC

Brita graduada tratada com cimento é o produto resultante da mistura, em usina, de pedra britada, cimento Portland e água, em proporções determinadas experimentalmente. Após mistura, lançamento (**Figura 24**), compactação (**Figura 25**) e cura, a BGTC adquire propriedades físicas específicas para atuar como camada de base ou sub-base de pavimentos.



Figura 24 - Lançamento da camada de base de BGTC.
Fonte: INFRAERO, 2013.



Figura 25 - Compactação da camada de base de BGTC.
Fonte: 3DENG, 2015.

5.1.3.4. Solo-Cimento

É uma mistura de solo, cimento e água em proporções previamente determinadas por processo próprio de dosagem em laboratório, de forma a apresentar determinadas características de resistência e durabilidade. O teor de cimento adotado pode variar de 5% a 13% em função do tipo de solo (DNIT 143/2010 - ES, 2010). A mistura de solo-cimento pode ser preparada em usina ou executada no local (**Figura 26**).





Figura 26 - Execução da camada de solo-cimento na Pista Experimental do Mackenzie.
Fonte: MERIGHI e FORTES, 2015.

5.1.3.5. Solo Melhorado com Cimento

Esta modalidade é obtida mediante a adição de pequenos teores de cimento (2% a 4%), visando primordialmente à modificação do solo no que se refere à sua plasticidade e sensibilidade à água, sem cimentação acentuada, e são consideradas bases flexíveis (DNIT, 2006).

5.1.3.6. Solo-Cal

É uma mistura de solo, cal e água e, às vezes, cinza volante, uma pozolona artificial (**Figura 27**). O teor de cal mais frequente é de 5% a 6%, e o processo de estabilização ocorre (DNIT, 2006):

- por modificação do solo, no que refere à sua plasticidade e sensibilidade à água;
- por carbonatação, que é uma cimentação fraca;
- por pozolanização, que é uma cimentação forte.





Figura 27 - Execução da camada de solo cal.
Fonte: MARQUES, 2015.

5.1.3.7. Solo-Asfalto

Também chamado de solo-emulsão (**Figura 28**), é uma mistura de solo, água e material asfáltico, geralmente tipo emulsão asfáltica. A modalidade solo-asfalto engloba mistura de materiais asfálticos e solos argilo-siltosos e argilo-arenosos. Existe ainda a chamada “areia-asfalto” (MARQUES, 2015).



Figura 28 - Execução de solo-emulsão.
Fonte: SANT'ANA, 2009.

5.1.4. Revestimentos

Revestimento ou **capa de rolamento** é a camada que tem a função de receber diretamente os esforços provenientes do tráfego e transmiti-los às camadas inferiores, proporcionar uma superfície de rolamento regular, de tráfego confortável e com textura antiderrapante. Deve ainda impermeabilizar o pavimento, protegendo as camadas inferiores e conferir resistência às intempéries.

Segundo Yoder & Witczak (1975), todas as camadas de um pavimento, sobretudo a capa, são solicitadas por flexão dinâmica e compressão, concentrada em uma pequena área, o que exige desses materiais resistência à tração, à compressão e ao cisalhamento. Observa-se que nas capas o efeito mais significativo é a tração na sua fibra inferior.

Podem ser classificados da seguinte forma:

a) Revestimentos flexíveis asfálticos

- Mistura a quente: concreto asfáltico (CA); stone matrix asphalt (SMA); gap-graded (GG); camada porosa de atrito (CPA); pré-misturados a quente (PMQ); areia asfalto (AAQ);
- Mistura a frio: pré-misturados a frio (PMF); areia asfalto (AAF);
- Penetração direta ou invertida: tratamentos superficiais e macadame betuminoso.

b) Revestimentos flexíveis por calçamento

- Alvenaria poliédrica (ABNT NBR 7193/82): **consiste** de camadas de pedras irregulares, assentadas e comprimidas sobre um colchão de regularização, constituído de material granular apropriado (**Figura 29**);
- Paralelepípedos: blocos regulares assentes sobre um colchão de regularização (**Figura 30**).



Figura 29 - Rua com alvenaria poliédrica.
Fonte: MUNICIPIO DE MERCEDES, 2013



Figura 30 - Rua com paralelepípedo.
Fonte: ROC2C, 2015.

c) Revestimentos rígidos

- Concreto de cimento: constituído por uma mistura de cimento Portland, areia, agregado graúdo e água, colocada em uma camada devidamente adensada, que funciona ao mesmo tempo como revestimento e base do **pavimento**;
- Macadame cimentado: uma camada de brita de graduação aberta, devidamente comprimida, cujos vazios são posteriormente preenchidos com argamassa de cimento.

A **Figura 31** mostra todos os tipos de revestimento que podem ser empregados em pavimentos. Os tipos de misturas asfálticas mais utilizadas nos revestimentos no Brasil, que estão em azul, são apresentados em seguida.

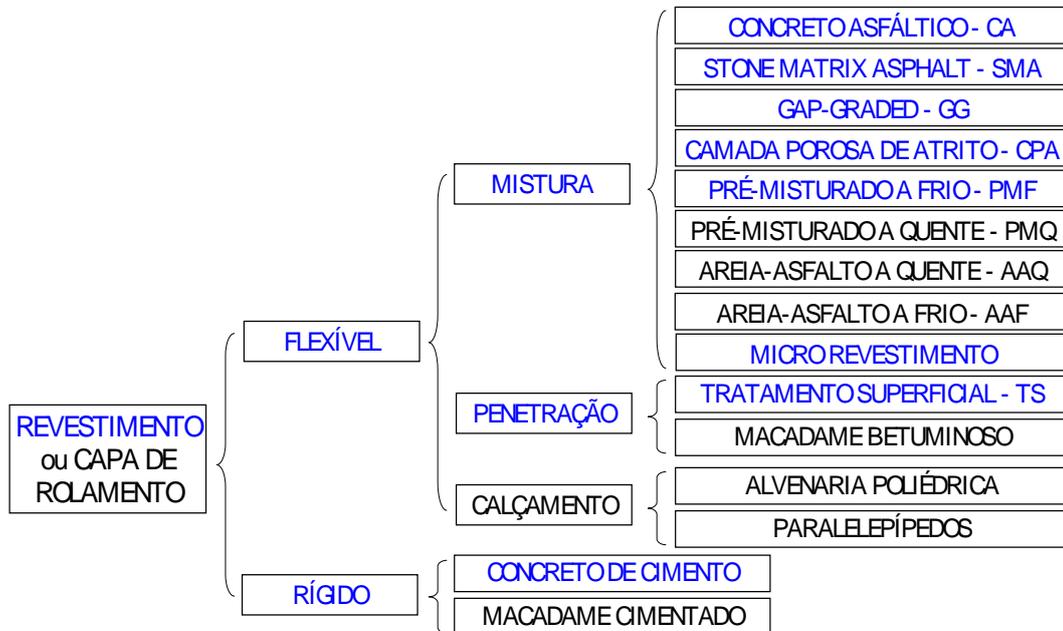


Figura 31 - Tipos de revestimentos empregados nos pavimentos.

Fonte: ODA, 2014.

5.1.4.1. Concreto Asfáltico (CA)

Concreto asfáltico (CA), mais conhecido como concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ, é o produto resultante da mistura a quente, em usina apropriada, de agregado mineral graduado, material de enchimento (fíler) e cimento asfáltico, espalhado e comprimido a quente e satisfazendo determinadas exigências constantes da especificação. A mistura é feita em usina fixa, onde são aquecidos os agregados e o material asfáltico.

O concreto asfáltico pode ser aplicado na camada de rolamento (**Figuras 32 e 33**); na camada de ligação (binder): aplicada quando a espessura de projeto for grande; ou na camada de desgaste: empregada quando a superfície, sobre a qual será construído o revestimento, é lisa e sem irregularidades.



Figura 32 - Revestimento de concreto asfáltico.
Fonte: ASFALTO DE QUALIDADE, 2015.



Figura 33 - Execução de concreto asfáltico.
Fonte: ASFALTO DE QUALIDADE, 2015.

5.1.4.2. Stone Matrix Asphalt (SMA)

A mistura SMA apresenta granulometria descontínua, composta por uma maior fração de agregados graúdos britados ($\geq 70\%$), uma massa de ligante/filler (cerca de 10% passando na peneira #200), chamada de mastique (Figura 34), e aproximadamente 4% de volume de vazios (NCHRP, 2011). Essas misturas formam um esqueleto de alta estabilidade devido ao elevado contato pedra-pedra (Figura 35).

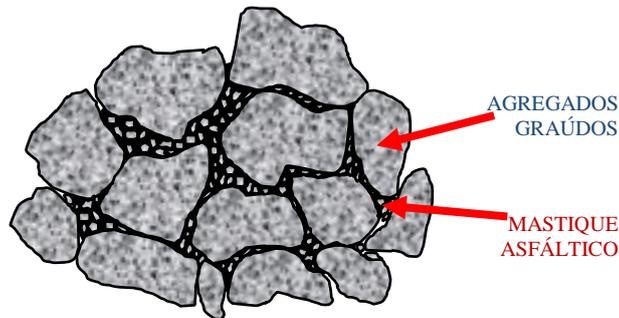


Figura 34 - Mastique asfáltico dentro do esqueleto mineral de um SMA.



Figura 35 - Detalhe do contato pedra-pedra em um SMA.
Fonte: PAVEMENT INTERACTIVE, 2016.

As normas americanas (AASHTO MP 8-02 e AASHTO M325-08) e europeia (EAPA, 1998) recomendam que se adicione uma fibra para evitar que ocorra o escorrimento de material asfáltico durante o processo de construção (produção e aplicação da mistura), e particularmente durante o transporte, uma vez que o teor de asfalto das misturas SMA é de no mínimo de 6,0%, sendo de 1,0 a 1,5% mais alto quando comparadas às misturas de concreto asfáltico convencional. A fibra pode ser de celulose, poliéster etc.

O SMA é recomendado para atender ao tráfego pesado, proporcionando um revestimento asfáltico de alta resistência à deformação permanente e melhores condições de aderência em pista molhada. A Figura 36 apresenta um trecho construído com revestimento de SMA e a Figura 37 mostra que o SMA proporciona um revestimento mais seco, quando comparado com a faixa de concreto asfáltico (CA) em dias de chuva.



Figura 36 - Revestimento de SMA.
Fonte: ODA, 2004.



Figura 37 - SMA funciona como anti-spray na chuva.
Fonte: CARLSON e STOUT, 2003.

5.1.4.3. Gap-Graded (GG)

Mistura executada a quente em usina apropriada, constituída de agregado graúdo, agregado miúdo, material de enchimento (fíler) em granulometria descontínua, e asfalto modificado (asfalto borracha), devendo ser espalhada e compactada a quente (**Figura 38**) (CALTRANS, 2001). Assim como o SMA, o revestimento composto por mistura do tipo gap-graded apresenta alta resistência à deformação permanente e boas condições de aderência em pista molhada.



Figura 38 - Execução de revestimento com gap graded.
Fonte: ASFALTO DE QUALIDADE, 2015.

5.1.4.4. Camada Porosa de Atrito (CPA)

A camada porosa de atrito é uma mistura produzida a quente em usina apropriada, constituída de agregado de granulometria uniforme e asfalto modificado, eventualmente fibras, devendo ser espalhada e compactada a quente. Em função da **granulometria**, apresenta características drenantes com índice de vazios variando de **18 a 25%**. Esse tipo de mistura tem como objetivo melhorar as condições de segurança de tráfego, proporcionando superfície de rolamento com características antiderrapantes em pista molhada e redução de ruído. A **Figura 39** mostra o aspecto “físico” de uma camada porosa de atrito.



Figura 39 - Camada porosa de atrito.
Fonte: PAVEMENT INTERACTIVE, 2016.

As principais características das misturas tipo CPA são:

- Reduz o risco de hidroplanagem ou aquaplanagem;
- **Melhora a** aderência do pneu/pavimento, aumentando a segurança;
- Reduz as distâncias de frenagem sob chuva;
- Reduz os níveis de ruído do tráfego;
- Diminui o spray ou cortina de água durante chuvas.

TODOS OS ITENS COM VERBO - PARALELISMO

5.1.4.5. Tratamentos Superficiais

Os tratamentos superficiais, TS (**Figura 40**), de penetração direta ou invertida consistem no espalhamento sucessivo de camadas de ligante e agregado (**Figura 41**) sobre a base de um pavimento. Dependendo do número de camadas são chamados de simples, duplo ou triplo. A dimensão do agregado da segunda e terceira camadas deve ser menor que o da primeira para facilitar o intertravamento.

As principais qualidades do agregado necessárias para TS são: graduação estreita; forma poliédrica, intermediária entre esférica e cúbica; baixo teor de finos; alta resistência mecânica e alta resistência ao intemperismo.



Figura 40 - Tratamento superficial.
Fonte: MACHADO, 2014.



Figura 41 - Lançamento de agregados.
Fonte: MACHADO, 2014.

5.1.4.6. Pré-Misturado a Frio (PMF)

É o produto resultante da mistura de agregados minerais e emulsão asfáltica, que deve ser espalhado e comprimido a frio. Segundo a granulometria, classificam-se em abertos (vazios de 22 a 34%), semidensos (vazios de 15 a 22%) e densos (vazios de 9 a 15%). O PMF pode ser utilizado como camada de regularização ou como revestimento (**Figura 42**), além de serviços de conservação (tapa-buracos, **Figura 43**). As camadas podem ter espessuras variando de 3 a 10 cm, dependendo do tipo de serviço e granulometria da mistura.



Figura 42 - Execução de camada de revestimento com pré-misturado a frio.
Fonte: MARQUES, 2015.



Figura 43 - Execução de serviço de tapa-buraco com pré-misturado a frio.
Fonte: PAVISUL, 2015 e MFRURAL, 2015.

5.1.4.7. Microrrevestimento

O microrrevestimento é uma mistura fluida de emulsão asfáltica modificada por polímero e processada em usina especial móvel (**Figura 44**). Geralmente o microrrevestimento é utilizado em:

- recuperação funcional de pavimentos deteriorados;
- capa selante;
- revestimento de pavimentos de baixo volume de tráfego;
- camada intermediária antirreflexão de trincas em projetos de reforço estrutural.



Figura 44 - Execução de camada de microrrevestimento a frio.
Fonte: PETROBRAS DISTRIBUIDORA, 2005.

5.1.5. Imprimação

Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre a superfície de uma base concluída (Figura 45), antes da execução de um revestimento asfáltico (DNIT 144/2014-ES). Serve para aumentar a coesão da superfície da base, pela penetração do material asfáltico empregado, promover condições de aderência entre a base e o revestimento e impermeabilizar a base. Os materiais asfálticos utilizados são os asfaltos diluídos de baixa viscosidade, a fim de permitir a penetração do ligante nos vazios da base: CM-30 e CM-70.



Figura 45 - Execução de imprimação sobre base acabada.
Fonte: BRINGET, 2011.

5.1.6. Pintura de Ligação

Consiste na aplicação de uma camada de material asfáltico sobre uma camada do pavimento (**Figura 46**) com a finalidade de promover sua ligação com a camada sobrejacente a ser executada. Podem-se utilizar as seguintes emulsões asfálticas: RR-1C, RR-2C, RM-1C, RM-2C ou RL-1C.



Figura 46 - Execução de pintura de ligação.
Fonte: MERIGHI e FORTES, 2015.

5.2. Projeto de Pavimentos

Na elaboração de projetos de pavimentos existem diversos fatores limitantes que devem ser preliminarmente identificados e estudados. Tanto as características regionais, quanto as limitações técnicas e econômicas devem ser de total conhecimento do projetista para garantir que o projeto possa ser executado, atendendo, de fato, às condições preestabelecidas. Os recursos, muitas vezes escassos, estabelecem limites no projeto, os quais refletem diretamente na qualidade do pavimento. Mesmo conhecendo-se os níveis de solicitações previstas e demais características relacionadas ao comportamento do pavimento durante sua vida em serviço, a escassez de recursos pode conduzir a um projeto de menor qualidade. Quando isso acontece é fundamental elaborar uma política adequada de manutenção e reabilitação do pavimento construído, incluindo uma avaliação detalhada dos custos associados a cada estratégia de projeto para evitar um gasto ainda maior (SÓRIA, 1997).

5.2.1. Solicitações nas Camadas

Todas as camadas de um pavimento, sobretudo a capa de rolamento, são solicitadas por flexão dinâmica e por compressão, concentrada em uma pequena área, o que exige desses materiais resistência à tração, à compressão e principalmente ao cisalhamento. O conceito básico para pavimentos flexíveis com bases puramente granulares consiste em dotar o pavimento de uma base com espessura tal que a tensão vertical de compressão e a deflexão no subleito sejam inferiores a determinados valores-limites, correspondentes a níveis de ruína,

estabelecidos a partir de critérios consistentes, para cada situação que se tiver (YODER & WITCZAK, 1975).

5.2.2. Parâmetros para o Projeto

Para o projeto de pavimentos são necessárias informações sobre: as solicitações; a fundação; a própria estrutura e as intempéries. A presença da própria estrutura como um dado de dimensionamento faz com que o processo seja, a rigor, um processo de verificação em lugar de um dimensionamento (YODER & WITCZAK, 1975).

5.2.2.1. Solicitações

Uma só roda de um veículo que trafegue sobre o pavimento impõe uma solicitação que pode ser caracterizada por (YODER & WITCZAK, 1975):

- magnitude da carga por roda ou força aplicada (N ou kgf);
- pressão de contato do pneu com o pavimento (MPa, KPa ou kgf/cm²);
- área de contato (cm²);
- velocidade de aplicação ou tempo de duração.

Além disso, o número de aplicações das cargas, ou seja, o número de veículos que solicita o pavimento é determinante para a sua vida útil. A magnitude da carga de uma roda ou força aplicada por um único pneu varia de cerca de 200 kgf (~1980 N) para automóveis até 20.000 kgf (~198.000 N) para grandes aviões (YODER & WITCZAK, 1975).

A carga de uma roda atua sobre o pavimento com uma pressão de contato que é aproximadamente igual à pressão de enchimento do pneu. Como em relação ao pavimento, o pneu tem uma deformabilidade muito maior, isso quer dizer que a área de contato entre pneu e pavimento é determinada pela pressão do pneu (SÓRIA, 1997).

Por exemplo, considerando um pavimento típico, em bom estado estrutural, solicitado estaticamente por um lado do eixo simples de rodas duplas de caminhão com pressão de 80 lb/pol² (0,55 MPa) e carga (força) de 4500 kgf (44100 N). Nesse caso, o deslocamento vertical (deflexão) do pavimento é da ordem de 0,5 mm, enquanto o pneu tem uma deformação vertical (visível a olho nu), cerca de 20 vezes maior. Tanto a deformação do pneu como a do pavimento são, nesse caso, elásticas (recuperáveis), isto é, aliviada a carga, ambos voltam à sua forma original (YODER & WITCZAK, 1975).

5.2.2.2. Pressão e área de contato

Se o efeito da rigidez das paredes laterais dos pneus for ignorado, a pressão de contato é igual à pressão de enchimento dos pneus e uniformemente distribuída sobre a área de contato. Na

realidade os pneus de baixa pressão tendem a ter maior pressão de contato no centro e os de alta pressão, o contrário. Mas para efeitos práticos é, de modo geral, suficiente considerar a pressão de contato uniforme e igual à de enchimento. Portanto, será considerada a forma de impressão de contato do pneu com o pavimento como sendo circular (SÓRIA, 1997).

5.2.3. Projeto de Pavimentos

Durante a Segunda Guerra Mundial, houve uma grande necessidade de se construir rapidamente aeroportos e rodovias, o que exigia métodos de dimensionamento rápidos e de fácil aplicação. Deste modo, as pesquisas sobre pavimentos flexíveis tomaram grande impulso, principalmente nos Estados Unidos, desenvolvendo-se métodos de dimensionamento baseados na classificação de solos e em um ensaio que reproduzisse as condições de solicitação do pavimento. A classificação adotada foi desenvolvida pelo HRB (*Highway Research Board*) e o ensaio de resistência foi desenvolvido no Estado da Califórnia e modificado pelo Corpo de Engenheiros dos Estados Unidos (*US Corps of Engineers*), sendo denominado de CBR (*California Bearing Ratio*). Devido à sua praticidade e baixo custo de determinação, tanto a classificação HRB como o ensaio CBR tiveram aceitação mundial, inclusive no Brasil, onde têm sido utilizados em larga escala.

É importante salientar que essa metodologia tradicional, que utiliza a classificação HRB, é válida para solos não lateríticos, pois, como esses estudos foram realizados nos Estados Unidos, cujas características pedológicas são de clima temperado, foram identificadas algumas incoerências com relação a solos brasileiros, não observadas na América do Norte e Europa. Tal constatação levou pesquisadores brasileiros (NOGAMI e VILLIBOR, 1995) a desenvolver uma metodologia mais adequada a solos tropicais, consistindo em uma nova classificação dos solos (MCT - Miniatura, Compactado, Tropical) e um conjunto de ensaios mais compatíveis com as características desses solos.

Vale aqui ressaltar que a realidade atual converge para a elaboração de modelos com embasamento teórico bem definido e que possam representar com fidelidade as condições de campo.

5.2.3.1. Classificação de Solos Segundo a HRB

Essa classificação surgiu com o Método de Dimensionamento do Índice de Grupo (IG) e baseia-se em ensaios normais de caracterização de solos, tais como: granulometria, limites de liquidez e de plasticidade (**Figura 47**).

O índice de Grupo (IG) é um número inteiro, dado pela expressão:

$$IG = 0,2.a + 0,005.a.c + 0,01.b.d \quad (1)$$

onde:

$a = p - 35$ e $p =$ % que passa na #200;

- se $p > 75\%$, adota-se $p = 75$;
- se $p < 35\%$, adota-se $p = 35$;

$b = p - 15$ e $p =$ % que passa na #200;

- se $p > 55\%$, adota-se $p = 60$;
- se $p < 15\%$, adota-se $p = 15$;

$c = LL - 40$ e $LL =$ valor do Limite de Liquidez;

- se $LL > 60\%$, adota-se $LL = 60$;
- se $LL < 40\%$, adota-se $LL = 40$;

$d = IP - 10$ e $IP =$ valor do Índice de Plasticidade;

- se $IP > 30\%$, adota-se $IP = 30$;
- se $IP < 10\%$, adota-se $IP = 10$.

De acordo com a fórmula de Índice de Grupo, $0 \leq IG \leq 20$.

CLASSIFICAÇÃO HRB											
Classificação Geral	Materiais Granulares (35% ou menos passando pela peneira N ^o 200)							Materiais Siltosos ou Argilosos (mais de 35% passando pela peneira N ^o 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7*
Grupos	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
% que passa nas peneiras de abertura nominal											
# 10 – 2,00 mm	50 máx.										
# 40 – 0,42 mm	30 máx.	50 máx.	51 mín.								
# 200 – 0,075 mm	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.	36 mín.	36 mín.
Característica da fração que passa na peneira 0,42 mm											
Limite de Liquidez (%)				40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.	40 máx.	41 mín.
Índice Plasticidade (%)	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.	10 máx.	10 máx.	11 mín.	11 mín.
Índice de Grupo	0	0	0	0	4 máx.			8 máx.	12 máx.	16 máx.	20 máx.
Materiais que predominam	Pedra britada, pedregulho e areia		Areia fina	Areia e areia siltosa ou argilosa				Solos siltosos		Solos argilosos	
Comportamento geral como subleito	Excelente a bom							Regular a mau			

*solos do grupo A-7: se $IP \leq LL - 30$ será A-7-5; se $IP > LL - 30$ será A-7-6

Figura 47 - Classificação HRB.
Fonte: SOUZA, 1981.

5.2.3.2. Ensaio CBR - California Bearing Rating

O método de ensaio CBR consiste das seguintes etapas (Figura 48):

- no cilindro de CBR faz-se a compactação de cinco corpos de prova, cada um deles com teor de umidade crescente, sendo dois pontos com umidade abaixo da ótima, dois com umidade acima e um com umidade próxima à ótima. Em seguida, esses corpos de prova

são ensaiados à penetração de um pistão com 19,37cm² de área a uma velocidade de penetração de 0,12 cm/min, com energia de compactação correspondente a 10 golpes de soquete por camada, em 5 camadas.

- os corpos de prova devem ficar imersos por 4 dias antes do ensaio de penetração, tempo esse em que se mede a expansão.
- determina-se **então** o valor da pressão correspondente à penetração de 0,1" e de 0,2", obtendo-se o valor de CBR através das expressões:

$$\text{CBR}_1 = p_{0,1"} / 70,31 \quad (2)$$

$$\text{CBR}_2 = p_{0,2"} / 105,46 \quad (3)$$

- se $\text{CBR}_1 > \text{CBR}_2$, adota-se CBR_1 .
- se $\text{CBR}_2 > \text{CBR}_1$, repete-se o ensaio; na persistência adota-se CBR_2 .

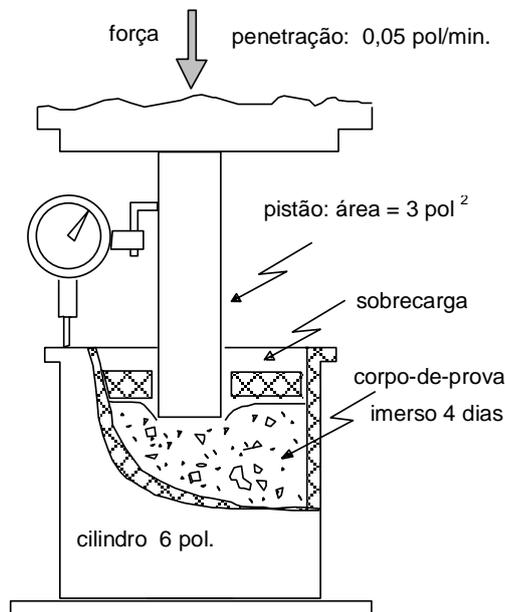


Figura 48 - Ensaio CBR.
Fonte: MARQUES, 2015.

Os valores de 70,31 e 105,46 são padronizados e obtidos no ensaio CBR com amostra de brita graduada, considerado material padrão. Com esses valores é possível traçar as curvas $\gamma_s \times h$ e $\gamma_s \times \text{CBR}$, para o solo ensaiado com energia de compactação correspondente a 10 golpes/camada.

Em seguida, repete-se o mesmo procedimento para energias correspondentes a 25 e 55 golpes. Monta-se um gráfico $\gamma_s \times h$, com curvas de mesmo CBR, obtendo-se assim os valores de densidade e umidade que proporcionem o CBR típico do solo ensaiado.

5.2.3.3. Método de Projeto de Pavimento Flexível do DNER

O método de projeto do pavimento atualmente em vigor no Brasil foi publicado pelo engenheiro Murillo Lopes de Souza, do DNER, em 1981 (SOUZA, 1981). O método foi desenvolvido com base no trabalho "Design of Flexible Pavements Considering Mixed Loads and Traffic Volume", da autoria de W.J. Turnbull, C.R. Foster e R.G. Ahlvin, do Corpo de Engenheiros do Exército dos E.E.U.U. e conclusões obtidas na Pista Experimental da AASHO (AASHO Road Test) construída na década de 1950 (Figuras 49 e 50).

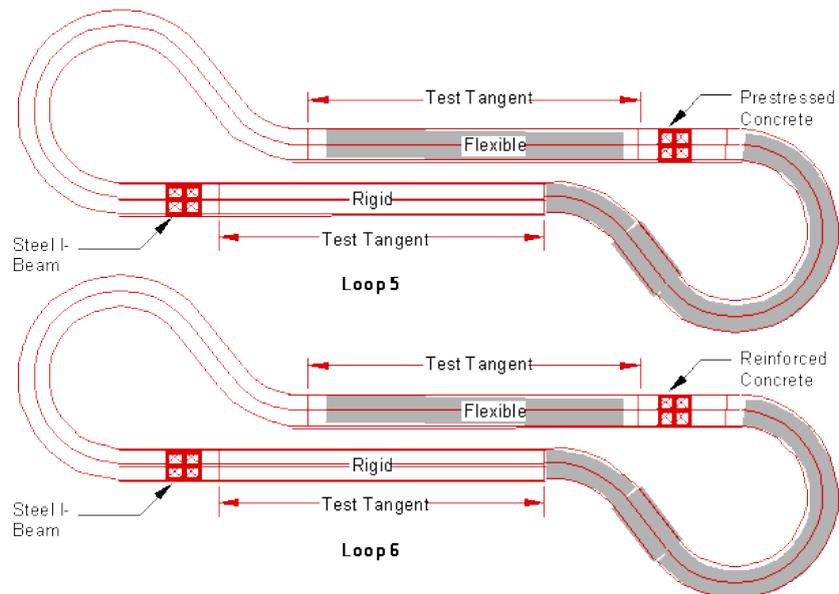


Figura 49 - Layout da pista experimental da AASHO (redesenhada pelo HRB em 1961).
Fonte: PAVEMENT INTERACTIVE, 2015.

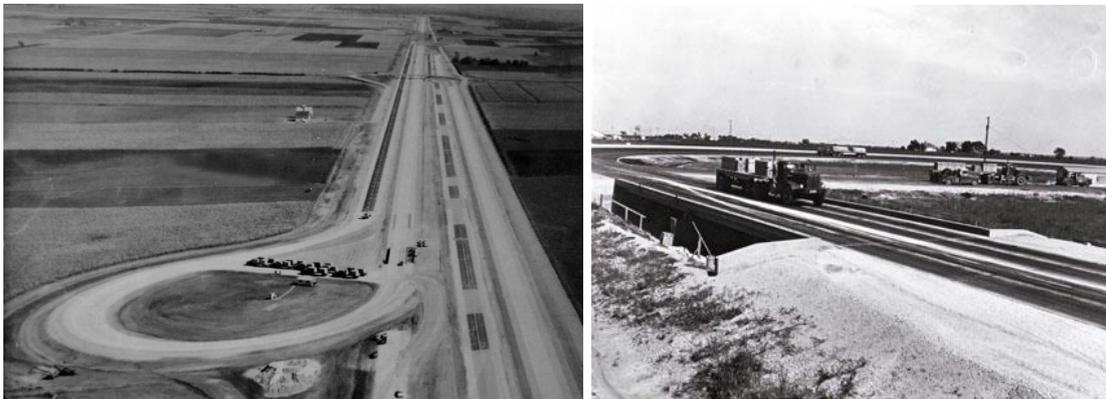


Figura 50 - Fotos da pista experimental da AASHO.
Fonte: FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION, 2015.

5.2.3.4. Capacidade de Suporte

A determinação da capacidade de suporte do subleito e dos materiais granulares constitutivos dos pavimentos é feita pelo CBR (California Bearing Rating), em corpos de prova indeformados ou moldados em laboratório, nas condições de massa específica e umidade especificadas para o serviço no campo e submetidos a imersão durante quatro dias. Quando necessário, em vez do CBR, pode-se usar um CBR corrigido em função do Índice de Grupo (IG), que é denominado Índice de Suporte (IS). O Índice de Suporte é dado por:

$$IS = \frac{IS_{CBR} + IS_{IG}}{2} \quad (4)$$

com a condição $IS < CBR$ e que $IS_{CBR} = CBR$

onde: CBR = valor CBR determinado no ensaio respectivo e nas condições descritas anteriormente.

IS_{IG} = um valor dado na **Tabela 13**.

Tabela 13 - Valores de IS_{IG} em função do índice de grupo, IG.

Índice de Grupo (IG)	IS_{IG}	Índice de Grupo (IG)	IS_{IG}	Índice de Grupo (IG)	IS_{IG}
0	20	4	12	9 a 10	6
1	18	5	10	11 a 12	5
2	15	7	8	13 a 14	4
3	13	8	7	15 a 17	3
6	9	18 a 20	2		

O subleito e as diferentes camadas do pavimento devem ser compactados e atender aos seguintes valores:

- os 20 cm superiores do subleito, a camada de melhoria de subleito e a sub-base devem apresentar grau de compactação $\geq 100\%$ em relação ao ensaio realizado na energia normal;
- a base deve ser compactada a 100%, no mínimo, da compactação obtido no ensaio na energia intermediária (ou até obter a densidade determinada na curva $\gamma_S \times h$, CBR).

5.2.3.5. Classificação dos Materiais Granulares

De maneira geral, os materiais componentes das camadas devem seguir a seguinte especificação:

a) Materiais para reforço do subleito

- IS ou CBR > que o subleito
- Expansão < 2%

b) Materiais para sub-base

- IS ou CBR > 20%
- IG = 0
- Expansão < 1% (medida com sobrecarga de 10lbs)

c) Materiais para base

- IS ou CBR > 80%
- Expansão < 0,5% (medida com sobrecarga de 10lbs)
- Limite de liquidez (LL) $\leq 25\%$
- Índice de plasticidade (IP) $\leq 6\%$

Caso o material apresente valores de LL > 25% e/ou o IP > 6%, pode ser empregado em base (satisfeitas as demais condições), desde que o equivalente de areia (EA) seja superior a 30%. Os materiais para base devem se enquadrar numa das faixas granulométricas da **Tabela 14**.

A fração que passa na #200 deve ser inferior a 2/3 da fração que passa na #40. A fração graúda deve apresentar um desgaste por abrasão Los Angeles inferior a 50%.

Tabela 14 - Faixas granulométricas para materiais de base.

Peneiras	Porcentagem em peso passando					
	A	B	C	D	E	F
2"	100	100	-	-	-	-
1"	-	75 - 90	100	100	100	100
3/8"	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-
Nº4	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100
Nº 10	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100
Nº 40	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70
Nº 200	2 - 8	5 - 15	5 - 15	5 - 20	6 - 20	8 - 25

5.2.3.6. Tráfego

O pavimento é dimensionado em função do número equivalente (N) de operações de um eixo tomado como padrão de 8,2 t, durante o período de projeto escolhido. Desse modo, deve-se definir o prazo de duração do pavimento, o tipo de veículos que vão transitar pela via e as cargas por eixo de cada tipo de veículo. Assim, define-se a quantidade de veículos que deverá transitar pela via, em termos médios.

$$V_p = V_o (1+pt) \quad (5)$$

onde: V_o = VDM (veículo diário médio) inicial em um sentido;

t = taxa média anual de crescimento de tráfego;

V_p = VDM num sentido, no fim do período p ;

p = número de anos de projeto.

O volume médio (V_m), durante o período de projeto será:

$$V_m = \frac{1}{2} (V_o + V_p) \quad (6)$$

O volume total de tráfego durante o período de projeto será:

$$V_t = 365.p.V_m \quad (7)$$

Conhecido V_t , calcula-se N, que é o número equivalente de operações do eixo simples padrão durante o período de projeto e o parâmetro de tráfego usado no dimensionamento.

$$N = V_t \times FE \times FC \quad (8)$$

$$FV = FE \times FC \quad (9)$$

$$N = V_t \times (FV) \quad (10)$$

Após a definição do número de veículos que irão trafegar pela via, determina-se o tipo de veículos que circulará no trecho, através de pesquisas de tráfego. Dessa forma, determina-se o Fator de Eixo (FE) que é a soma ponderada do número de eixos dos veículos e a sua % no tráfego total.

O FC, Fator de Carga, é o número de eixo padrão equivalente ao tráfego considerado, ou seja, através da pesquisa de tráfego, determinam-se as % de cargas por eixo simples e em tandem, multiplicando-se a % pelo Fator de Equivalência de Operações definido por ábacos do método (Figuras 51, 52 e 53).

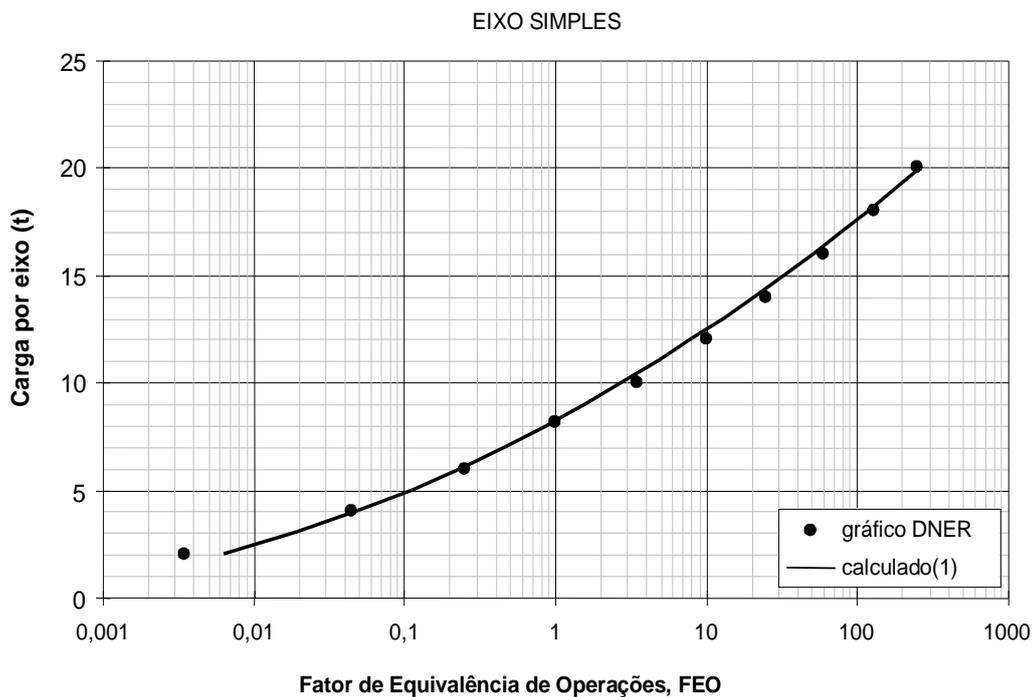


Figura 51 - Fator de equivalência de operações - Eixo simples
Fonte: adaptado de SOUZA, 1981.

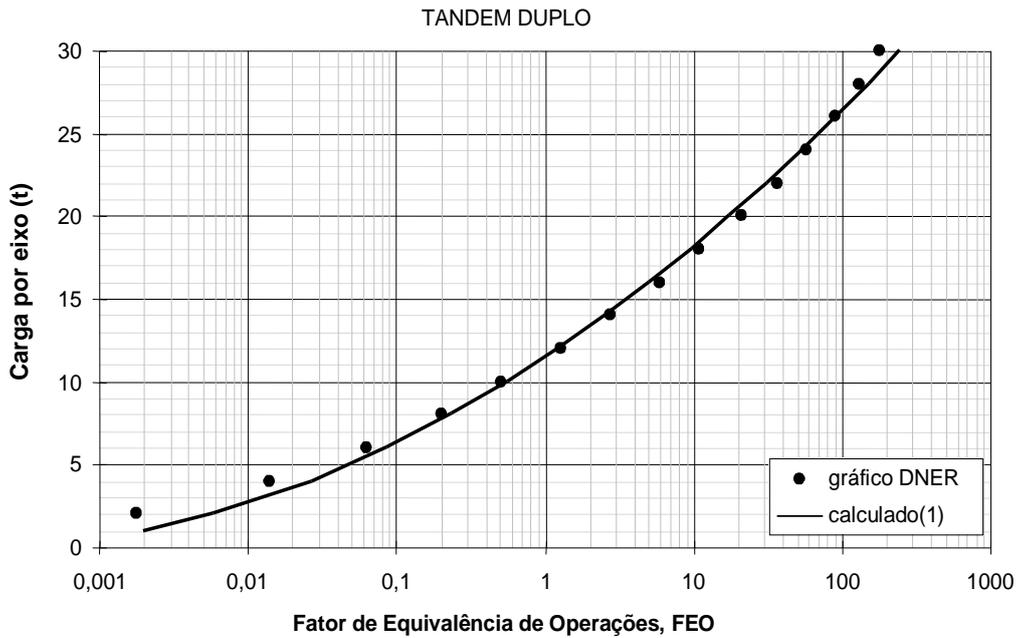


Figura 52 - Fator de equivalência de operações - Eixo tandem duplo.
Fonte: adaptado de SOUZA, 1981.

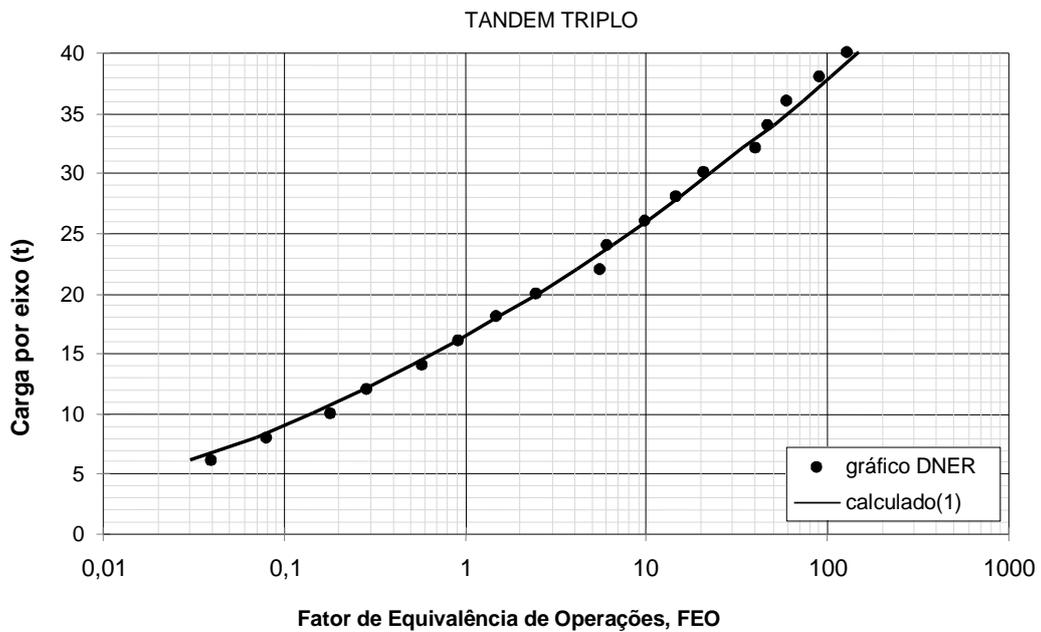


Figura 53 - Fator de equivalência de operações - Eixo tandem triplo.
Fonte: adaptado de SOUZA, 1981.

O número de operações do eixo padrão é dado por:

$$N = 365 \times p \times V_m \times FE \times FC \times FR \quad (11)$$

No Brasil, o FR, Fator Climático Regional, que é função da altura média anual de chuva, é 1,0.

A Tabela 15 apresenta os valores de coeficientes de equivalência estrutural k para outros tipos de materiais que podem ser empregados nas camadas do pavimento.

Tabela 15 - Coeficiente estrutural, k, para os diferentes tipos de materiais.

Componentes do Pavimento	Coeficiente k
Base ou revestimento de concreto asfáltico	2,00
Base ou revestimento de pré-misturado a quente, de graduação densa	1,70
Base ou revestimento de pré-misturado a frio, de graduação densa	1,40
Base ou revestimento por penetração	1,20
Base granular	1,00
Sub-base granular	0,80
Melhoria do subleito	0,70
Solo-cimento com $\sigma_{7\text{dias}} > 45 \text{ kgf/cm}^2$	1,70
Solo-cimento com $38 \text{ kgf/cm}^2 < \sigma_{7\text{dias}} < 45 \text{ kgf/cm}^2$	1,40
Solo-cimento com $\sigma_{7\text{dias}} < 38 \text{ kgf/cm}^2$	1,20

5.2.3.7. Espessura Mínima de Revestimento

A fixação da espessura mínima a adotar para os revestimentos asfálticos é utilizada tanto para proteger a camada de base dos esforços impostos pelo tráfego, como para evitar a ruptura do próprio revestimento por esforços repetidos de tração na flexão. A **Tabela 16** apresenta a espessura mínima do revestimento em função do tráfego que irá solicitar o pavimento.

Tabela 16 - Espessura mínima de revestimento em função do tráfego, N.

N	Espessura mínima de revestimento asfáltico
$N < 10^6$	Tratamentos superficiais
$10^6 < N \leq 5 \times 10^6$	Revestimento asfáltico com 5,0 cm de espessura
$5 \times 10^6 \leq N < 10^7$	Concreto asfáltico com 7,5 cm de espessura
$10^7 < N \leq 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 10,0 cm de espessura
$N > 5 \times 10^7$	Concreto asfáltico com 12,5 cm de espessura

5.2.3.8. Dimensionamento do Pavimento

O gráfico da **Figura 54** relaciona, para valores de CBR ou IS, valores de espessura com coeficiente de equivalência estrutural $k = 1$, com número de operações do eixo padrão. Desse modo, sabendo-se o valor de N e o valor de CBR correspondente, determina-se a espessura da camada.

A espessura mínima a considerar para camadas granulares é 15 cm. A espessura H_m é a espessura total necessária para um material com CBR ou IS = m; h_n é a espessura da camada do pavimento com CBR ou IS = n etc.

Mesmo que o CBR (IS) do material da sub-base seja superior a 20, determina-se a espessura para CBR (IS) = 20. Por essa razão, usam-se sempre os símbolos H_{20} e h_{20} para designar as

espessuras de pavimento sobre a sub-base e da sub-base, respectivamente. Os símbolos B e R designam, respectivamente, as espessuras da base e do revestimento (Figura 55).

Os coeficientes estruturais são designados por:

Revestimento	k_R
Base	k_B
Sub-base	k_S
Reforço do subleito	k_{Ref}

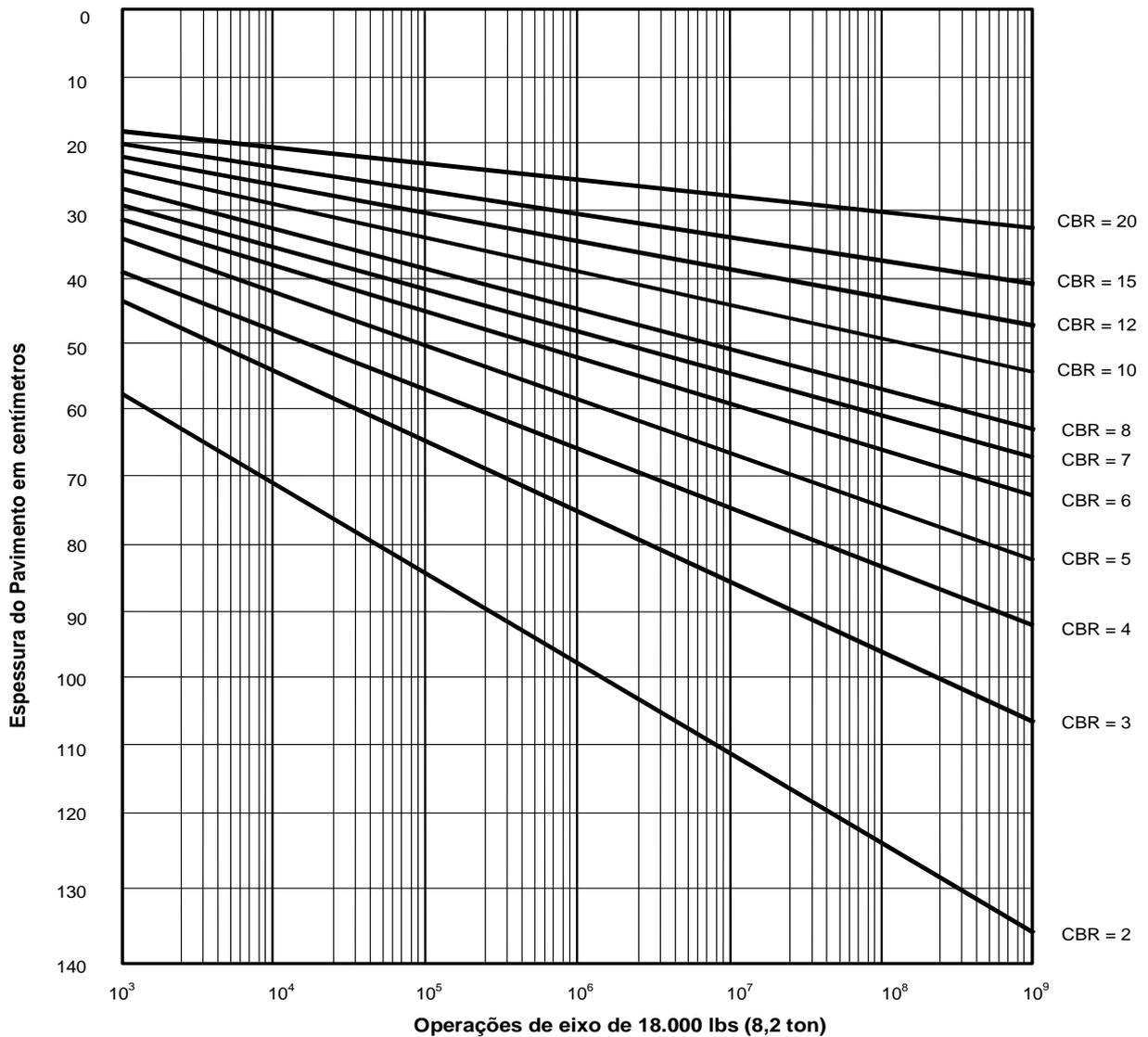


Figura 54 - Gráfico de determinação da espessura do pavimento
Fonte: adaptado de SOUZA, 1981.

Uma vez determinadas as espessuras H_m , H_n e H_{20} pelo gráfico da Figura 50 e R pela tabela de espessura mínima de revestimento asfáltico (Tabela 15), as espessuras da base (B), sub-base (h_{20}) e reforço do subleito (h_n) são obtidas pela resolução sucessiva das seguintes equações:

$$Rk_R + Bk_B > H_{20} \quad (12)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S > H_n \quad (13)$$

$$Rk_R + Bk_B + h_{20}k_S + h_n k_{Ref} > H_m \quad (14)$$

Para sub-base com $CBR \geq 40$ e $N > 10^6$, admite-se substituir na equação (12), H_{20} por $0,8 \times H_{20}$.

Para $N > 10^7$, recomenda-se substituir, na equação (12), H_{20} por $1,2 \times H_{20}$.

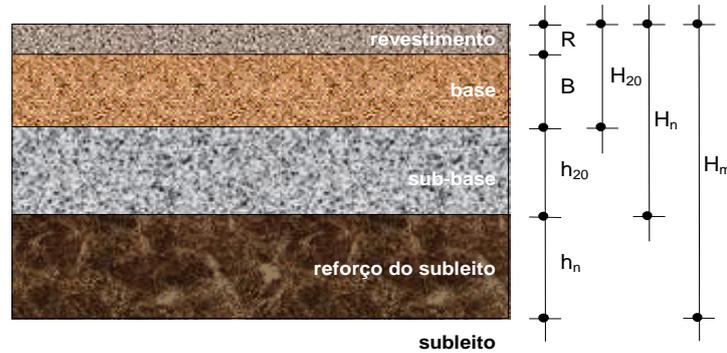


Figura 55 - Esquema da estrutura do pavimento.

5.3. Dosagem de Misturas Asfálticas

Mistura asfáltica, também chamada de mistura betuminosa ou de concreto asfáltico e até de massa asfáltica, geralmente é utilizada na camada superficial de pavimentos rodoviários e aeroportuários.

A mistura asfáltica a quente é composta principalmente de agregados e de ligante asfáltico, misturados em usina apropriada, aplicados e compactados a quente. Os agregados normalmente representam 95% da mistura em peso, enquanto o ligante asfáltico os restantes 5%. Em termos de volume, uma mistura asfáltica típica é composta por cerca de 85% de agregados, 10% ligante asfáltico, e 5% de vazios de ar. Podem ser adicionados aditivos à mistura asfáltica para melhorar seu desempenho, como fibras, polímeros, borracha, melhoradores de adesividade etc. (ODA, 2014). A Figura 56 mostra um corpo de prova típico de concreto asfáltico moldado em laboratório e os materiais utilizados para produzi-lo.



Figura 56 - Materiais (agregados e ligante asfáltico) e corpo de prova moldado em laboratório. Fonte NCHRP, 2011.

Segundo o NCHRP (2011), uma mistura asfáltica quando aplicada em camada superficial do pavimento (revestimento ou capa) deve apresentar as seguintes propriedades:

- Resistência à deformação permanente (em temperaturas elevadas): a mistura não deve deformar ou ser deslocada quando submetidos às cargas de tráfego;
- Resistência à fadiga: a mistura não deve trincar quando submetida a cargas repetidas de tráfego num determinado período de tempo;
- Resistência às trincas térmicas (a baixa temperatura): a mistura não deve trincar quando submetida a temperaturas baixas; esta propriedade é mais comum em regiões de clima frio;
- Durabilidade: a mistura deve conter cimento asfáltico suficiente para garantir uma adequada espessura da película asfáltica em torno das partículas de agregados. Além disso, a mistura compactada não deve ter vazios muito elevados, pois isso acelera o processo de envelhecimento;
- Resistência à umidade por dano induzido;
- Resistência à derrapagem;
- Trabalhabilidade: a mistura deve apresentar facilidade de ser aplicada e compactada;
- Baixo ruído e boas propriedades de drenagem.

Para produzir misturas asfálticas que atendam a essas propriedades, é fundamental utilizar um método de dosagem que possibilite a seleção e avaliação de materiais (individualmente e também da mistura de materiais), assim como a definição das proporções de cada material.

O projeto de dosagem tem como objetivo determinar a combinação de agregados minerais e material asfáltico (**Figura 57**) de forma a produzir uma mistura asfáltica para ser aplicada em camadas de pavimentos flexíveis com as seguintes características (ASPHALT INSTITUTE, 2011):

- Teor de ligante asfáltico adequado para garantir a durabilidade do pavimento;
- Estabilidade da mistura para atender às solicitações de tráfego sem se deformar;
- Quantidade de vazios suficiente na mistura compactada para que a compactação final seja executada pelas cargas de tráfego e também pelo aumento de temperatura do pavimento, mas sem ocorrer exsudação ou perda de estabilidade;
- Um volume máximo de vazios para evitar a “infiltração” de ar e de umidade na mistura;
- Trabalhabilidade suficiente para permitir aplicação adequada da mistura, sem que ocorra segregação ou perda de estabilidade e de qualidade;
- Para misturas das camadas superficiais, textura do agregado adequada para que o pavimento apresente atrito (resistência à derrapagem) suficiente em condições climáticas desfavoráveis.



Figura 57 - Exemplo de materiais utilizados em uma mistura asfáltica.

O desempenho do pavimento está relacionado com as seguintes propriedades: durabilidade, impermeabilidade, estabilidade, rigidez, flexibilidade, resistência à fadiga e trabalhabilidade.

O objetivo final do projeto de dosagem é selecionar um único teor de ligante asfáltico que permita atingir um equilíbrio entre todas as propriedades desejadas. Infelizmente, não existe um teor de ligante asfáltico único que irá maximizar todas estas propriedades. Em vez disso, um teor de ligante asfáltico é selecionado com a finalidade de otimizar as propriedades necessárias para atender às condições exigidas. Além disso, uma vez que as propriedades fundamentais de desempenho não são medidas diretamente em um projeto de dosagem, o teor de ligante asfáltico é selecionado com base em um parâmetro de medida que melhor represente todos esses “desejos”. Após vários estudos, o volume de vazios foi definido como esse parâmetro. A faixa mais utilizada varia de 3 a 5% de vazios. Dentro dessa faixa, 4% de vazios foi considerado o “melhor” valor, pois geralmente as misturas com essa quantidade de vazios apresentam as propriedades de desempenho desejadas (ASPHALT INSTITUTE, 2011). No entanto, vale lembrar que é importante a caracterização e definição da quantidade de materiais para que se tenha uma boa mistura.

Para atingir esse objetivo foram desenvolvidos procedimentos laboratoriais para estabelecer a proporção dos materiais necessários para a mistura asfáltica. Esses procedimentos incluem a determinação de uma combinação de diversos agregados para produzir uma mistura adequada de agregados minerais, e a seleção do tipo e quantidade de ligante asfáltico para produzir uma mistura asfáltica que atenda à faixa granulométrica selecionada e que apresente bom desempenho, sob diferentes condições de carregamento e variações ambientais, durante toda sua vida em serviço (ASPHALT INSTITUTE, 2011).

Na dosagem de uma mistura asfáltica, o conhecimento dos materiais, através da sua caracterização e avaliação, é fundamental para que se possa determinar a combinação de materiais (agregado e material asfáltico) e obter uma mistura que garanta um bom desempenho do pavimento. Muitos insucessos ocorrem em função de uma dosagem inadequada, em decorrência da falta de conhecimento das características dos materiais e das propriedades das misturas.

Na maioria dos casos, o “projeto” de dosagem da mistura se resume na definição do teor de projeto (“ótimo”) de ligante asfáltico, considerando a granulometria dos agregados disponíveis que atenda à faixa granulométrica selecionada, ou seja, não se faz um estudo do comportamento da mistura asfáltica na estrutura do pavimento.

5.3.1. Seleção da Granulometria

O objetivo da seleção da faixa granulométrica é a determinação das porcentagens de cada material, de forma que a mistura desses agregados proporcione uma curva granulométrica que atenda à faixa especificada, incluindo as tolerâncias e considerando que os materiais, individualmente, não satisfazem à especificação da mistura selecionada.

A seleção da composição da mistura de agregados deve ser feita aplicando um dos diversos métodos analíticos ou gráficos existentes: método das tentativas, método Ruthfucs ou método Bailey, sendo que o mais usual é o método das tentativas.

5.3.1.1. Método das Tentativas

Este método consiste em determinar, por meio de tentativa, as proporções (a quantidade) de cada material de forma que a combinação dos materiais atenda aos limites da especificação selecionada, de acordo com a seguinte equação:

$$P = P_A.a + P_B.b + P_C.c + \dots \quad (13)$$

onde:

P = % total de materiais que passam em uma dada peneira da combinação de agregados A, B, C, ...

P_A, P_B, P_C, \dots = % de material que passa em uma dada peneira de agregados A, B, C, ...

a, b, c, \dots = proporções de agregados A, B, C, ..., usados na combinação, de forma que o total seja 100%.

5.3.1.2. Método Ruthfucs

Dentre os métodos gráficos, o mais usado é o de Ruthfucs, por sua eficiência e praticidade (**Figura 58**). O método Ruthfucs tem como objetivo determinar graficamente as proporções que devem ser adicionadas de cada material para a obtenção de uma mistura granulométrica que se enquadre na faixa especificada.

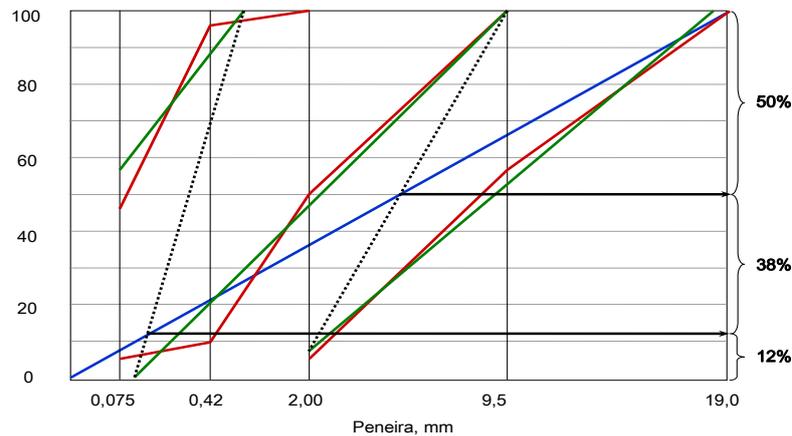


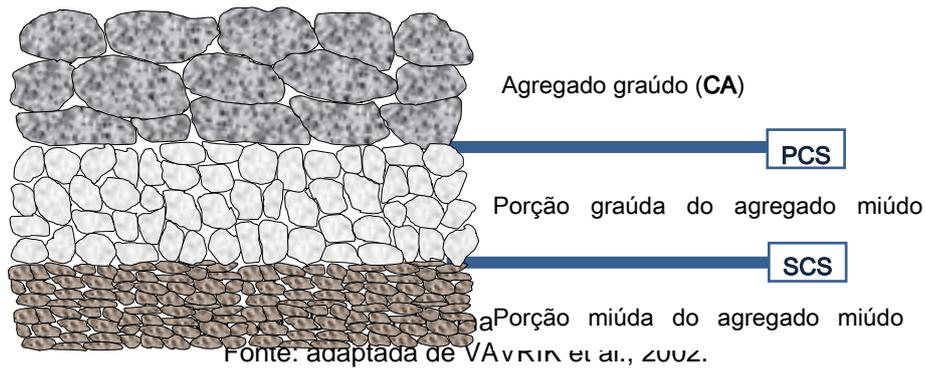
Figura 58 - Exemplo do método Ruthfucs.
Fonte: ODA, 2014.

5.3.1.3. Método Bailey

O Método Bailey é uma forma de seleção granulométrica que auxilia na escolha da composição dos agregados com o objetivo de obter uma mistura com esqueleto mineral que apresente um maior intertravamento dos agregados graúdos e pode ser usado com qualquer metodologia de dosagem (SUPERPAVE ou MARSHALL). O método está diretamente ligado às características de compactação da mistura, com os vazios no agregado mineral (VAM) e com o volume de vazios da mistura compactada (V_v ou V_a , vazios com ar) (CUNHA, 2004).

Para analisar o intertravamento dos agregados é necessário obter as massas específicas, solta e compactada de cada agregado, através de ensaios constantes na AASHTO T 19-09. Com a distribuição granulométrica dos agregados e as massas específicas, solta e compactada, avalia-se a granulometria escolhida encaixando-a num esqueleto “ideal”, assegurando, dessa forma, a resistência à deformação permanente pelo intertravamento dos agregados graúdos e a durabilidade pelo teor de ligante adequado devido à obtenção de uma adequada distribuição de vazios.

Para avaliação da estrutura de agregados são determinados os seguintes parâmetros da mistura de agregados: proporção de agregados graúdos (proporção CA), proporção graúda dos agregados finos (proporção FAc) e proporção fina dos agregados finos (proporção FAF) (Figura 59). Esses parâmetros são determinados considerando as peneiras de controle adotadas pelo método (VAVRIK et al., 2002).



5.3.2. Seleção do Teor de Asfalto

A determinação do teor de projeto de ligante asfáltico varia de acordo com o método de dosagem, e é função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura, entre outros. O procedimento de dosagem de misturas asfálticas mais usado mundialmente é o método MARSHALL, desenvolvido pelo engenheiro Bruce Marshall na década de 1940 e sua principal característica é a compactação por impacto.

Durante a década de 1980, várias rodovias norte-americanas de tráfego pesado passaram a evidenciar deformações permanentes prematuras, que foram atribuídas ao excesso de ligante nas misturas. Muitos engenheiros acreditavam que a compactação por impacto das misturas durante a dosagem produzia corpos de prova com densidades que não representavam as do pavimento em campo. Para tentar solucionar esse problema, foram desenvolvidos vários estudos dentro do SHRP, Strategic Highway Research Program, programa de pesquisa realizado nos Estados Unidos sobre materiais asfálticos, mas que também resultou em um novo procedimento de dosagem de misturas asfálticas denominado SUPERPAVE, em que a compactação é feita por amassamento.

5.3.2.1. Método Marshall

O método de dosagem Marshall de misturas asfálticas ainda é um dos mais utilizados no mundo. Foi concebido pelo engenheiro Bruce Marshall (Mississippi State Highway Department) e tinha como objetivo definir as proporções de agregados e de ligante de uma mistura asfáltica.

Em 1943, durante a 2ª Guerra Mundial, o USACE, United States of American Corps of Engineering, iniciou um estudo para desenvolver um equipamento portátil para moldagem de corpos de prova de misturas asfálticas que representasse as cargas de roda e pressão de pneus das aeronaves militares. Originalmente a compactação Marshall utilizava um esforço de 25 golpes com o soquete Proctor, seguido de aplicação de uma carga estática de 2.268 kgf durante dois minutos.

Várias misturas foram avaliadas em laboratório e aplicadas em campo. No entanto, após a construção de alguns trechos pôde-se verificar que o teor de ligante escolhido era muito elevado, pois as seções construídas apresentaram exsudação com o decorrer do tempo devido à compactação que o tráfego causava, indicando que o esforço de compactação então empregado em laboratório era leve, não representando a exercida em campo.

Com o aumento da pressão de pneus e, por conseguinte, o aumento da pressão de contato, foi necessário desenvolver um método de dosagem das misturas asfálticas mais eficiente e que tornasse as misturas mais resistentes a maiores solicitações de carga. Por esses motivos, o USACE iniciou novos estudos para identificar o esforço de compactação que representasse a compactação em campo, possibilitando a escolha de um teor de ligante adequado. Com isso, foram avaliadas diversas misturas com diferentes esforços de compactação na tentativa de produzir em laboratório as densidades similares àquelas obtidas em campo, onde foram empregados vários tipos de soquetes, diferentes números de golpes por face e cargas de compressão estática e diversos tipos de sapatas dos soquetes em tamanho e forma e diferentes moldes quanto à forma e materiais. Como resultados desses estudos foram adotados peso de 4,54 kgf, 50 golpes e diâmetro de 100 mm (**Figura 60**, NHCRP, 2011). No entanto, no Brasil, a norma DNER-ME 43/95 recomenda que sejam aplicados 50 golpes para pressão de pneu até 7 kgf/cm² e 75 golpes para a pressão de 7 kgf/cm² a 14 kgf/cm².

Para determinar o teor de projeto das misturas asfálticas através da metodologia Marshall, devem ser seguidas as normas DNER-ME 43/95, ASTM D6926, ASTM D6927 e ABNT NBR 15785.



Figura 60 - Compactador Marshall.
Fonte: NHCRP, 2011.

Os parâmetros considerados na metodologia Marshall para determinar o teor de projeto (“teor ótimo”) de ligante asfáltico são (**Figura 61**):

- **Estabilidade:** é a carga (kgf) sob a qual o corpo de prova rompe quando submetido à compressão diametral, ou seja, é resistência máxima do corpo de prova à compressão diametral semiconfinada;
- **Fluência:** deformação total apresentada pelo corpo de prova de mistura asfáltica, desde a aplicação da carga inicial nula até a aplicação da carga máxima, expressa em décimos de milímetros ou centésimos de polegada.

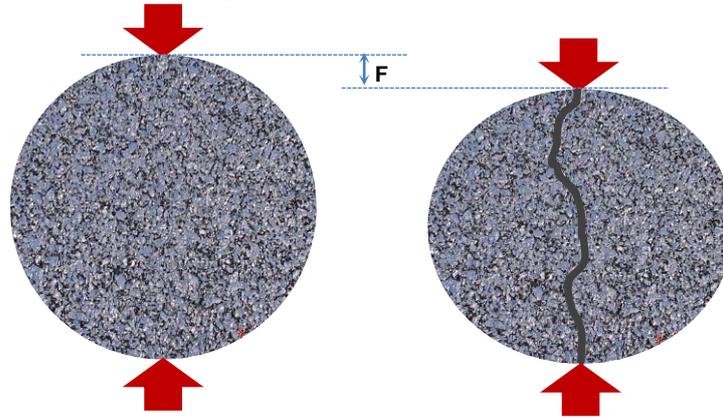


Figura 61 - Ensaio para determinar a estabilidade e fluência do corpo de prova.
Fonte: NHCPR, 2011.

De forma geral, a dosagem Marshall tem como objetivo definir as proporções de agregados e de ligante de uma mistura asfáltica que apresente as seguintes características:

- densidade máxima possível, para garantir máxima estabilidade;
- fluência entre determinados limites, para garantir flexibilidade;
- volume de vazios entre determinados limites para garantir que não ocorra oxidação da massa asfáltica pela ação da água e/ou ar, e que também não ocorra exsudação;
- relação betume vazios entre determinados limites, para garantir que exista ligante asfáltico suficiente e que não ocorra exsudação.

5.3.2.2. Método Superpave

De 1985 até 1993, a FHWA (Federal Highway Administration) financiou um programa de pesquisa denominado SHRP, Strategic Highway Research Program, no qual foram investidos cerca de US\$ 150 milhões. **Esse programa, desenvolvido** por uma parceria entre algumas universidades americanas e órgãos governamentais e o produto final do SHRP, denominado SUPERPAVE™ (SUPERior PERFORMANCE Asphalt PAVEMENTS), é composto por um novo sistema de especificação e seleção de materiais, assim como de um novo método de projeto de misturas asfálticas.

Inicialmente, o Superpave tinha como objetivo principal desenvolver ensaios de laboratório “mais complexos” que simulassem o comportamento de materiais e misturas asfálticas submetidas às solicitações de tráfego mais pesado e, conseqüentemente, novas

especificações para esse tipo de tráfego. O sistema Superpave é o único que se baseia no grau de desempenho (PG - Performance Grade) do material para especificação do ligante, sob as condições climáticas e de tráfego específicas. O desempenho é apresentado por dois valores, o grau de alta e de baixa temperatura. Além disso, devem ser feitas considerações adicionais em relação ao tráfego, como volume e tempo de aplicação de carga, selecionando um ligante com PG superior ao especificado (ASPHALT INSTITUTE, 2011).

Na pesquisa realizada pelo SHRP, várias mudanças foram realizadas no método de dosagem de misturas asfálticas. Foi proposta uma metodologia que consiste basicamente em estimar um teor provável de projeto através da fixação do volume de vazios e do conhecimento da granulometria dos agregados disponíveis. A principal diferença entre os métodos Superpave e Marshall é a forma de compactação. Enquanto na dosagem Marshall a compactação é feita por impacto (golpes), na Superpave é realizada por amassamento (giros) (**Figura 62**), empregando um compactador giratório. Além disso, o método Superpave considera como parâmetros para definição do teor de projeto (teor ótimo) alguns ensaios dinâmicos, assim como a análise dos materiais, empregando ensaios específicos.

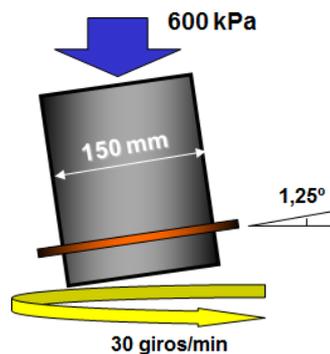


Figura 62 - Esquema de compactação por amassamento utilizando um compactador giratório.
Fonte: NCHRP, 2011.

Outra mudança que foi introduzida no método SUPERPAVE é a forma de escolha da granulometria da mistura de agregados. O método SUPERPAVE incluiu os conceitos de pontos de controle. Teoricamente, a melhor composição da mistura de agregados é aquela com a graduação mais densa. No entanto, a graduação com maior densidade acarreta uma estabilidade elevada em função do maior contato entre as partículas e, conseqüentemente, menor volume de vazios no agregado mineral, VMA. Para a incorporação do ligante asfáltico é necessária a existência de um espaço de vazios entre as partículas para garantir durabilidade e ainda permitir algum volume de vazios na mistura para evitar exsudação. Considerando essa teoria, vários pesquisadores propuseram faixas granulométricas para a densidade máxima.

A granulometria de densidade máxima é uma linha reta que parte da origem e vai até o ponto do tamanho máximo do agregado. Uma mistura com granulometria muito próxima a esta linha

não permite a incorporação de um volume adequado de ligante asfáltico. Para evitar esse problema, nas especificações SUPERPAVE foram acrescentados os pontos de controle que funcionam como pontos mestres por onde a curva granulométrica deve passar. Os pontos de controle foram estabelecidos nas seguintes peneiras: um na peneira de tamanho máximo nominal, um na peneira de tamanho intermediário (2,36 mm) e um na peneira dos finos (0,075 mm). A peneira de tamanho máximo nominal (NMA) é a peneira de tamanho imediatamente acima da primeira peneira que reter mais de 10% da mistura de agregados.

Outra diferença entre as metodologias é quanto ao tamanho do molde a ser utilizado. Enquanto na metodologia Marshall é usado apenas o molde de 100,0 mm de diâmetro, na Superpave podem ser utilizados os moldes de 100,0 mm ou 150,0 mm de diâmetro (**Figura 63**), sendo exigido o molde de 150,0 mm para realizar a dosagem das misturas asfálticas. No entanto, vale ressaltar que a adequação dos dois tamanhos de molde é limitada a misturas com tamanho máximo de agregado de 25,0 mm.



Figura 63 - Corpos de prova de 150 e de 100 mm de diâmetro moldados com compactador giratório. Fonte: NCHRP, 2011.

O método Superpave define três níveis de projeto de mistura (**Tabela 17**) em função do tráfego (número N) da rodovia, sendo que os valores de N estabelecidos como limites entre os diferentes níveis são 10^6 e 10^7 .

Tabela 17 - Níveis de projeto em função do tráfego.

Tráfego	Nível de Projeto	Testes Requeridos
ESALs* $\leq 10^6$	1	Projeto volumétrico
$10^6 \leq$ ESALs $\leq 10^7$	2	Projeto volumétrico + ensaios de previsão de desempenho realizados em uma temperatura
ESALs $\geq 10^7$	3	Projeto volumétrico + ensaios de previsão de desempenho realizados em 3 temperaturas

* Equivalent Single Axle Load (ESAL) of 18,000 lb (80 kN), conhecido como número "N" = número de solicitações equivalentes de uma solicitação padrão (eixo simples, rodas duplas, de 8,2 tf).

No Nível 1, o projeto de mistura é composto apenas pelo projeto volumétrico. Nos Níveis 2 e 3, além do projeto volumétrico, devem ser realizados ensaios baseados em desempenho, de

forma que a mistura selecionada seja avaliada quanto à resistência à formação de deformação permanente, trincas por fadiga e trincamento à baixa temperatura, em 1 ou 3 temperaturas, respectivamente.

A dosagem Superpave de misturas asfálticas é baseada nas seguintes especificações: AASHTO M 323 e AASHTO R 35.

Vale ressaltar que é fundamental a aplicação das temperaturas adequadas para a produção, aplicação e compactação da massa asfáltica (de misturas a quente) para que o pavimento seja executado da melhor forma possível, atendendo às especificações e às solicitações de tráfego durante toda sua vida útil. A propriedade utilizada para caracterizar o comportamento dos ligantes asfálticos a altas temperaturas é a viscosidade, definida como a relação entre a tensão de cisalhamento aplicada e a taxa de deformação obtida.

Antes de ser aplicada em uma camada do pavimento e solicitada pelas cargas de tráfego, a “massa asfáltica” é submetida às etapas de mistura (normalmente em usina), lançamento e compactação. Nessas etapas, o ligante asfáltico deve apresentar o comportamento de um fluido, facilitando sua mistura com os agregados minerais e aumentando a eficiência da compactação.

No caso de misturas com ligantes asfálticos não modificados, os intervalos das temperaturas adequadas para a mistura na usina e a compactação no campo devem ser determinados através dos resultados de ensaios de viscosidade do ligante asfáltico. Os valores recomendados a partir do ensaio executado com equipamento Saybolt-Furol (ABNT NBR 14491) são aqueles correspondentes à viscosidade de 75 a 95 sSF para mistura e de 125 a 155 sSF para compactação e de 170 ± 20 cP para a mistura e de 280 ± 30 cP para a compactação quando executado ensaio com equipamento Brookfield (ABNT NBR 15184).

6. EXECUÇÃO DAS CAMADAS DO PAVIMENTO ASFÁLTICO

A **execução** das camadas do pavimento deve sempre atender às recomendações técnicas do órgão responsável pela obra. Para isso, após a definição da estrutura do pavimento que será executado, é necessário fazer análise de todas as normas e especificações de serviço correspondentes aos diferentes tipos de materiais que serão aplicados na construção do pavimento.

É importante que, junto com o projeto, sejam fornecidas as informações de todos os materiais que serão utilizados na construção das camadas do pavimento, assim como do material do subleito. A **Figura 64** mostra todas as informações necessárias que devem ser obtidas antes e durante a execução das camadas do pavimento.

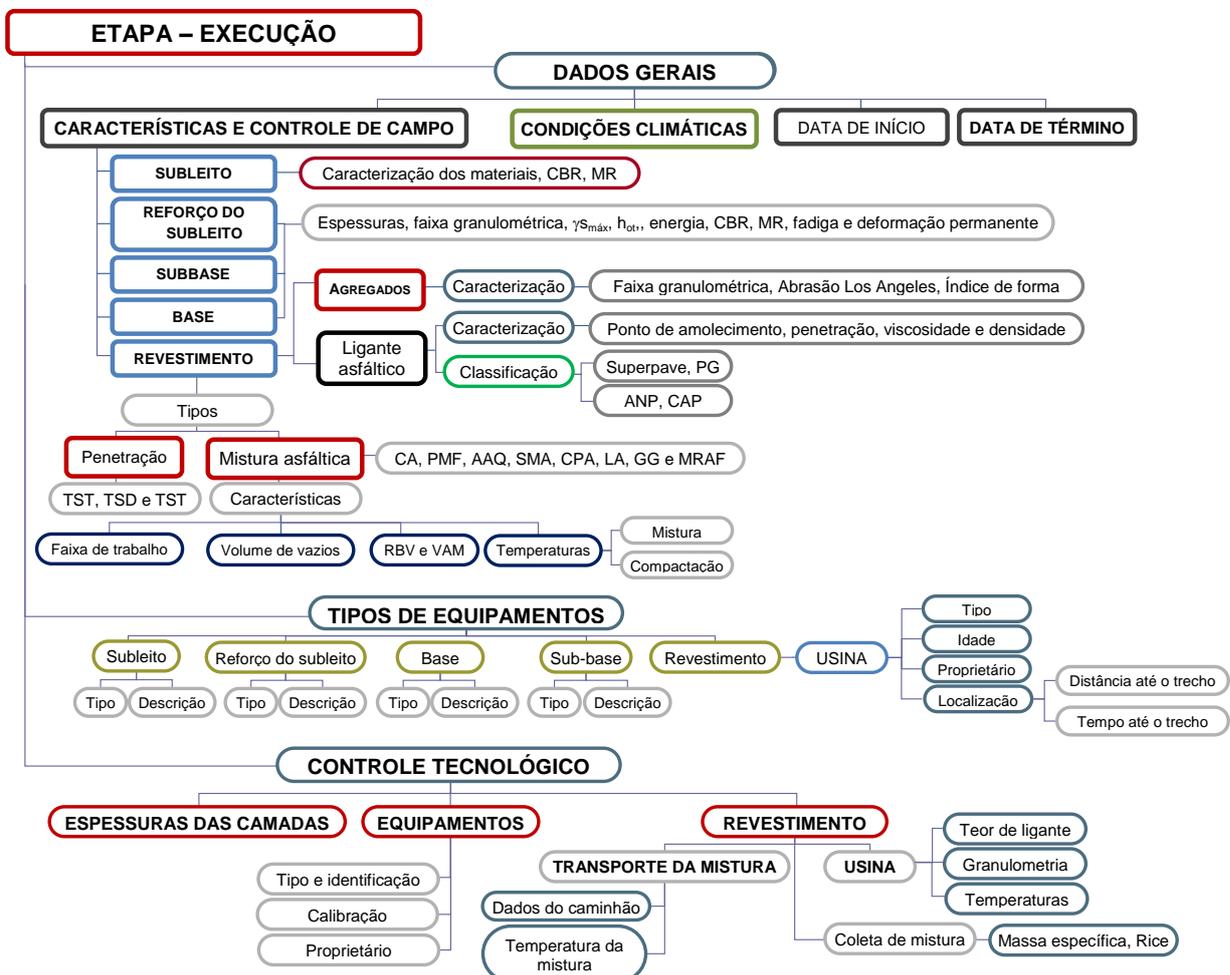


Figura 64 - Atividades que devem ser realizadas durante a etapa de execução do pavimento.

Antes de iniciar a construção também é muito importante verificar a disponibilidade e as condições dos equipamentos necessários para produção, transporte, espalhamento e compactação dos materiais.

6.1. EXECUÇÃO da Imprimação com Ligante Asfáltico

Para execução da imprimação com ligante asfáltico devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 144/2014-ES.

6.1.1. Condições Gerais

O ligante asfáltico não deve ser distribuído quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, ou em dias de chuva, ou quando a superfície a ser imprimada apresentar qualquer sinal de excesso de umidade.

Todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela norma, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar dez dias. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

6.1.2. Condições Específicas

6.1.2.1. Material

O ligante asfáltico empregado na imprimação pode ser o asfalto diluído CM-30, em conformidade com a norma DNER - EM 363/97, ou a emulsão asfáltica do tipo EAI, em conformidade com a norma DNIT 165/2013 - EM.

A taxa de aplicação "T" é aquela que pode ser absorvida pela base em 24 horas, devendo ser determinada experimentalmente na obra. As taxas de aplicação do asfalto diluído usuais são da ordem de 0,8 a 1,6 l/m² e da emulsão asfáltica da ordem de 0,9 a 1,7 l/m², conforme o tipo e a textura da base.

6.1.2.2. Equipamentos

- a) Para a varredura da superfície da base usam-se vassouras mecânicas rotativas, podendo, entretanto, a operação ser executada manualmente. O jato de ar comprimido também pode ser usado.
- b) A distribuição do ligante deve ser feita por carros equipados com bomba reguladora de pressão e sistema completo de aquecimento que permitam a aplicação do ligante asfáltico em quantidade uniforme.

- c) Os carros distribuidores de ligante asfáltico devem ser providos de dispositivos de aquecimento, dispondo de tacômetro, calibradores e termômetros com precisão de 1°C, instalados em locais de fácil observação e, ainda, possuir espargidor manual, para tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena, com dispositivo de ajustamento vertical e larguras variáveis de espalhamento uniforme do ligante asfáltico.
- d) O depósito de material asfáltico, quando necessário, deve ser equipado com dispositivo que permita o aquecimento adequado e uniforme do conteúdo do recipiente. O depósito deve ter capacidade para armazenar a quantidade de ligante asfáltico a ser aplicada em, pelo menos, um dia de trabalho.

6.1.2.3. Execução

- a) Antes da execução dos serviços, deve ser implantada a adequada sinalização, visando à segurança do tráfego no segmento rodoviário, e efetuada sua manutenção permanente durante a execução dos serviços.
- b) Após a perfeita conformação geométrica da base, proceder à varredura da superfície, de modo a eliminar todo e qualquer material solto.
- c) Antes da aplicação do ligante asfáltico, a pista pode ser levemente umedecida.
- d) Aplica-se, a seguir, o ligante asfáltico na quantidade recomendada e de maneira uniforme. A tolerância admitida para a taxa de aplicação do ligante asfáltico definida pelo projeto e ajustada experimentalmente no campo é de $\pm 0,2 \text{ l/m}^2$.
- e) Deve-se imprimir a largura total da pista em um mesmo turno de trabalho e deixá-la, sempre que possível, fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, trabalha-se em uma faixa de tráfego e executa-se a imprimação da faixa de tráfego adjacente assim que a primeira for liberada ao tráfego. O tempo de exposição da base imprimada ao tráfego, depois da efetiva cura, deve ser condicionado ao seu comportamento, não devendo ultrapassar 30 dias.
- f) A fim de evitar a superposição ou excesso nos pontos iniciais e finais das aplicações, devem ser colocadas faixas de papel transversalmente na pista, de modo que o início e o término da aplicação do ligante asfáltico situem-se sobre essas faixas, as quais devem ser, a seguir, retiradas. Qualquer falha na aplicação do ligante asfáltico deve ser imediatamente corrigida.

6.1.3. Controle Tecnológico de Materiais

Os materiais utilizados na execução da imprimação devem ser rotineiramente examinados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada pelo DNIT e satisfazer às especificações em vigor, mediante a execução dos seguintes procedimentos.

6.1.3.1. Asfalto diluído

Para todo carregamento que chegar à obra:

- 1 ensaio de viscosidade cinemática a 60°C (ABNT NBR 14756);
- 1 ensaio do ponto de fulgor e combustão (vaso aberto TAG) (ABNT NBR 5765).

Para cada 100 t:

- 1 ensaio de viscosidade Saybolt Furol (ABNT NBR 14491), no mínimo em 3 temperaturas, para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura;
- 1 ensaio de destilação para os asfaltos diluídos (ABNT NBR 14856), para verificação da quantidade de resíduo.

6.1.3.2. Emulsão asfáltica do tipo EAI

Para todo carregamento que chegar à obra:

- 1 ensaio de viscosidade Saybolt Furol (ABNT NBR 14491) a 25°C;
- 1 ensaio de resíduo por evaporação (ABNT NBR 14376);
- 1 ensaio de peneiração (ABNT NBR 14393);
- 1 determinação da carga da partícula (DNIT 156/2011-ME).

Para cada 100 t:

- 1 ensaio de sedimentação para emulsões (ABNT NBR 6570);
- 1 ensaio de viscosidade Saybolt Furol (ABNT NBR 14491), no mínimo em 3 temperaturas, para o estabelecimento da relação viscosidade x temperatura.

6.1.4. Controle Tecnológico da Execução

6.1.4.1. Temperatura

A temperatura do ligante asfáltico deve ser medida no caminhão distribuidor imediatamente antes de qualquer aplicação, a fim de verificar se satisfaz ao intervalo de temperatura definido pela relação viscosidade x temperatura.

6.1.4.2. Taxa de Aplicação (T)

O controle da quantidade do ligante asfáltico aplicado deve ser efetuado aleatoriamente, mediante a colocação de bandejas, de massa (P1) e área (A) conhecidas, na pista onde está sendo feita a aplicação. O ligante asfáltico é coletado na bandeja na passagem do carro distribuidor.

Com a pesagem da bandeja depois da cura total (até massa constante) do ligante asfáltico coletado (P2) se obtém a taxa de aplicação do resíduo (TR) da seguinte forma:

$$TR = (P2 - P1)/A \quad (14)$$

A partir da taxa de aplicação do resíduo (TR) se obtém a Taxa de Aplicação (T) do material asfáltico, em função da porcentagem de resíduo verificada no ensaio de laboratório, quando do recebimento do correspondente carregamento do ligante asfáltico.

Para trechos de imprimação de extensão limitada ou com necessidade de liberação imediata, com área de no máximo 4.000 m², devem ser feitas 5 determinações de T, no mínimo, para controle.

6.2. EXECUÇÃO DA PINTURA DE LIGAÇÃO

Para execução da imprimação com ligante asfáltico devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 144/2014-ES.

6.2.1. Condições Gerais

O ligante asfáltico não deve ser distribuído quando a temperatura ambiente for inferior a 10°C, ou em dias de chuva, ou quando a superfície a ser imprimada apresentar qualquer sinal de excesso de umidade.

Todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela norma, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar dez dias. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

6.2.2. Condições Específicas

6.2.2.1. Material

O ligante asfáltico empregado na pintura de ligação deve ser do tipo RR-1C, em conformidade com a Norma DNER-EM 369/97.

A taxa recomendada de ligante asfáltico residual é de 0,3 l/m² a 0,4 l/m². Antes da aplicação, a emulsão deve ser diluída na proporção de 1:1 com água a fim de garantir uniformidade na distribuição desta taxa residual. A taxa de aplicação de emulsão diluída é da ordem de 0,8 l/m²

a 1,0 l/m². A água deve ser isenta de teores nocivos de sais ácidos, álcalis, ou matéria orgânica e outras substâncias nocivas.

6.2.2.2. Equipamentos

- a) Para a varredura da superfície da base usam-se vassouras mecânicas rotativas, podendo, entretanto, a operação ser executada manualmente. O jato de ar comprimido também pode ser usado.
- b) A distribuição do ligante deve ser feita por carros equipados com bomba reguladora de pressão e sistema completo de aquecimento que permitam a aplicação do ligante asfáltico em quantidade uniforme.
- c) Os carros distribuidores de ligante asfáltico devem ser providos de dispositivos de aquecimento, dispendo de tacômetro, calibradores e termômetros com precisão de 1°C, instalados em locais de fácil observação e, ainda, possuir espargidor manual, para tratamento de pequenas superfícies e correções localizadas. As barras de distribuição devem ser do tipo de circulação plena, com dispositivo de ajustamento vertical e larguras variáveis de espalhamento uniforme do ligante asfáltico.
- d) O depósito de material asfáltico, quando necessário, deve ser equipado com dispositivo que permita o aquecimento adequado e uniforme do conteúdo do recipiente. O depósito deve ter capacidade para armazenar a quantidade de ligante asfáltico a ser aplicada em, pelo menos, um dia de trabalho.

6.2.2.3. Execução

- a) Antes da execução dos serviços, deve ser implantada a adequada sinalização, visando à segurança do tráfego no segmento rodoviário, e efetuada sua manutenção permanente durante a execução dos serviços.
- b) A superfície a ser pintada deve ser varrida, a fim de ser eliminado o pó e todo e qualquer material solto.
- c) Antes da aplicação do ligante asfáltico, no caso de bases de solo-cimento ou de concreto magro, a superfície da base deve ser umedecida.
- d) Aplica-se, a seguir, o ligante asfáltico na temperatura compatível, na quantidade recomendada e de maneira uniforme. A temperatura da aplicação do ligante asfáltico deve ser fixada em função da relação temperatura x viscosidade, escolhendo-se a temperatura que proporcione a melhor viscosidade para espalhamento. A viscosidade recomendada para o espalhamento da emulsão deve estar entre 20 e 100 segundos "Saybolt-Furol" (DNER-ME 004/94).
- e) Após aplicação do ligante deve-se aguardar o escoamento da água e a evaporação em decorrência da ruptura.
- f) A tolerância admitida para a taxa de aplicação "T" da emulsão diluída é de $\pm 0,2$ l/m².

- g) Deve ser executada a pintura de ligação na pista inteira em um mesmo turno de trabalho e deve ser deixada, sempre que possível, fechada ao tráfego. Quando isto não for possível, trabalhar em meia pista, executando a pintura de ligação da adjacente, assim que a primeira for permitida ao tráfego.
- h) A fim de evitar a superposição ou excesso, nos pontos inicial e final das aplicações, devem ser colocadas faixas de papel transversalmente na pista, de modo que o início e o término da aplicação do ligante asfáltico estejam sobre essas faixas, as quais devem ser, a seguir, retiradas. Qualquer falha na aplicação do ligante asfáltico deve ser imediatamente corrigida.

6.3. Execução da Regularização do Subleito

Para execução da regularização do subleito devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 137/2010–ES.

6.3.1. Condições Gerais

- a) A regularização deve ser executada antes da construção de outra camada do pavimento.
- b) Cortes e aterros com espessuras > 20 cm devem ser executados previamente à execução da regularização do subleito, de acordo com as especificações de terraplenagem (DNIT 105/2009–ES, DNIT 106/2009–ES e DNIT 107/2009–ES).
- c) Não deve ser permitida a execução dos serviços em dias de chuva.
- d) É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

6.3.2. Condições Específicas

6.3.2.1. Materiais

Os materiais empregados na regularização do subleito devem ser preferencialmente os do próprio local. Em caso de substituição ou adição de material, estes devem ser provenientes de ocorrências de materiais indicadas no projeto e apresentar as características estabelecidas na especificação de serviço de terraplenagem para execução de aterros, sendo que o material deve apresentar melhores características de suporte (CBR) e expansão $\leq 2\%$, determinadas a partir dos seguintes ensaios:

- Ensaio de Compactação (DNER-ME 129/94) - na energia definida no projeto;
- Ensaio de Índice de Suporte Califórnia, ISC (DNER-ME 049/94), com a energia do ensaio de compactação.

Quando submetidos aos ensaios de caracterização (DNER-ME 080/94, DNER-ME 082/94 e DNER-ME 122/94) devem atender **às seguintes** condições:

- Não possuir partículas com diâmetro máximo acima de 76 mm (3 polegadas);

→ O Índice de Grupo (IG) deve ser no máximo igual ao do subleito indicado no projeto.

6.3.2.2. Equipamentos

São indicados os seguintes equipamentos para a execução de regularização:

- a) motoniveladora com escarificador;
- b) carro-tanque distribuidor de água;
- c) rolos compactadores tipos pé de carneiro, pneumáticos e liso-vibratórios;
- d) grades de discos, arados de discos e tratores de pneus;
- e) pulvimisturador ou pulvimixer.

Os equipamentos de compactação e mistura devem ser escolhidos de acordo com o tipo de material empregado. Por exemplo, para compactação de solo granular (não coesivo) recomenda-se utilizar um rolo liso, enquanto que para solo coesivo o mais indicado é um rolo pé de carneiro.

6.3.2.3. Execução

- a) Toda vegetação e material orgânico existentes no leito da rodovia devem ser removidos.
- b) Após a execução de cortes, aterros e adição do material necessário para atingir o greide de projeto, deve-se proceder à escarificação geral na profundidade de 20cm, seguida de pulverização, umedecimento ou secagem, compactação e acabamento.
- c) No caso de cortes em rocha a regularização deve ser executada de acordo com o projeto específico de cada caso.

6.3.3. Controle Tecnológico de Materiais

Os materiais utilizados na execução da regularização do subleito devem ser rotineiramente examinados mediante a execução dos seguintes procedimentos:

- a) Ensaio de caracterização do material espalhado na pista, em locais escolhidos aleatoriamente: deve ser coletada uma amostra, para cada 200m de pista ou por jornada diária de trabalho.
- b) Ensaio de compactação (DNER-ME 129/94) para o material coletado na pista, em locais escolhidos aleatoriamente: deve ser coletada uma amostra para cada 200m de pista ou jornada diária de trabalho.
- c) Ensaio de Índice de Suporte Califórnia (ISC) e Expansão (DNER-ME 049/94), com energia de compactação, para o material coletado na pista, a cada 400m em locais escolhidos aleatoriamente, de onde foram retiradas amostras para o ensaio de compactação.
- d) A frequência indicada para a execução de ensaios é a mínima aceitável. Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.

No caso de materiais homogêneos, a frequência dos ensaios de caracterização e de compactação pode ser reduzida para uma amostra por segmento de 400m de extensão, e para os ensaios de ISC e expansão para uma amostra por segmento de 800m de extensão.

6.3.4. Controle Tecnológico da Execução

O controle da execução da regularização do subleito deve ser exercido mediante a coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória. O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da execução devem ser estabelecidos de acordo com os preceitos da Norma DNER-PRO 277/97.

Devem ser efetuados as seguintes determinações e ensaios:

- a) Ensaio de umidade higroscópica do material (DNER-ME 052/94), imediatamente antes da compactação, para cada 100m de pista a ser compactada, em locais escolhidos aleatoriamente. A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.
- b) Ensaio de massa específica aparente seca "in situ" (DNER-ME 092/94) em locais escolhidos aleatoriamente. Para pistas de extensão limitada, com volumes de, no máximo, 1.250m^3 de material, devem ser feitas, pelo menos, cinco determinações para o cálculo de grau de compactação (GC).
- c) O cálculo de grau de compactação deve ser realizado utilizando-se os valores da massa específica aparente seca máxima obtida no laboratório e da massa específica aparente seca "in situ" obtida na pista. Não devem ser aceitos valores de grau de compactação inferiores a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida no laboratório.

6.4. Execução da Camada de Reforço do Subleito

Geralmente essa camada é executada com materiais disponíveis nas regiões próximas à obra. Devem ser materiais que, após compactados, tenham capacidade de suporte superior ao do subleito. Não devem ser expansivos, excessivamente plásticos e nem completamente granulares (isentos de plasticidade). Para execução da regularização devem ser atendidas as exigências constantes na especificação de serviços do DNIT 138/2010-ES.

6.4.1. Condições Gerais

- a) Não deve ser permitida a execução dos serviços em dias de chuva.
- b) É responsabilidade da empresa executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

6.4.2. Condições Específicas

6.4.2.1. Materiais

Os materiais constituintes do reforço do subleito devem apresentar as características estabelecidas na especificação de serviço de terraplenagem para execução de aterros (DNIT 108/2019-ES), em que o material deve apresentar melhor capacidade de suporte e expansão $\leq 2\%$, cabendo a determinação do valor de CBR e de expansão pertinentes, por intermédio dos seguintes ensaios:

→ Ensaio de Compactação - na energia do Método B (DNER-ME 129/94);

→ Ensaio de Índice de Suporte Califórnia, ISC (DNER-ME 049/94) - com a energia do ensaio de compactação.

6.4.2.2. Equipamentos

São indicados os mesmos equipamentos utilizados na execução da regularização do subleito para a execução do reforço do subleito:

a) motoniveladora pesada, com escarificador;

b) carro-tanque distribuidor de água;

c) rolos compactadores autopropulsados tipos pé de carneiro, liso-vibratórios e pneumáticos;

d) grades de discos, arados de discos e tratores de pneus;

e) pulvimisturador.

Os equipamentos de compactação e mistura devem ser escolhidos de acordo com o tipo de material empregado.

6.4.2.3. Execução

a) A execução do reforço do subleito compreende as operações de mistura e pulverização, umedecimento ou secagem dos materiais na pista, seguidas de espalhamento, compactação e acabamento, realizadas na pista devidamente preparada, na largura desejada e nas quantidades que permitam, após a compactação, atingir a espessura projetada.

b) Quando houver necessidade de executar camada de reforço com espessura final superior a 20cm, estas devem ser subdivididas em camadas parciais. A espessura mínima de qualquer camada de reforço deve ser de 10cm, após a compactação.

6.4.3. Controle de Tecnológico de Materiais

Os materiais utilizados na execução do reforço do subleito devem ser rotineiramente examinados, mediante a execução dos seguintes procedimentos:

- a) Ensaios de caracterização do material espalhado na pista em locais escolhidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 200m de pista, ou por jornada diária de trabalho.
- b) Ensaios de compactação (DNER-ME 129/94) com energia do Método B, ou maior que esta, para o material coletado na pista em locais escolhidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 200m de pista, ou por jornada diária de trabalho.
- c) Ensaios de Índice Suporte Califórnia - ISC (DNER-ME 049/94) e expansão, com energia de compactação para o material coletado na pista, a cada 400m, em locais escolhidos aleatoriamente, de onde foram retiradas amostras para o Ensaio de Compactação. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 400m de pista, ou por jornada diária de trabalho.
- d) Para pistas de extensão limitada, com área de até 4.000m², devem ser coletadas pelo menos 5 amostras, para execução do controle dos materiais.
- e) A frequência indicada para a execução dos ensaios é a mínima aceitável, devendo estar de acordo com os preceitos da Norma DNER-PRO 277/97. O tamanho da amostra deve ser documentado e previamente informado à Fiscalização.

No caso de materiais homogêneos, a frequência mínima dos ensaios de caracterização e de compactação é de uma amostra por segmento de 400m de extensão, enquanto que para os ensaios de ISC e expansão é de uma amostra por segmento de 800m de extensão.

6.4.4. Controle Tecnológico da Execução

O controle da execução do reforço do subleito deve ser exercido mediante a coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória. O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico da execução e do produto devem ser estabelecidos de acordo com a Norma DNER-PRO 277/97.

Devem ser efetuados as seguintes determinações e ensaios:

- a) Ensaio de umidade higroscópica do material (DNER-ME 052/94), imediatamente antes da compactação, para cada 100m de pista a ser compactada, em locais escolhidos aleatoriamente. A tolerância admitida para a umidade higroscópica deve ser de $\pm 2\%$ em relação à umidade ótima.
- b) Ensaio de massa específica aparente seca "in situ" (DNER-ME 092/94 e DNER-ME 036/94) em locais escolhidos aleatoriamente. Para pistas de extensão limitada, com áreas de, no máximo, 4.000m², devem ser feitas, pelo menos, cinco determinações por camada para o cálculo de grau de compactação (GC).
- c) Os cálculos de grau de compactação devem ser realizados utilizando-se os valores da massa específica aparente seca máxima obtida no laboratório e da massa específica

aparente seca “in situ” obtida na pista. Não devem ser aceitos valores de grau de compactação inferiores a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida no laboratório.

6.5. Execução das Camadas de Base e Sub-Base

Os tipos de base e sub-base que serão empregados na estrutura do pavimento devem ser determinados no projeto de dimensionamento, que deverá considerar as características do material do subleito e dos materiais disponíveis na região, assim como o tráfego que irá solicitar o pavimento. Para isso devem ser analisados os diferentes materiais e as características dos materiais (faixa granulométrica, LL, IP, $\gamma_{sm\acute{a}x}$, hot, CBR e expansão) devem ser apresentadas no projeto, juntamente com o tipo de material selecionado para a execução das camadas de base e de sub-base (**Tabela 18**).

Tabela 18 - Lista das especificações para cada tipo de base e sub-base.

Tipo de base ou sub-base		Norma
Granular	Sub-base ou base de brita graduada - BGS	ET-DE-P00/008-05 DER/SP
	Base estabilizada granulometricamente	DNIT 141-2010-ES
	Sub-base estabilizada granulometricamente	DNIT 139-2010-ES
Coesiva	Base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL	DNIT 098-2007-ES
	Sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL	ET-DE-P00/015-05 DER/SP
Tratada quimicamente	Base de solo melhorado com cimento	DNIT 142-2010-ES
	Sub-base de solo melhorado com cimento	DNIT 140-2010-ES
	Base de solo cimento	DNIT 143-2010-ES
	Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento - BGTC	ET-DE-P00/009-05 DER/SP
	Sub-base ou base de solo cal	ET-DE-P00/005-06 DER/SP
	Sub-base ou base de concreto de cimento Portland, compactada com rolo (concreto rolado)	ET-DE-P00/044-06 DER/SP

A execução das camadas de base e sub-base deve atender às recomendações do DNIT ou do órgão responsável, de acordo com o tipo selecionado. Todos os ensaios de caracterização que façam parte da especificação técnica devem ser executados e anotados em ficha específica (exemplos: granulometria, compactação, classificação MCT etc. de acordo com o tipo de base e sub-base escolhida). Atualmente, o tipo de base e sub-base mais empregada é a brita graduada simples, BGS, seguida da Brita Graduada Tratada com Cimento, BGTC.

6.5.1. Base e Sub-base de Brita Graduada Simples

6.5.1.1. Condições Gerais

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios para o controle tecnológico dos materiais, da execução e do produto de todos os tipos de base e sub-base granulares devem ser estabelecidos de acordo com a Norma DNER-PRO 277/97.

O número mínimo de ensaios por camada e por segmento (área inferior a 4000 m²) é de cinco.

- a) Não deve ser permitida a execução dos serviços em dias de chuva.
- b) É responsabilidade do executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

6.5.1.2. Condições Específicas

6.5.1.2.1. Material

a) Agregado

- Os agregados utilizados, obtidos a partir da britagem da rocha sã, devem constituir-se por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres do excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como quaisquer outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
- O desgaste no ensaio de Abrasão Los Angeles, LA, deve ser $\leq 50\%$ (DNER-ME 035/98);
- O equivalente de areia, EA, do agregado miúdo deve ser $\geq 55\%$ (DNER-ME 054/98);
- O Índice de Forma, IF, deve ser superior a 0,5 e a porcentagem de partículas lamelares $\leq 10\%$ (DNER-ME 086/94);
- A perda no ensaio de durabilidade, em cinco ciclos, com sulfato de sódio deve ser $< 20\%$, e com sulfato de magnésio deve ser $< 30\%$ (DNER-ME 089/94).

b) Mistura de agregados

O projeto da mistura dos agregados deve satisfazer aos seguintes requisitos:

- Quando submetida aos ensaios das normas DNER-ME 129/94, na energia indicada no projeto, e DNER-ME 049/94, a mistura deve apresentar $ISC \geq 100\%$ e $Expansão \leq 0,3\%$.
- Quando submetida ao ensaio de granulometria (DNER-ME 080/94), a mistura de agregados deve apresentar as características indicadas a seguir:
 - Curva de composição granulométrica, satisfazendo a uma das faixas da **Tabela 19**.

Tabela 19 - Faixas granulométricas de BGS.

Malha da Peneira ASTM	Faixas Granulométricas (% passante)				Tolerâncias da faixa de projeto
	A	B	C	D	
2"	100	100	-	-	± 7

1"	-	75-90	100	100	± 7
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	± 7
N°4	25-55	30-60	35-65	50-85	± 5
N°10	15-40	20-45	25-50	40-70	± 5
N°40	8-20	15-30	15-30	25-45	± 2
N°200	2-8	5-15	5-15	10-25	± 2

- A faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada na Tabela 17 para cada peneira, respeitando, porém, os limites da faixa granulométrica adotada;
- A porcentagem do material que passa na peneira n° 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira n°40.

6.5.1.2.2. Equipamento

São indicados os seguintes tipos de equipamentos para a execução das camadas de sub-base e base de brita graduada simples:

- vibroacabadora;
- motoniveladora pesada, com escarificador;
- carro-tanque distribuidor de água;
- vassoura mecânica
- rolos compactadores tipo liso-vibratório e pneumático de pressão regulável;
- caminhões basculantes;
- pá-carregadeira;
- compactadores portáteis mecânicos; e
- central de mistura.

6.5.1.3. Execução

6.5.1.3.1. Preparo da superfície

A superfície que irá receber a camada de sub-base ou base de brita graduada simples deve estar totalmente concluída, ser previamente limpa, mediante a utilização de vassoura mecânica, isenta de pó ou quaisquer outros agentes prejudiciais.

6.5.1.3.2. Produção

A rocha, de pedra previamente aprovada nos ensaios indicados, deve ser britada e classificada em frações a serem definidas em função da faixa granulométrica prevista para a mistura, devendo ser obedecidos os seguintes requisitos e procedimentos operacionais:

- Nas usinas utilizadas para produção da mistura, os silos, em número **pele menos** de três, devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador e devem

ter dispositivos que os abriguem da chuva;

- A usina deve ser calibrada racionalmente, de forma a assegurar a obtenção das características especificadas para a mistura;
- As frações obtidas, acumuladas nos silos da usina, devem ser misturadas no misturador, e acrescentando-se a quantidade de água necessária à condução da mistura de agregados à respectiva umidade ótima, mais o acréscimo destinado a suprir as perdas verificadas nas operações construtivas subsequentes. Deve ser previsto o eficiente abastecimento, a fim de evitar a interrupção da produção;
- Não é permitida a mistura prévia dos materiais no abastecimento dos silos.

6.5.1.3.3. Transporte

No transporte da mistura devem ser observados os seguintes procedimentos:

- A mistura produzida na usina deve ser colocada diretamente em caminhões basculantes e em seguida transportada para a pista. Os caminhões devem ser dotados de lona, para evitar a perda de umidade da mistura durante o transporte;
- Não deve ser permitida a estocagem do material usinado. A produção da mistura na usina deve ser adequada às extensões de aplicação imediata na pista;
- Não deve ser permitido o transporte da mistura para a pista quando a camada subjacente estiver molhada, incapaz de suportar sem se deformar a movimentação do equipamento.

6.5.1.3.4. Espalhamento

A mistura deve ser espalhada na pista observando-se os seguintes procedimentos:

- A definição da espessura da mistura solta deve ser obtida a partir da observação criteriosa de trechos experimentais, previamente executados. Após a compactação, essa espessura deve permitir a obtenção da espessura definida no projeto;
- A distribuição da mistura deve ser feita obrigatoriamente com vibroacabadora, capaz de distribuí-la em espessura uniforme, sem produzir segregação, e de forma a evitar conformação adicional da camada. Caso, no entanto, isto seja necessário, admite-se a conformação pela atuação da motoniveladora exclusivamente por ação de corte, previamente ao início da compactação;
- A espessura da camada individual acabada deve situar-se no intervalo de 10 a 20cm. Quando se desejar executar camada de espessura superior a 20cm, ela deve ser dividida em duas camadas para efeito de execução, respeitando-se os limites mínimo e máximo indicados.

6.5.1.3.5. Compactação

A compactação do material deve ser executada obedecendo-se aos seguintes procedimentos:

- A variação do teor de umidade admitida para o material, para início da compactação, é de $\pm 1,0\%$ em relação à umidade ótima de compactação. A determinação da umidade deve ser feita pelo método DNER-ME052/94, para cada 100m de pista. Não deve ser permitida a correção de umidade na pista. Caso sejam ultrapassadas as tolerâncias indicadas, o material deve ser substituído;
- Na fase inicial da obra devem ser executados segmentos experimentais, com formas diferentes de execução, na sequência operacional de utilização dos equipamentos, de modo a definir os procedimentos a serem obedecidos nos serviços de compactação. Deve-se estabelecer o número de passadas necessárias dos equipamentos de compactação para se atingir o grau de compactação especificado. Deve ser realizada nova determinação, sempre que houver variação no material ou alteração do equipamento empregado;
- A compactação deve evoluir longitudinalmente, iniciando-se pelos bordos. Nos trechos em tangente, a compactação deve prosseguir dos dois bordos para o centro, em percursos equidistantes da linha base (eixo). Os percursos ou passadas do equipamento utilizado devem distar entre si de forma que cada percurso cubra metade da faixa coberta no percurso anterior. Nos trechos em curva, havendo superelevação, a compactação deve progredir do bordo mais baixo para o mais alto, com percursos análogos aos descritos para os trechos em tangente;
- Nas partes adjacentes ao início e ao fim da sub-base ou base em construção, a compactação deve ser executada transversalmente à linha base, o eixo. Nas partes inacessíveis aos rolos compactadores, assim como nas partes em que seu uso não for desejável, tais como cabeceiras de pontes, a compactação deve ser executada com rolos vibratórios portáteis ou sapos mecânicos.

6.5.1.3.6. Acabamento

O acabamento deve ser executado pela ação conjunta de motoniveladora e de rolos de pneus e liso-vibratório. A motoniveladora deve atuar, quando necessário, exclusivamente em operação de corte, sendo vetada a correção de depressões por adição de material.

6.5.1.3.7. Abertura ao tráfego

A sub-base ou base de brita graduada simples não deve ser submetida à ação do tráfego, devendo ser imprimada imediatamente após a sua liberação pelos controles de execução, de forma que a camada já liberada não fique exposta à ação de intempéries que possam

prejudicar sua qualidade.

6.5.1.4. Controle dos Materiais

Os materiais utilizados na execução da sub-base ou base devem ser rotineiramente examinados mediante a execução dos seguintes procedimentos:

- a) Ensaios de granulometria (DNER-ME 080/94) e de equivalente de areia (DNER-ME 054/98) do material espalhado na pista, em locais determinados aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 300m de pista ou por jornada diária de 8 horas de trabalho. A frequência destes ensaios pode ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000m de extensão, no caso do emprego de materiais homogêneos. Na usina de solos deve ser coletado o mesmo número de amostras, na saída do misturador.
- b) Ensaios de compactação (DNER-ME 129/94), com energia indicada no projeto, adotando-se no mínimo a do Proctor Modificado, com material coletado na pista em locais definidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 300m de pista ou por jornada diária de trabalho. A frequência destes ensaios pode ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000m de extensão, no caso do emprego de materiais homogêneos, a critério da Fiscalização. Na usina de solos, deve ser coletado o mesmo número de amostras, na saída do misturador.
- c) A energia de compactação de projeto pode ser alterada quanto ao número de golpes, de modo a se atingir o máximo da densificação, determinada em trechos experimentais, em condições reais de trabalho no campo.
- d) Ensaios de Índice Suporte Califórnia, ISC, e expansão (DNER-ME 049/94), na energia de compactação indicada no projeto para o material coletado na pista, em locais definidos aleatoriamente. Deve ser coletada uma amostra por camada, para cada 300m de pista, ou por camada por jornada diária de trabalho. A frequência destes ensaios pode ser reduzida para uma amostra por segmento de 1000m de extensão no caso do emprego de materiais homogêneos, a critério da Fiscalização. Na usina de solos, deve ser coletado o mesmo número de amostras, na saída do misturador.

6.5.1.5. Controle da Execução

O controle da execução (produção) da sub-base ou base deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitos de maneira aleatória. Devem ser efetuadas as seguintes determinações e ensaios:

- a) Ensaio de umidade higroscópica do material (DNER-ME 052/94 e DNER-ME 088/94), imediatamente antes da compactação, por camada, para cada 100m de pista a ser compactada, em locais aleatórios. A tolerância admitida para a umidade higroscópica é de

±1,0% em relação à umidade ótima.

- b) Ensaio de massa específica aparente seca “in situ” (DNER-ME 092/94 e DNER-ME 036/94) para cada 100m de pista, por camada, em locais definidos aleatoriamente. Para pistas de extensão limitada, com área de no máximo 4.000m², devem ser feitas, pelo menos, 5 determinações por camada para o cálculo do grau de compactação, GC.
- c) Os cálculos de grau de compactação devem ser realizados utilizando-se os valores da massa específica aparente seca máxima obtida no laboratório e da massa específica aparente seca “in situ” obtida na pista. Com vistas à consideração das partículas com diâmetro superior a ¾”, para determinação da massa específica aparente seca máxima obtida no laboratório, deve ser feita a correção conforme a equação (15):

$$D = \frac{D_f \times D_g}{(P_f \times D_g) + (P_g \times D_f)} \quad (15)$$

onde:

D - densidade aparente da amostra total (seca);

D_f - densidade aparente da amostra fina seca com material de diâmetro < ¾”;

D_g - densidade real dos grãos da amostra com diâmetro maior que ¾”, determinada segundo o método DNER-ME 195/97;

P_f - porcentagem da amostra total de material com diâmetro < ¾”;

P_g - porcentagem da amostra total de material com diâmetro > ¾”.

Não devem ser aceitos valores de GC < 100 % em relação à massa específica aparente seca máxima obtida no laboratório.

6.5.1.6. Verificação do Produto

A verificação final da qualidade das camadas de sub-base ou base (produto) deve ser efetuada através das determinações estabelecidas para o controle geométrico, previamente aprovado pela Fiscalização. Após a execução da sub-base ou base, devem ser procedidos a relocação e o nivelamento do eixo e bordos, permitidas as seguintes tolerâncias:

- ±10 cm, quanto à largura da plataforma;
- até 20%, em excesso, para a flecha de abaulamento, não se tolerando falta;
- ±10%, quanto à espessura de projeto da camada.

6.5.2. Base de Brita Graduada Tratada com Cimento - BGTC

6.5.2.1. Condições Gerais

- a) Não deve ser permitida a execução dos serviços em dias de chuva.
- b) É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do tráfego e de outros agentes que possam danificá-los.

6.5.2.2. Condições Específicas

6.5.2.2.1. Material

a) Cimento

O cimento empregado deve atender à especificação de material DNER EM 036/95, para recebimento e aceitação do material. Podem ser empregados:

- NBR 5732 - Cimento Portland comum;
- NBR 5735 - Cimento Portland de alto-forno;
- NBR 5736 - Cimento Portland pozolânico.

b) Água

Deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Deve atender aos requisitos estabelecidos pela NBR NM 137.

c) Agregado

A camada de base e sub-base de brita graduada tratada com cimento deve ser executada com materiais que atendam aos seguintes requisitos:

- os agregados utilizados obtidos a partir da britagem e classificação de rocha são devem constituir-se por fragmentos duros, limpos e duráveis, livres do excesso de partículas lamelares ou alongadas, macias ou de fácil desintegração, assim como de outras substâncias ou contaminações prejudiciais;
- desgaste no ensaio de abrasão Los Angeles <50% (DNER ME 035/98);
- equivalente de areia do agregado miúdo >55% (DNER ME 035/98);
- índice de forma >0,5 e porcentagem de partículas lamelares <10% (DNER ME 095/94);
- perda no ensaio de durabilidade conforme DNER ME 089/94, em cinco ciclos, com solução de sulfato de sódio <20% e com sulfato de magnésio <30%.

6.5.2.2.2. Projeto da Mistura da Brita Graduada Tratada com Cimento

A dosagem da mistura da brita tratada com cimento deve conter: (NÃO ACHEI ADEQUADO ESTE VERBO)

- a curva granulométrica de projeto da mistura dos agregados deve enquadrar-se na faixa granulométrica da Tabela 20;

- a faixa de trabalho, definida a partir da curva granulométrica de projeto, deve obedecer à tolerância indicada para cada peneira na **Tabela 20**, porém respeitando os limites da faixa granulométrica;
- a porcentagem do material que passa na peneira nº 200 não deve ultrapassar 2/3 da porcentagem que passa na peneira nº 40.

Tabela 20 - Faixa Granulométrica.

Peneira de Malha Quadrada		% em Massa, Passando	Tolerâncias
ASTM	mm		
1 ½"	37,5	100	±7%
1"	25,0	90 - 100	±7%
¾"	19,0	75 - 95	±7%
3/8"	9,5	45 - 64	±7%
Nº 4	4,8	30 - 45	±5%
Nº 10	2,0	18 - 33	±5%
Nº 40	0,42	7 - 17	±5%
Nº 80	0,18	1 - 11	±3%
Nº 200	0,075	0 - 8	±2%
Espessura da camada acabada (cm)		12 a 18	

O teor de cimento, em massa, é a relação entre a massa de cimento e a massa de agregados secos, multiplicado por 100. A porcentagem em massa de cimento a ser incorporada aos agregados para constituição da mistura deve ser fixada de modo a atender à resistência à compressão simples e à tração no ensaio de compressão diametral, ambas aos 28 dias, fixadas no projeto da estrutura do pavimento.

Quando necessário, a incorporação de aditivos deve ser cuidadosamente estudada, e sua dosagem deve ser feita de maneira racional em laboratório.

6.5.2.2.3. Equipamentos

O equipamento básico para a execução da sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento compreende as seguintes unidades:

- usina misturadora dotada de unidade dosadora com, no mínimo, três silos, dispositivo de adição de água com controle de vazão e misturador do tipo pugmill;
- caminhões basculantes;
- vibroacabadora;
- rolos compactadores autopropulsores dos tipos liso, vibratório, estático e do tipo pneumático com controle de pressão;
- caminhão-tanque irrigador de água;
- motoniveladora com escarificador;
- compactadores vibratórios manuais ou portáteis, uso eventual;
- pá-carregadeira;

- rompedores, eventuais;
- duas régua de madeira ou metal, uma de 1,20 e outra de 3,0 m de comprimento;
- ferramentas manuais diversas.

6.5.2.3. Execução

6.5.2.3.1. Preparo da superfície

A superfície a receber a camada de sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento deve estar totalmente concluída, perfeitamente limpa, isenta de pó, lama e demais agentes prejudiciais, desempenada e com as declividades estabelecidas no projeto, além de ter recebido prévia aprovação por parte da fiscalização.

Eventuais defeitos existentes devem ser adequadamente reparados antes da distribuição da brita graduada tratada com cimento.

6.5.2.3.2. Produção

A brita graduada tratada com cimento deve ser preparada em usina do tipo contínua ou descontínua. Os agregados, o cimento e a água devem ser dosados em massa.

Os agregados resultantes da operação de britagem normalmente formam três frações de dimensões máximas distintas, devendo ser estocados convenientemente, além de drenados e cobertos de modo que cada fração ocupe um silo da usina. Não é permitida a mistura prévia dos materiais no abastecimento da usina. Cada uma das frações deve apresentar homogeneidade granulométrica.

Em uma usina utilizada para produção da BGTC, os silos devem ter capacidade total de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador, e devem possuir, no mínimo, três silos agregados. Além disso, devem conter dispositivos que os abriguem da chuva.

A usina deve ser calibrada, de forma a assegurar a obtenção das características desejadas para a mistura. As frações obtidas, acumuladas nos silos da usina, são combinadas no misturador, acrescentando-se ainda a água necessária à mistura de agregados para atingir a respectiva umidade ótima, considerando também as perdas verificadas nas operações construtivas subsequentes.

O abastecimento dos materiais deve ser convenientemente programado de modo a evitar a interrupção da produção. As frações devem ser combinadas de forma que a mistura final

atenda à faixa granulométrica especificada.

A introdução da água no misturador deve ser controlada por meio de dispositivo que permita a verificação da quantidade acrescentada por ciclo.

6.5.2.3.3. Transporte

A BGTC produzida na central deve ser descarregada diretamente dentro de caminhões basculantes e em seguida transportada para a pista. Os materiais devem ser protegidos por lonas para evitar perda de umidade durante seu transporte. Não é permitida a estocagem do material usinado. A produção da BGTC na usina deve ser adequada às extensões de aplicação na pista.

6.5.2.3.4. Espalhamento

A definição da espessura do material solto deve ser obtida a partir da observação de trechos experimentais previamente executados. Após a compactação, essa espessura deve permitir a obtenção da espessura definida em projeto.

Imediatamente antes do espalhamento, a superfície a ser recoberta deve ser umedecida sem apresentar excessos de água.

A operação de espalhamento deve ser feita com vibroacabadora, capaz de distribuir a BGTC em espessura uniforme sem produzir segregação e de forma a evitar conformação adicional da camada. Caso, no entanto, isto seja necessário, admite-se conformação pela atuação da motoniveladora, exclusivamente por ação de corte, previamente ao início da compactação.

A largura de cada trecho não deve permitir que juntas longitudinais sejam formadas abaixo de trilhas de tráfego. O mesmo procedimento deve ser realizado nas juntas transversais, as quais não devem coincidir com bueiros, drenos ou outros fatores que venham a enfraquecer a seção.

Não será permitido o espalhamento do material com motoniveladora.

6.5.2.3.5. Compactação e Acabamento

O tipo de equipamento a ser utilizado e o número de passadas do rolo compactador devem ser definidos logo no início da obra, em função dos resultados obtidos na execução de trechos experimentais, de forma que a camada atinja o grau de compactação especificado. Este procedimento deve ser repetido no caso de mudança da faixa granulométrica adotada no

projeto.

Terminada a operação de espalhamento, o material deve ser rapidamente compactado. O tempo decorrido entre a adição de água à mistura e o término da compactação não deve exceder o tempo de início de pega do cimento.

A energia de compactação a ser adotada como referência para a execução da BGTC deve ser a intermediária, que deve ser adotada na determinação da densidade seca máxima e umidade ótima, determinadas conforme a ABNT NBR 7182. O teor de umidade da brita graduada tratada com cimento, imediatamente antes da compactação, deve estar compreendido no intervalo de -2,0% a +1,0%, em relação à umidade ótima obtida de compactação.

A compactação da brita graduada tratada com cimento é executada mediante o emprego de rolos vibratórios lisos e de rolos pneumáticos de pressão regulável.

Nos trechos em tangente, a compactação deve ser realizada das bordas para eixo, e nas curvas, partindo da borda interna para borda externa. Em cada passada, o equipamento utilizado deve recobrir, ao menos, a metade da faixa anteriormente compactada.

Em lugares inacessíveis ao equipamento de compactação ou onde seu emprego não for recomendável, a compactação requerida deve ser realizada com compactadores portáteis, sejam manuais ou mecânicos.

A camada deve ser executada em espessura única, totalizando o valor definido em projeto. A espessura da camada compactada deve ser de no mínimo 12cm e no máximo 18cm.

A compactação deve ser realizada até que se obtenha o grau de compactação mínimo superior a 100% em relação à massa específica aparente seca máxima, obtida no ensaio de compactação (ABNT NBR 7182) na energia intermediária, e o desvio de umidade deve estar compreendido entre -2,0% a +1,0%.

6.5.2.3.6. Juntas de Construção

Ao fim de cada jornada de trabalho, ou em caso de interrupção dos serviços, deve ser executada uma junta transversal de construção, mediante corte vertical da camada, podendo ser utilizados: ferramentas manuais ou lâmina da motoniveladora.

As juntas transversais de construção não devem coincidir entre dois trechos de serviços

adjacentes. A face da junta deve ser umedecida antes da colocação da camada subsequente.

As juntas transversais não devem coincidir com os locais de juntas da camada subjacente anteriormente executada. Nas juntas geradas nos pontos de início e fim de execução da camada, a compactação deve ser executada transversalmente ao eixo da pista.

6.5.2.3.7. Cura

A superfície da BGTC deve ser protegida contra a evaporação da água por meio de imprimação com emulsão asfáltica RR-2C. A película protetora deve ser aplicada em quantidade suficiente para construir uma membrana contínua. Este procedimento deve ser executado imediatamente após o término da compactação.

Previamente à aplicação da pintura de ligação, se necessário, a camada deve ser adequadamente umedecida.

A aplicação da imprimação da camada só deve ser executada se a camada tiver sido liberada pela fiscalização. No caso de ocorrência de chuvas, antes da aplicação da imprimação, a camada de BGTC deve ser removida e refeita, sem ônus ao contratante.

6.5.2.3.8. Abertura ao Tráfego

A sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento não deve ser liberada à ação do tráfego. A Fiscalização poderá, em caráter excepcional, autorizar a abertura ao tráfego desde que a camada presente, na ocasião, resistência compatível com a solicitação de carga e que a imprimação esteja completamente rompida e curada.

6.5.2.4. Controle

6.5.2.4.1. Controle dos Materiais

a) Cimento

Deve ser realizado um ensaio de finura, conforme ABNT NBR 11579 a cada 30 t de cimento utilizado.

b) Água

Deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Sempre que houver indícios sobre a má qualidade da água, verificar a sua sanidade conforme a ABNT NBR NM 137.

c) Controle dos Materiais na Usina

Devem ser executados os seguintes ensaios no agregado graúdo no início da utilização do agregado na obra e sempre que houver variação da natureza do material:

- desgaste por abrasão Los Angeles (DNER ME 035/98);
- índice de forma e percentagem de partículas lamelares (DNER ME 086/94);
- perda no ensaio de durabilidade com sulfato de sódio e com sulfato de magnésio, em cinco ciclos (DNER ME 089/94).

Para o agregado miúdo deve ser realizado um ensaio de (???) equivalente de areia (DNER ME 054/98) por jornada de 8h de trabalho e sempre que houver variação da natureza do material.

6.5.2.4.2. Controle da Produção da Brita Graduada com Cimento na Usina

O controle das características da mistura na usina deve abranger:

- a) determinação do teor de umidade pelo método expedito da frigideira, com amostras coletadas na saída do misturador, 4 determinações por jornada de 8h de trabalho; o desvio da umidade em relação à umidade ótima deve ser estabelecido experimentalmente, no início dos serviços, em função da perda de umidade por evaporação, ocorrida entre a saída do misturador e o início das operações de compactação;
- b) granulometria (DNER ME 083/98), 2 determinações por jornada de 8h de trabalho em amostras coletadas na esteira, sem adição do cimento;
- c) determinação do teor de cimento, obtido pela razão entre a diferença de massas da mistura, com cimento e sem cimento, pela massa da mistura sem cimento, multiplicado por 100. Devem ser feitas 2 determinações por jornada de 8h de trabalho e sempre que houver suspeita de falta de cimento; as massas da mistura com e sem cimento são obtidas a partir de coletas na correia transportadora. As amostras devem ser recolhidas sempre no mesmo local da correia.

6.5.2.4.3. Controle da Execução

O controle das características da brita graduada com cimento na pista deve abranger:

- a) determinação do teor de umidade a cada 250m² de pista, imediatamente antes da compactação. O material pode ser liberado para compactação se o desvio da umidade for no máximo de -2,0% a +1,0% em relação à umidade ótima;
- b) ensaio de compactação na energia intermediária (ABNT NBR 7182), para determinação da massa específica aparente seca máxima e umidade ótima, de amostras coletadas na pista. Realizar um ensaio no início da utilização do material na obra e sempre que a curva granulométrica da mistura se achar fora da faixa de trabalho;
- c) determinação da resistência à compressão simples, de amostras coletadas na pista, aos 28

- dias de cura (ABNT NBR 5739), a cada 250m² e a cada 750m² de pista aos 7 dias, para avaliar os resultados iniciais em relação à resistência final a ser atingida;
- d) determinação da resistência à tração por compressão diametral (ABNT NBR 7222), de amostras coletadas na pista, aos 28 dias de cura, a cada 250m² de pista;
 - e) determinação da umidade e da massa específica aparente seca “in situ” (ABNT NBR 7185), e respectivo grau de compactação em relação aos valores obtidos no item b, a cada 250m² de pista, em pontos que sempre obedecem à seguinte ordem: borda direita, eixo, borda esquerda, eixo, borda direita etc. A determinação nas bordas deve ser feita a 60cm delas;
 - f) determinação do intervalo de tempo decorrido entre a incorporação do cimento à mistura na usina e o início da compactação. Este intervalo não deve ser superior ao início de pega do cimento;
 - g) devem ser registrados os locais de aplicação da mistura, sempre associados às datas de produção, mediante controle de carga e descarga realizada pelos caminhões **acompanhados com** os respectivos ensaios de controle tecnológico.

Para determinação da resistência à compressão simples e à tração, cada amostra é constituída por dois corpos de prova moldados na mesma massada, no mesmo ato, para cada idade de rompimento. Toma-se como resistência da amostra, na idade de rompimento, o maior dos dois valores obtidos no ensaio. Os corpos de prova devem ser moldados imediatamente antes da compactação.

6.5.2.4.4. Controle Geométrico e de Acabamento

a) Controle de espessura e cotas

A espessura da camada e as diferenças de cotas, entre a camada subjacente e a de brita graduada tratada com cimento, devem ser determinadas pelo nivelamento da seção transversal, a cada 20m.

A relocação e o nivelamento do eixo e das bordas devem ser executados a cada 20m; devem ser nivelados os pontos no eixo, bordas e dois pontos intermediários.

b) Controle da largura e alinhamento

A verificação do eixo e das bordas deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. A largura da plataforma acabada deve ser determinada por medidas executadas pelo menos a cada 20m.

c) Controle do acabamento da superfície

Durante a execução deve ser feito, em cada estaca, o controle de acabamento da superfície

com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas respectivamente em ângulo reto e paralelamente ao eixo da pista. Deve ser dada especial atenção à verificação da presença de segregação superficial.

6.5.2.4.5. Deflexões

As deflexões recuperáveis exigidas em projeto devem ser verificadas a cada 20m por faixa alternada e 40m na mesma faixa, utilizando viga *Benkelman* (DNER ME 24) ou FWD - *Falling Weight Deflectometer* (DNER PRO 273), após 28 dias de cura.

6.5.2.5. Aceitação

Os serviços são aceitos desde que atendam simultaneamente às exigências de materiais, produção e de execução estabelecidas na especificação e discriminadas a seguir.

6.5.2.5.1. Materiais

a) Cimento

O cimento deve atender à especificação de aceitação e recebimento da norma DNER EM 036/98 e apresentar índice de finura satisfatório.

b) Água

A água deve estar isenta de matéria orgânica ou outras substâncias prejudiciais à hidratação do cimento. Quando houver indícios sobre a sanidade da água, será aceita desde que atenda à ABNT NBR NM 137.

c) Agregados

Os agregados graúdos devem apresentar valores individuais de abrasão Los Angeles, índice de forma, lamelaridade e durabilidade que atendam aos estabelecidos no controle tecnológico de materiais. Os agregados miúdos devem apresentar valores individuais de equivalente de areia >55%.

6.5.2.5.2. Produção da Brita Graduada com Cimento

a) Granulometria

Os resultados da granulometria da mistura, quando analisados estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras, devem apresentar variação máxima definida pela faixa de trabalho correspondente.

b) Teor de Cimento

A variação individual admitida para o teor de cimento é de $\pm 0,5\%$ em relação ao teor ótimo de cimento do projeto da mistura.

6.5.2.5.3. Execução

a) Resistência

Os resultados da análise das resistências características estimadas à compressão simples e à tração devem ser maiores ou iguais às resistências do projeto da estrutura do pavimento. Não são admitidos no ensaio de compressão diametral valores individuais de resistência à compressão simples e às trações inferiores a 90% das resistências especificadas no projeto da estrutura do pavimento.

b) Compactação

O grau de compactação é aceito desde que não sejam obtidos valores individuais inferiores a 100%, ou os resultados da análise feita estatisticamente para conjuntos de no mínimo 4 e no máximo 10 amostras sejam iguais ou superiores a 100%.

c) Geometria

Os serviços executados são aceitos, quanto à geometria, desde que:

- variações individuais das cotas obtidas compreendidas no intervalo de -2 cm a +1 cm em relação à de projeto;
- não se obtenham diferenças nas espessuras superiores a 10% em relação à espessura de projeto, em qualquer ponto da camada;
- a espessura determinada estatisticamente se encontre no intervalo de $\pm 5\%$ em relação à espessura prevista em projeto;
- não se obtenham valores individuais da largura da plataforma inferiores as de projeto;
- o abaulamento transversal esteja compreendido na faixa de $\pm 0,5\%$ em relação ao valor de projeto, não se admitindo depressões que propiciem o acúmulo de água.

O acabamento da superfície é aceito desde que:

- a variação máxima entre dois pontos de contato, de qualquer uma das réguas e a superfície da camada, não seja superior a 0,5cm;
- na inspeção visual **não se verifique** segregação dos materiais;
- as juntas executadas **se apresentem** homogêneas em relação ao conjunto da mistura, isentas de desníveis e de saliências.

6.5.2.5.4. Deflexões

A deflexão característica de cada subtrecho, para no mínimo 15 determinações, deve ser igual

à definida em projeto.

6.5.3. Outros Tipos de Base e Sub-base

A execução de outros tipos de base e sub-base deve ser realizada seguindo as especificações e normas apresentadas a seguir:

- Base estabilizada granulometricamente - DNIT ES 141/10;
- Sub-base estabilizada granulometricamente - DNIT ES 139/10;
- Base ou sub-base de brita graduada - ET-DE-P00/008-05 DER/SP;
- Base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL - DNIT ES 098/07;
- Sub-base ou base de solo arenoso fino laterítico - SAFL - ET-DE-P00/015-05 DER/SP;
- Base e sub-base de solo cimento - DNIT ES 143/10;
- Base de solo melhorado com cimento - DNIT ES 142/10;
- Sub-base de solo melhorado com cimento - DNIT ES 140/10;
- Base ou sub-base de solo cal - ET-DE-P00/005-06 DER/SP.

6.6. Execução da Camada de Revestimento

6.6.1. Concreto Asfáltico

A mistura asfáltica mais empregada nos pavimentos flexíveis do mundo inteiro é o concreto asfáltico, CA (DNIT 031/2004-ES), mais conhecido como concreto betuminoso usinado a quente, CBUQ. O concreto asfáltico pode ser empregado como revestimento (camada de rolamento), camada de ligação (binder), regularização ou reforço do pavimento.

6.6.1.1. Condições Gerais

Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

O concreto asfáltico somente deve ser fabricado, transportado e aplicado quando a temperatura ambiente for superior a 10°C.

6.6.1.2. Condições Específicas

6.6.1.2.1. Materiais

Os materiais constituintes do concreto asfáltico são agregados graúdos, agregados miúdos, material de enchimento (fíler) e ligante asfáltico, os quais devem satisfazer às normas e às especificações aprovadas pelo DNIT.

a) Cimento asfáltico

Podem ser empregados os cimentos asfálticos puros (DNER-EM 204/95) ou modificados por polímeros ou borracha. Todo carregamento que chegar à obra deve apresentar certificado com resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação por parte do

fabricante. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a fábrica e o canteiro de obra.

b) Agregados

→ Agregado graúdo: pode ser pedra britada, escória, seixo rolado preferencialmente britado ou outro material disponível na região, mas que atenda às especificações. Deve apresentar as seguintes características:

- desgaste por abrasão Los Angeles $\leq 50\%$ (DNER-ME 035/98);
- índice de forma $> 0,5$; e partículas lamelares $< 10\%$ (DNER-ME 086/94);
- durabilidade, perda $< 12\%$ (DNER-ME 089/94).

→ Agregado miúdo: pode ser areia, pó de pedra ou outro material indicado nas especificações. Suas partículas individuais devem ser resistentes, estando livres de torrões de argila e de substâncias nocivas. Deve apresentar equivalente de areia $\geq 55\%$ (DNER-ME 054/98).

→ Material de enchimento (filler) (DNER-EM 367/97): pode ser constituído por cimento Portland, cal, pó-calcário, cinza volante etc. Quando da aplicação deve estar seco e isento de grumos.

c) Melhorador de adesividade

O melhorador de adesividade (dope) deve ser adicionado quando não há boa adesividade entre o ligante asfáltico e os agregados graúdos ou miúdos. A verificação da adesividade do ligante com o melhorador de adesividade é definida pelos seguintes ensaios:

- Métodos DNER-ME 078/94 e DNER-ME 079/94, após submeter o ligante asfáltico contendo o dope ao ensaio RTFOT (ASTM D 2872-04) ou ao ensaio ECA (ASTM D 1754-09);
- Ensaio de dano por umidade induzida (AASHTO T 283-07) para avaliar a resistência de misturas asfálticas compactadas. Neste caso, a razão da resistência à tração por compressão diametral estática antes e após a imersão deve ser $> 0,7$ (DNER-ME 138/94).

6.6.1.2.2. Composição da mistura

A composição do concreto asfáltico deve satisfazer aos requisitos da **Tabela 21** no que diz respeito à granulometria (DNER-ME 083/98) e ao teor de ligante asfáltico determinado pelo projeto da mistura.

Tabela 21 - Faixas granulométricas de concreto asfáltico.

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
#	mm	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	$\pm 7\%$
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	$\pm 7\%$

¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no CS ₂ (+) (%)		4,0 - 7,0	4,5 - 7,5	4,5 - 9,0	± 0,3%
Camada		Ligação (binder)	Ligação e rolamento	Rolamento	

A faixa usada deve ser **aquela cujo** diâmetro máximo é inferior a 2/3 da espessura da camada.

a) Devem ser observados os valores limites para as características especificadas na **Tabela 22**

Tabela 22 - Características do concreto asfáltico.

Características	Método de ensaio	Camada de rolamento	Camada de ligação
Porcentagem de vazios, %	DNER-ME 043/95	3 a 5	4 a 6
Relação betume/vazios	DNER-ME 043/95	75 - 82	65 - 72
Estabilidade, mínima, (kgf) (75 golpes)	DNER-ME 043/95	500	500
Resistência à Tração por Compressão Diametral estática a 25°C, mínima, MPa	DNER-ME 138/94	0,65	0,65

b) As misturas devem atender às especificações da relação betume/vazios ou aos mínimos de vazios do agregado mineral, dados pela **Tabela 23**.

Tabela 23 - Valores mínimos de VAM para o concreto asfáltico.

VAM - Vazios do Agregado Mineral		
Tamanho Nominal Máximo do agregado		VAM Mínimo
#	mm	%
1½"	38,1	13
1"	25,4	14
¾"	19,1	15
½"	12,7	16
3/8"	9,5	18

6.6.1.2.3. Produção da massa asfáltica - Usina para misturas asfálticas

A usina deve estar equipada com uma unidade classificadora de agregados e dispor de misturador capaz de produzir uma mistura uniforme. Um termômetro, com proteção metálica e escala de 90° a 210°C (precisão ±1°C), deve ser fixado no dosador de ligante ou na linha de alimentação do asfalto, em local adequado, próximo à descarga do misturador. A usina deve ser equipada com pirômetro elétrico ou outro instrumento termométrico aprovado, colocado na descarga do secador, com dispositivo para registrar a temperatura dos agregados, com precisão de ±5°C. A usina deve possuir termômetros nos silos quentes.

A usina deve possuir silos de agregados múltiplos, com pesagem dinâmica e deve ser assegurada a homogeneidade das granulometrias dos diferentes agregados.

A usina deve possuir ainda uma cabine de comando e quadros de força. Tais partes devem estar instaladas em recinto fechado, com os cabos de força e comandos ligados em tomadas externas especiais para esta aplicação. A operação de pesagem de agregados e do ligante asfáltico deve ser semiautomática com leitura instantânea e acumuladora, por meio de registros digitais em “display” de cristal líquido. Devem existir potenciômetros para compensação das massas específicas dos diferentes tipos de ligantes asfálticos e para seleção de velocidade dos alimentadores dos agregados frios.

a) Temperatura do ligante

A temperatura do ligante asfáltico deve ser determinada para cada tipo de produto, em função da relação temperatura x viscosidade. A temperatura conveniente é aquela na qual o ligante asfáltico apresenta uma viscosidade situada dentro da faixa de 75 a 95 sSF, Saybolt-Furol (ABNT NBR 14950). A temperatura do ligante asfáltico não deve ser inferior a 107°C nem exceder a 177°C. No caso de materiais modificados, as temperaturas devem ser fornecidas pelo fabricante do produto.

b) Temperatura dos agregados

Os agregados devem ser aquecidos a temperaturas de 10°C a 15°C acima da temperatura do ligante asfáltico.

6.6.1.2.4. Equipamentos

Os equipamentos necessários à execução dos serviços devem ser adequados aos locais de instalação das obras, atendendo ao que dispõem as especificações para os serviços.

a) Caminhões basculantes para transporte da mistura

Os caminhões, tipo basculante, para o transporte do concreto asfáltico usinado a quente, devem ter caçambas metálicas, limpas e lisas, ligeiramente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico, ou solução de cal, de modo a evitar a aderência da mistura à chapa. Não é permitida a utilização de produtos como óleo diesel, gasolina etc.

b) Equipamento para espalhamento e acabamento

O equipamento para espalhamento e acabamento deve ser constituído de vibroacabadoras, capazes de espalhar e conformar a mistura no alinhamento, cotas e abaulamento definidos no projeto. As vibroacabadoras devem ser equipadas com parafusos sem fim, para colocar a mistura exatamente nas faixas, e possuir dispositivos rápidos e eficientes de direção, além de

marchas para frente e para trás. As vibroacabadoras devem ser equipadas com alisadores e dispositivos para aquecimento, à temperatura requerida, para a colocação da mistura sem irregularidade.

c) Equipamento para compactação

O equipamento para a compactação deve ser constituído por rolo pneumático e rolo metálico liso, tipo tandem ou rolo vibratório. Os rolos pneumáticos, autopropulsionados, devem ser dotados de dispositivos que permitam a calibragem de variação da pressão dos pneus de 2,5 kgf/cm² a 8,4 kgf/cm². O equipamento em operação deve ser suficiente para compactar a mistura na densidade de projeto, enquanto ela se encontra em condições de trabalhabilidade.

NOTA: Todo equipamento a ser utilizado deve ser vistoriado antes do início da execução do serviço de modo a garantir condições apropriadas de operação, sem o que não será autorizada a sua utilização.

6.6.1.3. Execução

6.6.1.3.1. Pintura de ligação

Caso tenham decorrido mais de sete dias entre a execução da imprimação e a do revestimento, ou de ter havido trânsito sobre a superfície imprimada, ou ainda ter sido a imprimação coberta com algum tipo de material (areia etc.), deve ser feita uma pintura de ligação antes da execução do revestimento (DNER-ES 307/97).

6.6.1.3.2. Transporte do concreto asfáltico

O concreto asfáltico produzido deve ser transportado, da usina ao ponto de aplicação, em caminhões cobertos com lona, para evitar que a mistura esfrie e que ela seja colocada na pista na temperatura especificada.

6.6.1.3.3. Distribuição e compactação da mistura

A distribuição do concreto asfáltico deve ser feita por vibroacabadoras. Caso ocorram irregularidades na superfície da camada, estas devem ser corrigidas pela adição manual de concreto asfáltico, sendo esse espalhamento efetuado por meio de ancinhos e rodos metálicos. Após a distribuição do concreto asfáltico tem início a compactação. Geralmente, recomenda-se que a temperatura de compactação seja a mais elevada que a mistura asfáltica possa suportar, dentro da faixa de 125 a 155 sSF estabelecida em função da viscosidade x temperatura do ligante asfáltico.

No caso de rolos de pneus, de pressão variável, inicia-se a rolagem com baixa pressão, a qual

deve ser aumentada à medida que a mistura seja compactada, e, conseqüentemente, suportando pressões mais elevadas.

A compactação deve ser iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista. Nas curvas, de acordo com a superelevação, a compactação deve começar sempre do ponto mais baixo para o ponto mais alto. Cada passada do rolo deve ser recoberta na seguinte de, pelo menos, metade da largura rolada. Em qualquer caso, a operação de rolagem deve ser realizada até o momento em que seja atingida a compactação especificada. Durante a rolagem não são permitidas mudanças de direção e inversões bruscas da marcha, nem estacionamento do equipamento sobre o revestimento recém-compactado. As rodas do rolo devem ser umedecidas adequadamente, de modo a evitar a aderência da mistura.

6.6.1.3.4. Abertura ao tráfego

Os revestimentos recém-construídos devem ser mantidos sem tráfego, até o seu completo resfriamento.

6.6.1.4. Controle dos Materiais

Todos os materiais utilizados na fabricação de concreto asfáltico devem ser examinados em laboratório, seguindo a metodologia do DNIT, e devem satisfazer às especificações em vigor.

6.6.1.4.1. Agregados

O controle da qualidade dos agregados consta do seguinte:

- a) Ensaios eventuais: somente quando houver dúvidas ou variações quanto à origem e natureza dos materiais.
 - Ensaio de desgaste por abrasão Los Angeles (DNER-ME 035/98);
 - Ensaio de adesividade (ABNT NBR 12583:1992 e ABNT NBR 12584:1992) e, se o cimento asfáltico contiver dope, devem ser executados os ensaios de RTFOT (ASTM D 2872-04) ou ECA (ASTM D 1754-09) e de dano por umidade induzida (AASHTO T 283-07 e DNER-ME 035/98);
 - Ensaio de índice de forma do agregado graúdo (ABNT NBR 7809:2006).

- b) Ensaios de rotina: jornada de 8 horas de trabalho
 - 2 ensaios de granulometria do agregado, de cada silo quente (DNER-ME 083/98);
 - 1 ensaio de granulometria do material de enchimento (filler) (DNER-ME 080/94);
 - 1 ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo (DNER-ME 054/98).

6.6.1.4.2. Cimento asfáltico

Para o controle tecnológico do cimento asfáltico devem ser feitos os seguintes ensaios:

- 1 ensaio de penetração a 25°C (ABNT NBR 6576:2007), para todo carregamento que chegar à obra;
- 1 ensaio do ponto de fulgor (ABNT NBR 11341:2008), para todo carregamento que chegar à obra;
- 1 índice de susceptibilidade térmica (ABNT NBR 6560:2008) para cada 100t;
- 1 ensaio de espuma, para todo carregamento que chegar à obra;
- 1 ensaio de viscosidade “Saybolt-Furol” (ABNT NBR 14950:2003), para todo carregamento que chegar à obra;
- 1 ensaio de viscosidade “Saybolt-Furol” a diferentes temperaturas, para o estabelecimento da curva viscosidade x temperatura, para cada 100t.

6.6.1.5. Controle da Usinagem do Concreto Asfáltico

O controle da usinagem (produção) do concreto asfáltico deve ser exercido através de coleta de amostras, ensaios e determinações feitas de maneira aleatória.

a) Controles da quantidade de ligante asfáltico na mistura

Devem ser efetuadas extrações de asfalto, de amostras coletadas na pista, logo após a passagem da acabadora (DNER-ME 053/94). O teor de ligante na mistura deve respeitar os limites estabelecidos no projeto da mistura, devendo-se observar a tolerância máxima de $\pm 0,3\%$. Deve ser executada uma determinação, no mínimo, a cada 700m² de pista.

b) Controle da granulometria da mistura de agregados

Deve ser procedido o ensaio de granulometria (DNER-ME 080/94) da mistura dos agregados resultantes das extrações realizadas para o controle da quantidade de ligante asfáltico. A curva granulométrica deve atender à faixa selecionada, enquadrando-se dentro das tolerâncias especificadas no projeto da mistura.

c) Controle de temperatura

São efetuadas medidas de temperatura, durante a jornada de 8 horas de trabalho, em cada um dos itens abaixo discriminados:

- do agregado, no silo quente da usina;
- do ligante, na usina;
- da mistura, no momento da saída do misturador.

As temperaturas podem apresentar variações de acordo com os valores especificados no projeto da mistura.

d) Controle das características da mistura

Recomenda-se coletar cerca de 30kg de massa asfáltica na usina que deverá ser encaminhado para realização de ensaios de dano por umidade induzida (AASHTO T 283), ensaios de adesividade e ensaio de massa específica máxima Rice (AASHTO T 209 e ASTM D 2041) para controle do grau de compactação.

6.6.1.6. Espalhamento e Compactação na Pista

Devem ser efetuadas medidas de temperatura durante o espalhamento da massa imediatamente antes de iniciada a compactação. Essas temperaturas devem ser as indicadas, com uma tolerância de $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

O controle do grau de compactação, GC, da mistura asfáltica deve ser feito a partir da comparação da densidade aparente de corpos de prova extraídos da mistura compactada na pista, por meio de sonda rotativa, com os valores de densidade aparente de projeto da mistura. Devem ser realizadas determinações em locais escolhidos, aleatoriamente, durante a jornada de trabalho, não sendo permitidos GC inferiores a 97% ou superiores a 101%, em relação à massa específica aparente do projeto da mistura.

6.6.1.7. Verificação do Produto

A verificação final da qualidade do revestimento de concreto asfáltico (produto) deve ser realizada através das seguintes determinações:

- a) Espessura da camada: deve ser medida por ocasião da extração dos corpos de prova na pista, ou pelo nivelamento, do eixo e dos bordos, antes e depois do espalhamento e compactação da mistura. Admite-se a variação de $\pm 5\%$ em relação à espessura de projeto.
- b) Alinhamentos: a verificação do eixo e dos bordos deve ser feita durante os trabalhos de locação e nivelamento nas diversas seções correspondentes às estacas da locação. Os desvios verificados não devem exceder ± 5 cm.
- c) Acabamento da superfície: durante a execução deve ser feito em cada estaca o controle de acabamento da superfície do revestimento, com o auxílio de duas réguas, uma de 3,00m e outra de 1,20m, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, respectivamente. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder a 0,5cm, quando verificada com qualquer das réguas. O acabamento longitudinal da superfície deve ser verificado por aparelhos medidores de irregularidade tipo resposta devidamente calibrados (DNER-PRO 164/94 e DNER-PRO 182/94) ou outro dispositivo equivalente para esta finalidade. Neste caso, deve atender à seguinte condição:
 - Quociente de Irregularidade, $QI = \leq 35$ contagens/km ($IRI \leq 2,7$).

d) Condições de segurança: o revestimento de concreto asfáltico acabado deve atender às seguintes condições:

- Valores de resistência à derrapagem, medido com o pêndulo Britânico (ASTM E 303-08):
VDR \geq 45;
- Altura de areia (ASTM E 965-06): $1,20\text{mm} \geq \text{HS} \geq 0,60\text{mm}$.

A **Tabela 24** apresenta uma lista de ensaios que devem ser utilizados no controle de execução.

Tabela 24 - Lista de ensaios de controle de campo.

Norma	Método de Ensaio
DNER-ME 024/94	Determinação das deflexões pela viga Benkelman
DNER-PRO 013/94	Coleta de amostras de misturas betuminosas para pavimentação
DNER-PRO 273/96	Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer - FWD
ASTM E 303-08	Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester
ASTM E 965-06	Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique
DNER-PRO 175/94	Pavimento - Aferição de Viga Benkelman

Durante a fase de construção do pavimento, deve ser feita coleta de amostras de materiais e de misturas antes da aplicação na pista. As quantidades a serem coletadas e o espaçamento de amostragem estão discriminados na **Tabela 25**.

Tabela 25 - Coleta de materiais das camadas durante a construção (em pista).

Camada	Quantidade por amostra (kg)	Espaçamento
Subleito	30	1 amostra a cada 100m (ou início, meio e fim do segmento)
Reforço do subleito	30	
Sub-base	45	
Base	45	
Revestimento - Mistura usinada	10	1 amostra de cada caminhão
Revestimento - Tratamento Superficial	10 (por tipo agregado) 1 litro por camada (emulsão)	Controle de campo da taxa de agregado e ligante no início do trecho
Materiais estabilizados com cimento ou outro produto químico	Moldagem de 3 CPs na pista	1 amostra a cada 100m (ou início, meio e fim do segmento)

6.6.2. Tratamentos Superficiais

Os tratamentos superficiais de penetração direta ou invertida consistem no espalhamento sucessivo de camadas de ligante e agregado sobre a base de um pavimento. Dependendo do

número de camadas são chamados de simples (TSS, DNIT 146-2010-ES), duplo (TSD, DNIT 147-2010-ES) ou triplo (TST, DNIT 148-2010-ES).

A dimensão do agregado da segunda e terceira camadas deve ser menor que o da primeira para facilitar o intertravamento.

6.6.2.1. Condições Gerais

Todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pela norma, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento para transporte com destino ao canteiro de serviço, se o período entre os dois eventos ultrapassar dez dias. Deve trazer também indicação clara de sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

É responsabilidade da executante a proteção dos serviços e materiais contra a ação destrutiva das águas pluviais, do trânsito e de outros agentes que possam danificá-los.

6.6.2.2. Condições Específicas

Os materiais constituintes do tratamento superficial simples são o ligante asfáltico e o agregado mineral, os quais devem satisfazer as especificações de materiais do DNIT.

6.6.2.2.1. Caracterização de Materiais

O número e a frequência de determinações correspondentes aos diversos ensaios serão estabelecidos de acordo com os preceitos da norma DNER-PRO 277/97.

- a) Ligante asfáltico: deve atender às exigências da norma DNER-EM 369/97. Geralmente, os ligantes utilizados em TS são as emulsões catiônicas RR-1C e RR-2C, que oferecem uma série de vantagens: boa adesividade, mesmo com agregado úmido; menor susceptibilidade térmica e menor consumo de energia. A emulsão RR-1C é utilizada quando se necessita de um produto mais fluido e a RR-2C, quando se deseja um produto mais viscoso e com maior teor de resíduo asfáltico.
- b) Melhorador de adesividade: não havendo boa adesividade entre o agregado e o ligante asfáltico, deverá ser empregado um melhorador de adesividade, na quantidade fixada no projeto.

- c) Agregados: os agregados podem ser pedra, escória, cascalho ou seixo rolado, britados. Devem consistir de partículas limpas, duras, resistentes, isentas de torrões de argila e substâncias nocivas, e apresentar as exigências mínimas:
- Desgaste por abrasão Los Angeles $\leq 40\%$ (DNER-ME 035/98), admitindo-se agregados com valores maiores, no caso de utilização anterior ter comprovado desempenho satisfatório;
 - Índice de forma $> 0,5$ (DNER-ME 086/94);
 - Durabilidade, perda $< 12\%$ (DNER-ME 089/94);
 - Granulometria do agregado (DNER-ME 083/98), obedecendo a uma das seguintes faixas, das **Tabelas 26** (TSS), **27** (TSD) ou **28** (TST).

Tabela 26 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Simples - TSS.

Granulometria dos agregados (% passando em peso)				
Peneiras		Faixas		Tolerâncias da faixa de projeto
pol.	mm	A	B	
1"	25,4	-	-	± 7
$\frac{3}{4}$ "	19,0	-	-	± 7
$\frac{1}{2}$ "	12,5	100	-	± 7
$\frac{3}{8}$ "	9,5	85 - 100	100	± 7
nº 4	4,8	10 - 30	85 - 100	± 5
nº 10	2,0	0 - 10	10 - 40	± 5
nº 200	0,075	0 - 2	0 - 2	± 2

Tabela 27 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Duplo - TSD.

Granulometria dos agregados (% passando em peso)					
Peneiras		Faixas			Tolerâncias da faixa de projeto
pol.	mm	A	B	C	
		1ª camada	1ª ou 2ª camada	2ª camada	
1"	25,4	100	-	-	± 7
$\frac{3}{4}$ "	19,0	90 - 100	-	-	± 7
$\frac{1}{2}$ "	12,5	20 - 55	100	-	± 7
$\frac{3}{8}$ "	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	0,075	0 - 2	0 - 2	0 - 2	± 2

Nota: a faixa B pode ser empregada como 1ª ou 2ª camada.

Tabela 28 - Granulometria dos agregados - Tratamento Superficial Triplo - TST.

Granulometria dos agregados (% passando em peso)					
Peneiras		Faixas			Tolerâncias da faixa de projeto
pol.	mm	A	B	C	
		1ª camada	1ª ou 2ª camada	2ª camada	
$1 \frac{1}{2}$ "	38,0	100	-	-	
1"	25,4	90 - 100	-	-	± 7

¾"	19,0	20 - 55	-	-	±7
½"	12,5	0 - 15	100	-	±7
3/8"	9,5	0 - 5	85 - 100	100	±7
nº 4	4,8	-	10 - 30	85 - 100	±5
nº 10	2,0	-	0 - 10	10 - 40	±5
nº 200	0,075	0 - 2	0 - 2	0 - 2	±2

6.6.2.2.2. Taxas de aplicação e de espalhamento

As quantidades, ou taxas de aplicação de ligante asfáltico e de espalhamento de agregados, devem ser fixadas no projeto e ajustadas no campo, por ocasião do início dos serviços. Quando for empregado agregado poroso, deverá ser considerada a sua porosidade na fixação da taxa de aplicação do ligante asfáltico.

Recomendam-se, de uma maneira geral, as taxas de aplicação de agregados e de ligante asfáltico, indicadas nas **Tabelas 29, 30 e 31**, de acordo com o número de camadas, TSS, TSD e TST, respectivamente.

Tabela 29 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Simples.

Taxas	
Ligante asfáltico	Agregado
0,8 a 1,2 l/m ²	8 a 12 kg/m ²

Tabela 30 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Duplo.

Camada	Ligante asfáltico	Agregado
1ª	-	20 a 25 kg/m ²
2ª	-	10 a 12 kg/m ²
1ª e 2ª aplicações	2 a 3 l/m ²	-

Tabela 31 - Taxas de aplicação - Tratamento Superficial Triplo.

Camada	Ligante asfáltico	Agregado
1ª	-	20 a 25 kg/m ²
2ª	-	10 a 12 kg/m ²
3ª	-	5 a 7 kg/m ²
1ª, 2ª e 3ª aplicações	2 a 3 l/m ²	-

6.6.2.2.3. Execução

- a) Inicialmente, deverá ser feita uma varredura da pista imprimada ou pintada, para eliminar todas as partículas de pó ou material **solto**;
- b) O ligante asfáltico deverá ser aplicado de uma só vez em toda a largura da faixa a ser construída. Caso ocorra algum excedente ou falta de ligante asfáltico na pista durante a operação de aplicação do material, deve ser realizada a correção prontamente;

- c) Cuidados especiais devem ser observados na execução das juntas transversais (início e fim de cada aplicação de ligante asfáltico) e das juntas longitudinais (junção de faixas quando o revestimento é executado em duas ou mais faixas) para se evitar excesso ou falta de ligante asfáltico aplicado nestes locais;
- d) Imediatamente após a aplicação do ligante, deve ser realizado o espalhamento da camada do agregado na quantidade indicada no projeto, sendo que excessos ou faltas devem ser corrigidos antes do início da compressão;
- e) Deve-se iniciar a compressão do agregado imediatamente após o seu lançamento na pista. A compressão deve começar pelos bordos em direção ao eixo nos trechos em tangente e, nas curvas, deverá progredir do bordo mais baixo para o bordo mais alto, sendo cada passagem do rolo recoberta, na vez subsequente, de pelo menos metade da largura deste;
- f) Após a compressão da camada deve ser realizada uma varredura leve do material solto;
- g) No caso de TSD, executar a segunda camada de modo idêntico à primeira e no caso de TST, executar a segunda e a terceira camadas de modo idêntico à primeira;
- h) Não dever ser permitido o tráfego quando da aplicação do ligante asfáltico ou do agregado. Liberar o tráfego somente após o término da compressão e de maneira controlada.

6.6.2.3. Controle Tecnológico

6.6.2.3.1. Controle dos materiais

Os materiais utilizados na execução do tratamento superficial simples devem ser rotineiramente examinados mediante a execução dos procedimentos especificados nos itens seguintes.

a) Ligante asfáltico

Todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra deverá ser submetido aos seguintes ensaios:

- Determinação do resíduo de destilação de emulsões asfálticas (ABNT NBR 6568:2005);
- Peneiramento (ABNT NBR 14393:2012);
- Desemulsibilidade (ABNT NBR 6569:2008);
- Carga de partícula (ABNT NBR 6567:2015).

b) Agregados

- Análise granulométrica (DNER-ME 083/98), para cada jornada de trabalho, com amostras coletadas de maneira aleatória;
- Índice de forma (DNER-ME 086/94) para cada 900 m³;
- Adesividade (DNER-ME 079/94) para todo carregamento de ligante asfáltico que chegar à obra, e sempre que houver variação da natureza do material.

c) Melhorador de adesividade

- Adesividade (DNER-ME 078/94), toda vez que o aditivo for incorporado ao ligante asfáltico e para todo o asfalto aditivado antes de sua aplicação.

6.6.2.3.2. Controle de execução

O controle da execução do tratamento superficial simples deve ser exercido através das determinações a seguir indicadas, feitas de maneira aleatória. Para a taxa de aplicação e espalhamento dos materiais devem ser atendidas as seguintes exigências mínimas:

a) Ligante asfáltico

O controle da quantidade do ligante asfáltico aplicado deve ser realizado mediante a colocação de bandejas de peso e área conhecidos na pista onde está sendo feita a aplicação. Por intermédio de pesagens, após a passagem do carro distribuidor, tem-se a quantidade de material asfáltico aplicada. A tolerância admitida na taxa de aplicação é de $\pm 0,2$ l/m².

b) Agregados

O controle de quantidade de agregados espalhados longitudinal e transversalmente deve ser realizado mediante a colocação de bandejas, de peso e área conhecidos, na pista onde estiver sendo feito o espalhamento. Por intermédio de pesagens, após a passagem do dispositivo espalhador, tem-se a quantidade de agregado espalhada. A tolerância admitida na taxa de aplicação é de $\pm 1,5$ kg/m².

6.6.2.3.3. Verificação final da qualidade

- a) Acabamento da superfície: deve ser verificado com duas réguas, uma de 1,20m e outra de 3,00m de comprimento, colocadas em ângulo reto e paralelamente ao eixo da estrada, nas diversas seções correspondentes às estacas de locação. A variação da superfície, entre dois pontos quaisquer de contato, não deve exceder 0,5cm, quando verificada com qualquer das duas réguas.
- b) Alinhamentos: a verificação do eixo e dos bordos, nas diversas seções correspondentes às estacas da locação, é feita à trena. Os desvios verificados não deverão exceder ± 5 cm.

6.6.3. Microrrevestimento Asfáltico a Frio com Emulsão Modificada por Polímero

6.6.3.1. Condições Gerais

O microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímeros deve satisfazer os requisitos exigidos na Especificação DNIT ES 035/2005.

Todo carregamento de emulsão asfáltica modificada com polímero que chegar à obra deve apresentar certificado com resultados dos ensaios de caracterização exigidos pela especificação, correspondente à data de fabricação ou ao dia de carregamento e transporte para o canteiro de serviço. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a fábrica e o canteiro de obra. Não é permitida a execução dos serviços em dias de chuva.

6.6.3.2. Condições Específicas

6.6.3.2.1. Material

Os constituintes do microrrevestimento asfáltico a frio são: agregado miúdo, material de enchimento (filler), emulsão asfáltica modificada por polímero do tipo SBS, aditivos (se necessários) e água, os quais devem satisfazer as especificações aprovadas pelo DNER.

a) Emulsão asfáltica modificada por polímero

Emulsão asfáltica modificada por polímero de ruptura controlada, catiônica.

b) Aditivos

Podem ser empregados aditivos para acelerar ou retardar a ruptura da emulsão na execução do microrrevestimento asfáltico a frio.

c) Água

Deve ser limpa, isenta de matéria orgânica e outras substâncias prejudiciais à ruptura da emulsão asfáltica. Será empregada na quantidade necessária a obter consistência adequada.

d) Agregados

É constituído de agregados, pó de pedra ou mistura de ambos. Suas partículas individuais devem ser resistentes, livres de torrões de argila, substâncias nocivas e apresentar as características seguintes:

- desgaste por abrasão Los Angeles $\leq 40\%$ (DNER ME 035/98);
- perda no ensaio de durabilidade $< 12\%$ (DNER- ME 089);
- equivalente de areia $\geq 60\%$ (DNER-ME 054).

e) Material de enchimento (filler)

Quando necessário deve ser constituído por materiais não plásticos, secos e isentos de grumos, tais como pó de pedra, cimento Portland, cal, pó calcário (DNER EM-367/97).

6.6.3.2.2. Composição da Mistura

A composição granulométrica da mistura de agregados deve satisfazer os requisitos da **Tabela 32**, com as respectivas tolerâncias quando ensaiadas pelo Método DNER-ME 083.

Tabela 32 - Composição granulométrica da mistura de agregados (ISSA - 143).

Peneira de malha quadrada		Porcentagem passando, em peso			Tolerância da curva de projeto (%)
#	mm	Faixa I	Faixa II	Faixa III	
½"	12,5	-	-	100	-
3/8"	9,5	100	100	85 - 100	± 5
nº 4	4,75	90 - 100	70 - 90	60 - 87	± 5
nº 8	2,36	65 - 90	45 - 70	40 - 60	± 5
nº 16	1,18	45 - 70	28 - 50	28 - 45	± 5
nº 30	0,60	30 - 50	19 - 34	19 - 34	± 5
nº 50	0,33	18 - 30	12 - 25	14 - 25	± 5
nº 100	0,15	10 - 21	7 - 18	8 - 17	± 5
nº 200	0,075	5 - 15	5 - 15	4 - 8	± 3
Asfalto residual	% em peso	7,5 - 13,5	6,5 - 12,0	5,5 - 7,5	± 2
Filler	% em peso	0 - 3	0 - 3	0 - 3	± 0,3
Polímero	% em peso do asfalto residual	3 mín.	3 mín.	3 mín.	-
Taxa de aplicação	kg/m ²	5 - 19	8 - 16	15 - 30	-
Espessura (mm)	-	4 - 15	6 - 20	12 - 37	-
Utilização		Áreas urbanas e aeroportos	Rodovias de tráfego pesado e trilhas de Roda	Regularização e rodovias de tráfego pesado	-

NOTA: As tolerâncias são permitidas desde que os limites da faixa não sejam ultrapassados.

Outras informações gerais sobre o asfalto residual da mistura taxas de aplicação / espessuras e utilização estão também apresentadas na **Tabela 33**.

Tabela 33 - Métodos e condições de dosagem (ISSA - 143).

Método	Resultado
ISSA - TB 100 Wet Track Abrasion Loss	Máximo 1 hora ou 538 g/m ²
ISSA - TB 109 Loaded Wheel Test - Sand Adhesion	Máximo 538 g/m ²
ISSA - TB 614 Wet Stripping Test	Mínimo 90% coberto

A dosagem adequada do microrrevestimento asfáltico a frio é realizada com base nos ensaios recomendados pela ISSA - *International Slurry Surfacing Association* (ISSA, 2010).

Um ajuste de dosagem dos componentes do microrrevestimento asfáltico a frio pode ser feito nas condições de campo, antes do início do serviço.

6.6.3.2.3. Equipamento

a) Equipamento de limpeza

Para limpeza da superfície utilizam-se vassouras mecânicas, jatos de ar comprimido, ou outros.

b) Equipamento de mistura e de espalhamento

O microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero deve ser executado com equipamento apropriado que apresente as seguintes características mínimas:

- silo para agregado miúdo;
- depósitos separados para água, emulsão asfáltica e aditivos;
- depósito para material de enchimento (filler), com alimentador automático;
- sistema de circulação e alimentação do ligante asfáltico, interligado por acoplagem direta ou não, com sistema de alimentação do agregado miúdo, de modo a assegurar perfeito controle de traço;
- sistema misturador capaz de processar uma mistura uniforme e de despejar a massa diretamente sobre a pista, em operação contínua, sem processo de segregação;
- chassi - todo o conjunto descrito nos itens anteriores é montado sobre um chassi móvel autopropulsado, ou atrelado a um cavalo mecânico, ou trator de pneus;
- caixa distribuidora - esta peça se apoia diretamente sobre o pavimento atrelada ao chassi. Deve ser montada sobre borracha, ter largura regulável para 3,50m (meia pista) e ser suficientemente pesada para garantir uniformidade de distribuição e bom acabamento.

6.6.3.2.4. Execução

A aplicação do microrrevestimento asfáltico a frio com emulsão polímero deve ser realizada à velocidade uniforme, a mais reduzida possível. Deve ser observada com **atenção à** consistência da massa: quando necessário, abrir ou fechar a alimentação d'água, de modo a obter uma consistência uniforme, mantendo a caixa distribuidora uniformemente carregada de massa.

6.6.3.2.5. Correção de falhas

As possíveis falhas de execução, **tais como escassez** ou excesso de massa, irregularidade na emenda de faixas, devem ser corrigidas, imediatamente, após a execução. A escassez é corrigida com adição de massa e os excessos com a retirada por meio de rodos de madeira ou de borracha. Após essas correções, a superfície áspera deixada é alisada com a passagem suave de qualquer tecido espesso, umedecido com a própria massa, ou com emulsão.

6.6.3.3. Controle Tecnológico dos Materiais

Todos os materiais devem ser examinados em laboratório, obedecendo à metodologia indicada pelo DNIT, e aceitos de acordo com as especificações em vigor.

6.6.3.3.1. Emulsão asfáltica modificada por polímero

Para o controle de qualidade da emulsão asfáltica, para todo carregamento que chegar à obra, devem ser realizados os seguintes ensaios:

- Viscosidade Saybolt-Furol (ABNT NBR 14491);
- Resíduo (ABNT NBR 6568);
- Peneiramento (DNER-ME 005/94);
- Carga de partícula (DNER-ME 002/98);
- Recuperação elástica a 25°C, no resíduo da emulsão (DNER-ME 382/99).

6.6.3.3.2. Agregados

O controle de qualidade dos agregados consta do seguinte:

- Granulometria do agregado (DNER-ME 083/98);
- Adesividade (DNER-ME 059/94 e DNER-ME 079/94);
- Equivalente de areia (DNER-ME 054/98).

6.6.3.4. Controle Tecnológico da Execução

O Controle tecnológico da execução é realizado através de coleta aleatória de amostras, ensaios e determinações.

6.6.3.4.1. Verificação do equipamento

Cada equipamento empregado na aplicação do microrrevestimento asfáltico a frio deve ser calibrado no início dos serviços através da execução de segmentos experimentais.

As verificações efetuadas são as seguintes:

- consistência da mistura espalhada;
- atendimento do projeto da mistura conforme o item 5.6.3.2.2;
- quantidade, espessura e velocidade de aplicação: são determinadas através das taxas de aplicação obtidas por pesagem de bandejas ou outro dispositivo de área conhecida.

Se ao final dessas três verificações em segmentos experimentais os resultados esperados não forem alcançados, deve ser revisto todo o processo de calibração do equipamento.

6.6.3.4.2. Verificação da quantidade do ligante asfáltico modificado por polímero

A quantidade de ligante asfáltico deve ser determinada através da retirada de amostras aleatórias em cada segmento de aplicação, além da extração de betume com o aparelho Soxhlet (ASTM-D-2172). A porcentagem de ligante residual pode variar, no máximo, $\pm 0,3\%$ da fixada no projeto.

6.6.3.4.3. Verificação da granulometria da mistura de agregados

A verificação da granulometria da mistura de agregados é feita através da análise granulométrica da mistura de agregados provenientes do ensaio de extração, sendo que as tolerâncias devem estar de acordo com o projeto.

6.6.3.4.4. Acabamento da superfície

A superfície acabada é verificada visualmente, devendo se apresentar desempenada e com o mesmo aspecto e textura obtidos nos segmentos experimentais.

6.6.3.4.5. Alinhamentos

A verificação dos alinhamentos do eixo e bordos nas diversas seções correspondentes às estacas da locação é feita utilizando a trena. Os desvios verificados não devem exceder $\pm 5\text{cm}$.

6.6.4. Outros Tipos de Misturas Asfálticas

Para a execução dos outros tipos de misturas asfálticas devem ser seguidas as recomendações constantes nas suas respectivas especificações e normas, conforme apresentado na **Tabela 34**.

Tabela 34 - Misturas asfálticas utilizadas em camada de revestimento.

Stone Matrix Asphalt (SMA)	AASHTO MP 8-02 e AASHTO M 325-08 - Stone Matrix Asphalt (SMA)
Gap-Graded (GG)	CALTRANS. Gap-graded (GG). Caltrans SSP 39-700 A-10-01-01. California Department of Transportation, "Standard Special Provisions", Sacramento, CA, 2001
Camada Porosa de Atrito (CPA)	DNER-ES 386/99 - Camada Porosa de Atrito (CPA)
Pré-Misturado a Frio (PMF)	DNER-ES 317/97 - Pré-misturado a frio (PMF)

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos dez anos, o consumo médio anual de ligante asfáltico (asfalto) no Brasil tem sido de quase 2.500.000 toneladas, sendo que em 2014 ultrapassou 3.290.000 toneladas, quase que totalmente empregado em serviços de pavimentação asfáltica (ABEDA, 2017). Esperava-se que o asfalto produzido fosse aplicado na construção de novos pavimentos, o que seria possível pavimentar cerca de 500 mil quilômetros (35%) da malha não pavimentada. No entanto, apesar do elevado consumo, a quantidade de rodovias pavimentadas ainda é bem pequena (apenas 12,3%), tendo aumentado apenas 1,5% nesse período. A razão para isso é que, infelizmente, a baixa qualidade das obras tem culminado em pavimentos com reduzida vida útil, exigindo serviços de manutenção e reconstrução precoce, o que **implica a** utilização da maior parte do asfalto produzido nesses serviços.

Além disso, o estado insatisfatório dos pavimentos ocasiona aumento **de** custos operacionais (principalmente de transportes), repassados aos custos dos produtos e, conseqüentemente, **elevação dos gastos para os** usuários.

A falta de controle tecnológico durante as etapas de execução do pavimento, aliada ao despreparo das equipes técnicas, é o principal **fomentador** para essas condições. Uma melhoria na qualidade de uma estrada pode ser obtida durante o processo de construção do pavimento. Para reverter esse quadro, fica evidente a necessidade de ferramentas que **possam** auxiliar as empresas durante a construção dos pavimentos.

O presente projeto de pesquisa teve como objetivo geral elaborar um sistema de acompanhamento do controle tecnológico na execução dos serviços em obras de infraestrutura de transportes (pavimentos), a partir da identificação das possíveis causas para a baixa qualidade verificada nas obras já realizadas. O objetivo foi alcançado com a elaboração de toda a fundamentação teórica e capítulos baseados nos objetivos específicos do trabalho. De forma esquemática, o sistema foi resumido na **Figura 65** e se materializou no Manual de Boas Práticas de Obras de Pavimentação e no Aplicativo de Controle Tecnológico de Pavimentos – ConTecPav, programa computacional elaborado para o apoio e como exercício de cálculos ao supracitado manual (**Apêndice II**).

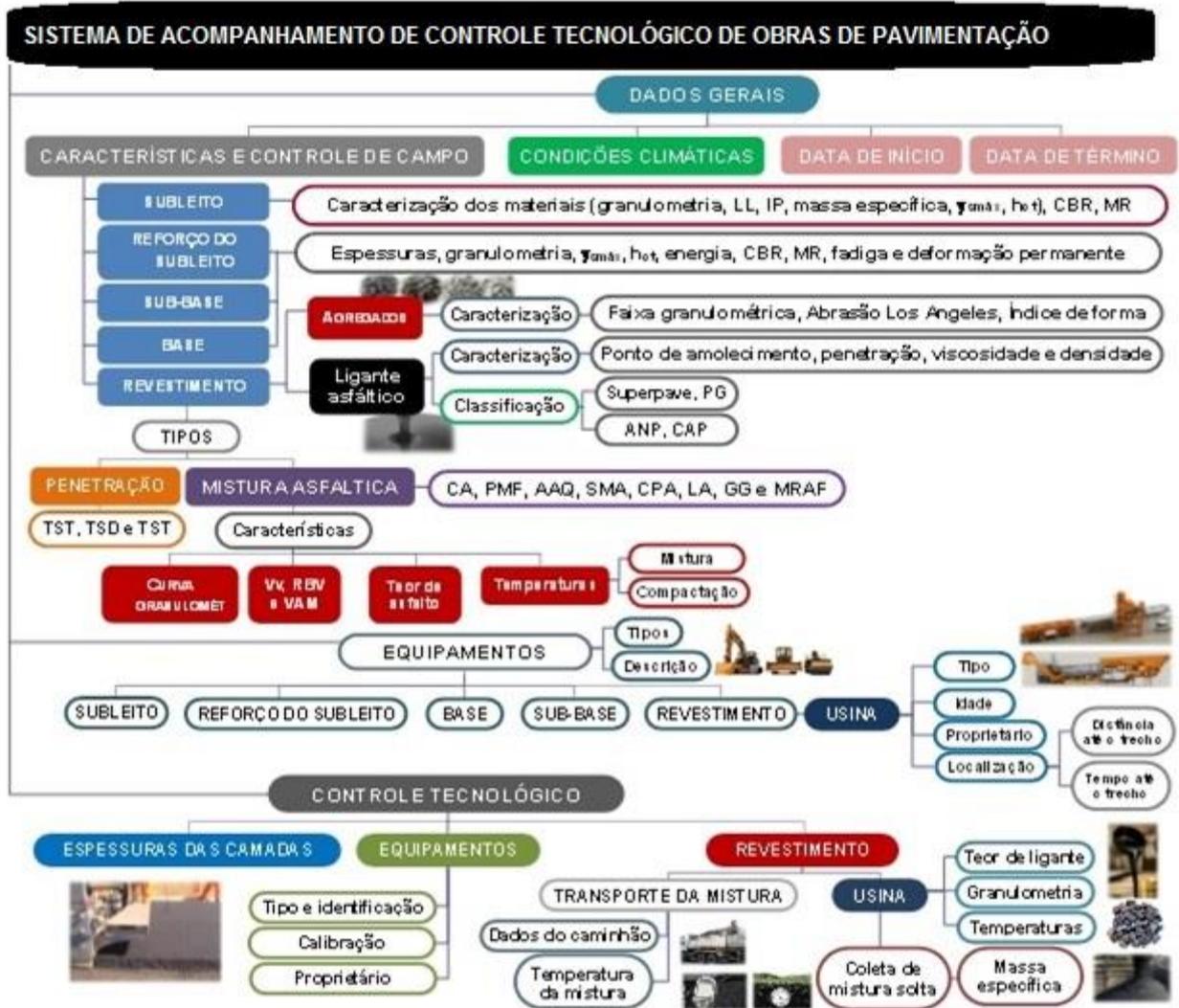


Figura 65 - Sistema de acompanhamento do controle tecnológico de pavimentos.

Para realizar o controle tecnológico de obras de pavimentação é necessário coletar dados e **informações essenciais** para a execução do pavimento. O SISTEMA DE ACOMPANHAMENTO DE CONTROLE TECNOLÓGICO DE OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO é uma ferramenta que irá auxiliar na coleta de dados para alimentar o aplicativo ConTecPav, programa computacional que irá fornecer a relação de todos os ensaios que devem ser realizados antes, durante e após a execução do pavimento. De forma geral, o controle tecnológico de uma obra de pavimentação deve ser realizado nas etapas de pré-execução, execução e pós-execução.

A etapa de PRÉ-EXECUÇÃO é composta por: coleta de informações do local da obra (dados de tráfego, número N, clima, características geométricas, coordenadas etc.); assim como da elaboração do projeto da estrutura do pavimento, com as camadas (espessuras e demais características de cada camada) e os respectivos materiais definidos, após a análise dos materiais disponíveis na região. O Manual de Controle Tecnológico irá auxiliar na forma de

coletar as amostras (solos, agregados, ligantes asfálticos etc.), assim como na caracterização e avaliação de cada tipo de material (solos: granulometria, umidade, LL, IP, massas específicas, $\gamma_{sm\acute{a}x}$, hot, resistência, CBR e MR; agregados: granulometria, abrasão Los Angeles, massas específicas, equivalente de areia e índice de forma; asfalto: ponto de amolecimento, penetração, viscosidade e densidade) que será empregado na construção do pavimento. O Manual e o ConTecPav indicam as quantidades a serem coletadas e as especificações que devem ser seguidas para a avaliação de cada material. Apresenta também os diferentes tipos de misturas asfálticas, com as especificações e normas para cada tipo, **assim como** as características (granulometria, propriedades volumétricas, mecânicas e teor de asfalto recomendado) para cada tipo de mistura. Vale ressaltar que no caso de misturas a quente é fundamental o controle de temperatura dos materiais e da mistura na usina e durante a aplicação (lançamento e compactação) da massa no campo.

Outro item abordado no sistema é em relação aos equipamentos recomendados para a execução das camadas, em função do tipo de material empregado. Durante a etapa de EXECUÇÃO é importante que todos os equipamentos sejam mantidos em perfeito funcionamento, devendo ser **verificadas** as condições antes do início da obra (etapa de pré-execução). A usina de asfalto deve ser calibrada antes de começar a produzir a massa asfáltica, **sendo essenciais a coleta e a verificação** da qualidade da mistura (temperatura, teor e granulometria) durante a sua produção. No caso de apresentar variação além do limite de tolerância especificado em norma, a produção deve ser interrompida e feita uma nova calibração.

O controle tecnológico da etapa de EXECUÇÃO compreende a realização das seguintes atividades: controle da volumetria da massa asfáltica (teor de ligante asfáltico e granulometria), realizado a partir da extração do ligante de amostras de massa asfáltica coletadas de cada caminhão; controle de temperatura da massa asfáltica na usina, quando o caminhão chega ao campo e após o espalhamento da massa no trecho, antes da compactação; controle do grau de compactação das camadas de mistura; medida das deflexões; controle da qualidade superficial de acabamento através de ensaios de macrotextura (mancha de areia) e microtextura (pêndulo Britânico). Também devem ser executados controles de construção de cada camada: base, sub-base, reforço de subleito e regularização do subleito.

A etapa de **PÓS-EXECUÇÃO** consiste na avaliação das condições de cada camada do pavimento e do pavimento completo logo após a conclusão da obra, que compreende a avaliação das características geométricas de cada camada (espessura, acabamento e alinhamento), das condições funcional e estrutural do pavimento, que pode ser constituído por coleta de corpos de prova do revestimento para análise mecânica, determinação das deflexões, levantamento das condições de macro e **microtextura** e levantamento da irregularidade da camada de revestimento.

No que se refere aos objetivos secundários, **eles** foram abordados ao longo dos capítulos da pesquisa. Inicialmente, o objetivo de identificar os tipos de obras de infraestrutura de transportes **avaliados** pelo TCE-RJ foi alcançado no capítulo 2, que tratou dos contratos fiscalizados pelo TCE-RJ (**Apêndice I**) e verificou-se que os tipos de contratos de infraestrutura fiscalizados pela SSO do TCE-RJ, **nos anos de 2006 a 2017 (???)** foram em termos quantitativos (**Figura 66**): iluminação (0,4%), obras de arte (1,3%), obras de contenção (7,3%), obras ferroviárias (2,1%), pavimentação asfáltica (50%), saneamento (25,2%) e urbanização (13,7%), **podendo-se** assim inferir que os contratos de infraestrutura de transporte avaliados pelo TCE-RJ são obras de arte (pontes e viadutos), obras de contenção (recuperação de taludes, estabilização de taludes, gabião e muro de arrimo), obras ferroviárias (metrô, estação multimodal, bonde e restauração e revitalização da estação ferroviária) e obras de pavimentação asfáltica (implantação, recapeamento asfáltico). Além disso, verificou-se que os contratos de **pavimentação asfáltica** representam 50% do total quantitativo de contratos e 37,9% em valor monetário **e, devido à sua** relevância, com base no universo analisado, infere-se que é imprescindível a elevada atenção que deve ser dada aos contratos desse tipo para que a fiscalização garanta que os objetos e serviços sejam executados de acordo com os custos, prazos e **qualidade** contratados, **garantindo a durabilidade dos serviços**. Devido à relevância dos contratos de pavimentação, a pesquisa buscou abordar apenas obras de infraestrutura de transportes relacionadas aos serviços de pavimentação asfáltica.

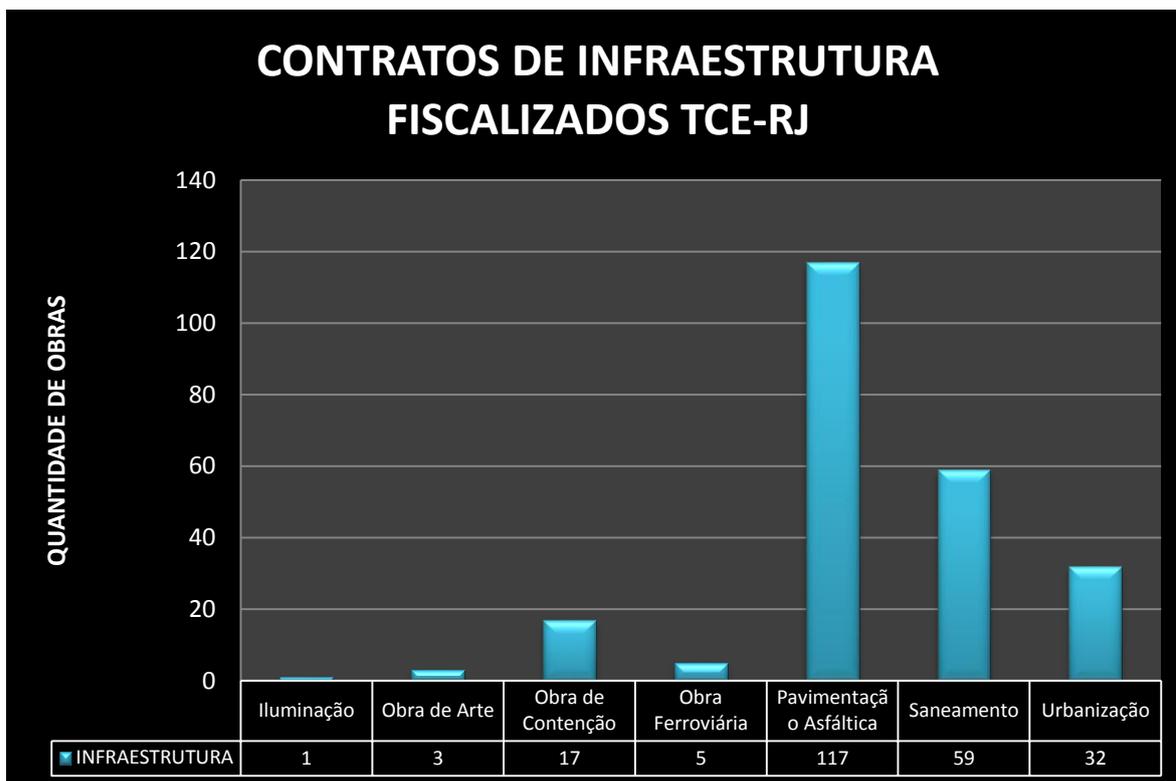


Figura 66 - Quantidade de contratos de infraestrutura fiscalizados entre 2006 e 2017.

O objetivo de identificar problemas e defeitos de pavimentos executados, e outras possíveis causas para a baixa qualidade constatada nas **obras**, foi abordado no capítulo **3**, que tratou de problemas e defeitos nos pavimentos asfálticos. **Concluiu-se que eles** podem ocorrer devido a **erros cometidos durante a elaboração do projeto** (errado ou inadequado), **erros na definição dos materiais empregados nas camadas do pavimento** (seleção ou dosagem inadequada dos materiais), **erros nas etapas de construção** e **erros na seleção inadequada de alternativas de manutenção e reabilitação**.

Em seguida, no intuito de alcançar o objetivo de definir o tipo e a forma de controle tecnológico das etapas de construção das obras de infraestrutura de transportes, pavimentação asfáltica, foi elaborado o capítulo **4**, que tratou do Controle Tecnológico da execução das camadas do pavimento, apresentando os controles necessários na especificação dos materiais, na aceitação dos materiais e no controle de execução dos serviços de imprimação, pintura de ligação, regularização do subleito, reforço do subleito, sub-base, base, concreto asfáltico, tratamento superficial, microrrevestimento asfáltico a frio e a quente.

Prosseguindo a pesquisa, o capítulo **5**, objetivando identificar e definir as características técnicas essenciais (necessárias) para aceitação de cada tipo de obra de infraestrutura de transportes, pavimentação asfáltica, discorreu sobre todas as camadas da estrutura de um

pavimento flexível, explicando as funções e características de cada camada. **Tratou ainda de** projetos de pavimentos e dosagem de misturas **asfálticas**. Ainda nesse objetivo específico, o capítulo 6 **abordou** as condições gerais e específicas da execução das camadas do pavimento e dos controles **necessários** para cada tipo de serviço.

A pesquisa foi consagrada com a elaboração do manual de boas práticas na execução dos serviços em obras de infraestrutura de transportes pavimentação asfáltica (**Apêndice II**).

Portanto, espera-se que o produto obtido como resultado da pesquisa, o Manual de Boas Práticas de Obras de Pavimentação e o seu **anexo**, o aplicativo ConTecPav, possam ser divulgados e contribuam para a melhoria da qualidade de execução das obras de pavimentação no Estado do Rio de Janeiro.

REFERÊNCIAS

- 3DENG. Compactação da BGTC - Brita Graduada Tratada com Cimento no acesso ao Site 2928 - Rodovia dos Tamoios - Jacareí / SP. Disponível em: http://www.3deng.com.br/obras_executadas/obras_ericsson_estr1.htm. Acesso em 14/11/2015.
- ABEDA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DISTRIBUIDORAS DE ASFALTO. Disponível em: <http://www.abeda.org.br/mercado/?target=id-4>, Acesso em 16/05/2017.
- ASPHALT INSTITUTE. Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types. Manual Series No. 2 (MS-2). Sixth Edition, 2011.
- BRINGET, E. Obra de recuperação asfáltica da PI-114 começa a receber camada de asfalto. Disponível em: <http://www.portalcampomaior.com.br/novo/obra-de-recuperacao-asfaltica-da-pi-114-ja-esta-na-segunda-etapa.html>. Acesso em 01/06/2011.
- CARLSON, D. D.; STOUT, D. Stack Emissions with Asphalt Rubber a Synthesis of Studies. Asphalt Rubber 2003. 2 a 4 de dezembro. Brasília, DF, 2003.
- CNT – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES – Pesquisa CNT de Rodovias 2016 – Relatório Gerencial. Confederação Nacional de Transportes. Disponível em: <http://pesquisarodovias.cnt.org.br/> Acesso em 30/05/2017.
- CUNHA, M. B. Avaliação do Método de Bailey de seleção granulométrica de agregados para misturas asfálticas. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo - EESC, São Carlos, SP, 2004.
- EAPA - Heavy Duty Surfaces: The arguments for SMA. European Asphalt Pavement Association. Holanda, 40p., 1998.
- EMBU S.A. Produtos Embu. Brita Graduada Simples - Britagem. Disponível em: <http://www.embusa.com.br/produto/brita-graduada-simples-britagem>. Acesso em 14/11/2015.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION - FHWA. AASHO Road Test - Illinois - Aerial view of AASHO Road Test (1964). U.S. Department of Transportation. Disponível em http://www.fhwa.dot.gov/highwayhistory/resultsDisplayImg.cfm?img=il_1_aasho_64_488.jpg. Acesso em 15/11/2015.
- GOVERNO MUNICIPAL DE ARAGUAPAZ. Governo Municipal de Araguapaz realiza obras de pavimentação asfáltica na zona urbana. Disponível em: <http://www.araguapaz.go.gov.br/noticia/130-governo-municipal-de-araguapaz-realiza-obras-de-pavimentao-asflica-na-zona-urbana.html>. Publicado em 04/03/2015. Acesso em 14/11/2015.
- INFRAERO. 19º Relatório Fotográfico. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária. Diretoria de Engenharia - DE. Superintendência de Empreendimentos Sul e Sudeste - DESS. Publicado em maio de 2013.
- INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION. ISSA - A 143: Recommended Performance Guidelines for Micro-Surfacing, Annapolis, MD, 2010.
- MERIGHI, J. V.; FORTES, R. M. Construção de Pavimentos. Disponível em: <http://www.latersolo.com.br/wp-content/uploads/2015/03/Construção-de-Pavimentos.pdf>. Acesso em 14/11/2015.
- MFRURAL. Asfalto em saco. Disponível em: <http://www.mfrural.com.br/detalhe/asfalto-ensacado-25kg-192425.aspx>. Acesso em 15/11/2015.

- MUNICIPIO DE MERCEDES. Pavimentação poliédrica da linha novo rio do sul segue em ritmo acelerado em Mercedes. Disponível em: <http://www.mercedes.pr.gov.br/noticia.php?uid=1156>. Publicado em 11/06/2015. Acesso em 14/11/2015.
- NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM - NCHRP. Report 673: A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary. USA, 2011.
- ODA, S. Relatório da Aplicação de Asfalto-Borracha em Trecho Experimental no Município de Salvador, BA. Salvador, BA, 2004.
- ODA, S. Notas de Aulas. Disciplina EER 551 - Pavimentação A. Departamento de Engenharia de Transportes. Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, 2014.
- PAVEMENT INTERACTIVE. AASHO Road Test. Disponível em: <http://www.pavementinteractive.org/article/aasho-road-test/>. Publicado em 13/08/2007. Acesso em 15/11/2015.
- PAVEMENT INTERACTIVE. Stone Matrix Asphalt. Disponível em: <http://www.pavementinteractive.org/article/stone-matrix-asphalt/>. Publicado em June 5, 2009.
- PAVISUL - TECNOLOGIA DE PAVIMENTOS. Asfalto ensacado. Disponível em: <http://www.pavisul.eng.br/asfaltoensacado.php>. Acesso em 15/11/2015.
- PEDRÃO COMÉRCIO DE PEDRAS. Disponível em: <http://www.exteriordecorado.com/acessorios/pedra-seixo>. Acesso em 01/11/2016.
- PEDREIRA RIO BRANCO. Brita Graduada Simples - BGS. Disponível em: <http://www.pedreirabeirario.com.br/produto/brita-graduada-simples-bgs>. Acesso em 14/11/2015.
- PETROBRAS DISTRIBUIDORA. Execução de microrrevestimento a frio. 2005.
- PRATEC. Parque das Sapucaias - Pavimentação Concluída. Disponível em: <http://www.pratec.com.br/obras-fotos.aspx?idEtapa=338>. Acesso em 14/11/2015.
- ROC2C. Av. das Palmeiras no Porto, calçada de granito cinza em paralelepípedos. Disponível em: http://calcadaportuguesa-roc2c.blogspot.com.br/2013_07_01_archive.html. Publicado em 29/07/2013. Acesso em 14/11/2015.
- SANT´ANA, W. C. Contribuição ao estudo de solo-emulsão em pavimentos de rodovias de baixo volume de tráfego para o Estado do Maranhão. Tese de doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 341 p., 2009.
- SAOJOAQUIMONLINE. Base para pavimentação asfáltica na Rodovia SC 439 chega a Urupema. Agência de Notícias. São Joaquim Online. Disponível em: <http://saojoaquimonline.net/2010/08/26/base-para-pavimentacao-asfaltica-na-rodovia-sc-439-chega-a-urupema/>. Publicado em 26 de agosto de 2010. Acesso em: 14/11/2015.
- SÓRIA, M. H. A. Projeto de Pavimentos. Notas de Aulas - Projeto de Pavimentos. EESC/USP, São Carlos, SP, 1997.
- SOUZA, M. L. Método de Projeto de Pavimentos Flexíveis. DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. 3ª ed. IPR. Publ. 667, 1981.
- SRU FÁTIMA. Diário da obra - Requalificação urbana das 4 principais vias de entrada em Fátima - EN360. Disponível em: http://sru-diariodaobra-en360.blogspot.com.br/2009_07_01_archive.html. Acesso em 14/11/2015.

TRANSPORTATION ENGINEERING. The Pavement. Disponível em:

<http://www.slideshare.net/arслан000/lecture01-33441631>. Acesso em 15/11/2015.

VAVRIK, W. R.; HUBER, G. A.; PINE, W. J.; BAILEY, R.; CARPENTER, S. H. Bailey Method for Gradation Selection in HMA Mixture Design. Transportation Research Board of The National Academies. TRC. Number E-C044. ISSN 0097-8515. Washington, D.C., October, 2002.

YODER, E. J. & WITCZAK, M. W. Principles of Pavement Design, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 728 p., 1975.

NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. AASHTO M 323: Standard Specification for Superpave Volumetric Mix Design. USA, 2004.

_____. AASHTO M 325: Stone Matrix Asphalt (SMA). USA, 2008.

_____. AASHTO MP 8: Stone Matrix Asphalt (SMA). USA, 2002.

_____. AASHTO R 35: Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Hot-Mix Asphalt (HMA). USA, 2004.

_____. AASHTO R 46: Designing Stone Matrix Asphalt (SMA). USA, 2008.

_____. AASHTO T19: Standard Method of Test for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate. Washington, D.C., 2002.

_____. - AASHTO T 209: Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity (Gmm) and Density of Hot-Mix Asphalt (HMA). USA, 2016.

_____. AASHTO T 283: Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage. USA, 2007.

_____. AASHTO T 326: Standard Method of Test for Uncompacted Void Content of Coarse Aggregate (As Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading). USA, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM C 1252: Standard Test Methods for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture, and Grading). USA, 2006.

_____. ASTM C 127: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. USA, 2007.

_____. ASTM C 128 REV A: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. USA, 2007.

_____. ASTM C 131: Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine. USA, 2006.

_____. ASTM C 136: Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates. USA, 2006.

_____. ASTM C 88: Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate. USA, 2005.

_____. ASTM D 1754: Standard Test Method for Effects of Heat and Air on Asphaltic Materials (Thin-Film Oven Test). USA, 2009.

_____. ASTM D 2041: Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. USA,, 2011.

_____. ASTM D 2726: Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures. USA, 2008.

_____. ASTM D 2872: Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). USA, 2004.

_____. ASTM D 3203: Standard Test Method for Percent Air Voids in Compacted Dense and Open Bituminous Paving Mixtures. USA, 1994.

_____. ASTM D 3497: Standard Test Method for Dynamic Modulus of Asphalt Mixtures. USA, 1979.

- _____. ASTM D 4791: Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. USA, 2007.
- _____. ASTM D 6816: Standard Practice for Determining Low-Temperature Performance Grade (PG) of Asphalt Binders. USA, 2002.
- _____. ASTM D 7369: Standard Test Method for Determining the Resilient Modulus of Bituminous Mixtures by Indirect Tension Test. USA, 2009.
- _____. ASTM E 303: Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester. USA, 2008.
- _____. ASTM E 965: Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique. USA, 2006.
- ASPHALT INSTITUTE. Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types. Manual Series No. 2 (MS-2). Sixth Edition, 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 11341: Derivados de petróleo - Determinação do ponto de fulgor em vaso aberto de Cleveland. Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- _____. NBR 12052: Solo ou agregado miúdo - Determinação do equivalente de areia. Método de ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1992.
- _____. NBR 12583: Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado graúdo. Rio de Janeiro, RJ, 1992.
- _____. NBR 12584: Determinação da adesividade a ligante betuminoso de agregado miúdo. Rio de Janeiro, RJ, 1992.
- _____. NBR 12891: Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall. Rio de Janeiro, RJ, 1993.
- _____. NBR 14491: Emulsões asfálticas - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- _____. NBR 14746: Microrrevestimento a frio e lama asfáltica - Determinação de perda por abrasão úmida (WTAT). Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- _____. NBR 14949: Microrrevestimentos asfálticos - Caracterização da fração fina por meio da absorção de azul-de-metileno. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- _____. NBR 14950: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt-Furol de material betuminoso. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- _____. NBR 15086: Materiais betuminosos - Determinação da recuperação elástica pelo dutilômetro. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- _____. NBR 15087: Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- _____. NBR 15140: Determinação do desgaste por abrasão Cântabro. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- _____. NBR 15184: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade em temperatura elevada usando um viscosímetro rotacional. Rio de Janeiro, RJ, 2004.
- _____. NBR 15235: Materiais asfálticos - Determinação do efeito do calor e do ar em uma película delgada rotacional. Rio de Janeiro, RJ, 2009.

- _____. NBR 15528: Aditivos orgânicos melhoradores de adesividade para cimento asfáltico de petróleo - Avaliação para recebimento. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- _____. NBR 15573: Determinação da massa específica aparente de corpos de prova compactados. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- _____. NBR 15618: Avaliação por desempenho de aditivos orgânicos melhoradores de adesividade. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- _____. NBR 15619: Determinação da massa específica máxima medida em amostras não compactadas. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- _____. NBR 15785: Misturas asfálticas a quente - Utilização da aparelhagem Marshall para preparação dos corpos de prova com diferentes dimensões e aplicações. Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- _____. NBR 5732: Cimento Portland comum. Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- _____. NBR 5735: Cimento Portland de alto-forno. Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- _____. NBR 5736: Cimento Portland pozolânico. Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- _____. NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. NBR 6293: Materiais betuminosos - Determinação da ductilidade. Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- _____. NBR 6560: Materiais betuminosos - Determinação do ponto de amolecimento - Método do Anel e Bola. Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- _____. NBR 6568: Emulsão asfáltica - Determinação do resíduo de destilação. Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- _____. NBR 6570 - Emulsões asfálticas - Determinação da sedimentação e estabilidade a estocagem. Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- _____. NBR 6576: Materiais asfálticos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- _____. NBR 6954: Lastro-Padrão - Determinação da forma do material. Rio de Janeiro, RJ, 1989.
- _____. NBR 7182: Solo - Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, RJ, 1986.
- _____. NBR 7185: Solo - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, RJ, 1986.
- _____. NBR 7222: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. NBR 7809: Agregado graúdo - Determinação do Índice de Forma pelo método do paquímetro. Rio de Janeiro, RJ, 2006.
- _____. NBR NM 137: Argamassa e concreto - água para amassamento e cura de argamassa e concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. NBR NM 248: Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, RJ, 2003.
- _____. NBR NM 51: Agregado graúdo - Ensaio de Abrasão Los Angeles. Rio de Janeiro, RJ, 2001.
- BRINGET, E. Obra de recuperação asfáltica da PI-114 começa a receber camada de asfalto. Disponível em: <http://www.portalcampomaior.com.br/novo/obra-de-recuperacao-asfaltica-da-pi-114-ja-esta-na-segunda-etapa.html>. Acesso em 01/06/2011.

- CALTRANS. Gap-graded (GG). Caltrans SSP 39-700 A-10-01-01. California Department of Transportation, "Standard Special Provisions", Sacramento, CA, 2001.
- DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DE SÃO PAULO - DER/SP. ET-DE-P00/005/2006: Sub-base ou base de solo cal. Especificação Técnica. São Paulo, SP, 2006.
- _____. ET-DE-P00/008/2005: Sub-base ou base de brita graduada. Especificação Técnica. São Paulo, SP, 2005.
- _____. ET-DE-P00/009/2005: Sub-base ou base de brita graduada tratada com cimento - BGTC. Especificação Técnica. São Paulo, SP, 2005.
- _____. ET-DE-P00/015/2005: Sub-base ou base de solo arenoso fino de comportamento laterítico - SAFL. Especificação Técnica. São Paulo, SP, 2005.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER EM 036/95: Cimento Portland - Recebimento e aceitação. Especificação de Materiais. Rio de Janeiro, RJ, 1995.
- _____. DNER EM 367/97: Material de enchimento para misturas betuminosas. Especificação de Materiais. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER EM 369/97: Emulsões asfálticas catiônicas. Especificação de Materiais. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 301/97: Sub-base Estabilizada Granulometricamente. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 302/97: Sub-base de Solo Melhorado com Cimento. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 303/97: Base estabilizada granulometricamente. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 304/97 Base de solo melhorado com cimento. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 305/97: Base de solo cimento. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 307/94: Pavimentação - Pintura de ligação. Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 308/97: Tratamento Superficial Simples (TSS). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 309/97: Tratamento Superficial Duplo (TSD). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 310/97: Tratamento Superficial Triplo (TST). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 314-97 - Lama Asfáltica (LA). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 317/97: Pré-misturado a frio (PMF). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 318/97: Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CBUQ). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ES 322/97: Sub-base de concreto de cimento Portland, compactada com rolo (sub-base de concreto rolado). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1997.

- _____. DNER ES 386/99: Camada Porosa de Atrito (CPA). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- _____. DNER ES 389/99: Microrrevestimento Asfáltico a Frio (MRAF). Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- _____. DNER ME 024/94: Determinação das deflexões pela Viga Benkelman. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 035/98: Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles". Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- _____. DNER ME 041/94: Solos - Preparação de amostras para ensaios de caracterização. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 043/95: Misturas betuminosas a quente - Ensaio Marshall. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1995.
- _____. DNER ME 049/94: Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 052/94: Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade pelo método expedito Speedy. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 053/94: Misturas betuminosas - Percentagem de betume. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 054/98: Agregados - Equivalente areia. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- _____. DNER ME 059/94 - Emulsões asfálticas - Determinação da resistência à água (adesividade) . Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 078/94: Agregado graúdo - adesividade a ligante betuminoso. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 079/94: Agregado - adesividade a ligante betuminoso. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 080/94: Análise granulométrica por peneiramento. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 082/94: Determinação do limite de plasticidade. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 083/98: Agregados - Análise granulométrica. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- _____. DNER ME 085/98: Determinação da massa específica real de material finamente pulverizado. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- _____. DNER ME 086/94: Agregado - Determinação do índice de forma. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 087 - Solos - Determinação dos fatores de contração. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 088/94: Solos e agregados miúdos - Determinação da umidade pelo método expedito do álcool. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 089/94: Agregados -Avaliação da durabilidade pelo emprego de soluções de sulfato de sódio ou de magnésio. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.

- _____. DNER ME 092/94: Determinação da massa específica aparente, in situ, com emprego do frasco de areia. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 093/94: Determinação da densidade real. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 122/94: Determinação do limite de liquidez - método de referência e método expedito. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 129/94: Compactação utilizando amostras não trabalhadas. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 131/94: Determinação do módulo de resiliência. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 138/94: Misturas betuminosas - Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 195/97: Agregados - Determinação da absorção e da massa específica de agregado graúdo. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ME 196/98: Agregados - Determinação do teor de umidade total, por secagem, em agregado graúdo. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1998.
- _____. DNER ME 197/97: Agregados - Determinação da resistência ao esmagamento de agregados graúdos. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER ME 201/94: Solo-cimento - compressão axial de corpos de prova cilíndricos. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 202/94: Solo-cimento - moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 213/94: Determinação do teor de umidade. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 228/94: Compactação em equipamento miniatura. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 256/94: Solos compactados com equipamento miniatura: determinação da perda de massa por imersão. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 258/94: Solos compactados em equipamento miniatura - Mini-MCV. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER ME 382/99: Determinação da recuperação elástica de materiais asfálticos modificados por polímeros, pelo método do ductilômetro. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- _____. DNER ME 399/99: Agregados - Determinação da perda ao choque no aparelho Treton. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- _____. DNER ME 400/99: Agregados - Desgaste após fervura de agregado petróleo natural. Método de Ensaio. Rio de Janeiro, RJ, 1999.
- _____. DNER PRO 003/94: Coleta de amostras deformadas de solos. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER PRO 006/03: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 2003.

- _____. DNER PRO 102/97: Sondagem de reconhecimento pelo método rotativo. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- _____. DNER PRO 164/94: Calibração e controle de sistemas de medidores de irregularidade de superfície de pavimento (Sistemas Integradores IPR/USP e Maysmeter). Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER PRO 182/94: Medição da irregularidade de superfície de pavimento com sistemas integradores IPR/USP e Maysmeter. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1994.
- _____. DNER PRO 273/96: Determinação das deflexões utilizando o deflectômetro de impacto tipo Falling Weight Deflectometer - FWD.
- _____. DNER PRO 277/97: Metodologia para controle estatístico de obras e serviços. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ, 1997.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 032/05: Pavimentos Flexíveis - Areia Asfalto a quente. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2005.
- _____. DNIT ES 031/04: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2004.
- _____. DNIT ES 033/05: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico Reciclado a quente na usina. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2005.
- _____. DNIT ES 034/05: Pavimentos Flexíveis - Concreto Asfáltico Reciclado a quente no local. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2005.
- _____. DNIT ES 035/05: Pavimentos flexíveis - Micro revestimento asfáltico a frio com emulsão modificada por polímero. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2005.
- _____. DNIT ES 138: Pavimentação - Reforço do subleito. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 137/10: Pavimentação - Regularização do subleito. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 138/10: Pavimentação - Reforço do subleito. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 139/10: Pavimentação - Sub-base estabilizada granulometricamente. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 140/10: Pavimentação - Sub-base de solo melhorado com cimento. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 141/10: Pavimentação - Base estabilizada granulometricamente. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 142/10: Pavimentação - Base de solo melhorado com cimento. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 143/10: Pavimentação - Base de solo-cimento. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 144/10: Pavimentação asfáltica - Imprimação com ligante asfáltico convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 145/10: Pavimentação - Pintura de ligação com ligante asfáltico convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.

- _____. DNIT ES 146/10: Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Simples com ligante asfáltico convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 147/10: Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Duplo com ligante asfáltico convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 148/10: Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Triplo com ligante asfáltico convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ES 153/10: Pavimentação asfáltica - Pré- misturado a frio com emulsão catiônica convencional. Especificação de serviço. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.
- _____. DNIT ME 134/10: Pavimentação - Solos - Determinação do módulo de resiliência. Especificação de serviço. Procedimento. Rio de Janeiro, RJ: IPR, 2010.

APÊNDICE I – FISCALIZAÇÕES DE OBRAS TCE-RJ

Processo TCE-RJ	VALOR	GRUPO	TIPO
117.240-5/13	R\$ 1.049.999.831,62	Outra	Edificação
205.502-2/15	R\$ 476.519.379,31	Outra	Edificação
121.950-2/13	R\$ 40.918.505,56	Outra	Edificação
108.644-2/14	R\$ 39.860.344,65	Outra	Edificação
116.622-8/12	R\$ 39.338.336,41	Outra	Edificação
121.950-2/13	R\$ 34.466.649,31	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 31.210.581,63	Outra	Edificação
116.622-8/12	R\$ 28.877.000,00	Outra	Edificação
108.064-6/14	R\$ 27.489.056,36	Outra	Edificação
108.064-6/14	R\$ 22.708.123,79	Outra	Edificação
108.644-2/14	R\$ 22.522.451,38	Outra	Edificação
220.459-6/14	R\$ 19.897.900,00	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 17.514.254,21	Outra	Edificação
108.644-2/14	R\$ 17.337.893,27	Outra	Edificação
209.000-4/16	R\$ 16.630.357,33	Outra	Edificação
230.155-4/14	R\$ 13.191.436,54	Outra	Edificação
121.950-2/13	R\$ 12.873.453,32	Outra	Edificação
223.312-5/15	R\$ 10.982.155,16	Outra	Edificação
116.622-8/12	R\$ 9.484.954,26	Outra	Edificação
235.548-8/13	R\$ 8.428.023,48	Outra	Edificação
208.945-9/15	R\$ 7.892.340,57	Outra	Edificação
233.799-1/16	R\$ 7.426.288,78	Outra	Edificação
105.423-2/09	R\$ 6.881.862,00	Outra	Edificação
220.433-2/14	R\$ 6.172.781,14	Outra	Edificação
241.792-7/14	R\$ 5.467.709,30	Outra	Edificação
109.611-2/14	R\$ 5.256.253,11	Outra	Edificação
240.741-1/14	R\$ 4.448.327,32	Outra	Edificação
223.312-5/15	R\$ 4.355.816,05	Outra	Edificação
240.982-7/14	R\$ 4.182.027,71	Outra	Edificação
105.423-2/09	R\$ 4.118.386,49	Outra	Edificação
239.658-9/14	R\$ 4.012.088,50	Outra	Edificação
118.600-6/13	R\$ 3.897.347,77	Outra	Edificação
106.793-9/11	R\$ 3.463.343,96	Outra	Edificação
107.223-7/14	R\$ 2.984.796,44	Outra	Edificação
207.898-1/14	R\$ 2.951.190,16	Outra	Edificação
203.455-3/17	R\$ 2.754.321,39	Outra	Edificação
807.913-9/16	R\$ 2.744.555,74	Outra	Edificação
223.287-4/15	R\$ 2.606.810,87	Outra	Edificação
205.728-0/16	R\$ 2.604.586,93	Outra	Edificação
807.381-0/16	R\$ 2.560.499,77	Outra	Edificação
808.142-7/15	R\$ 2.397.423,77	Outra	Edificação
268.767-7/15	R\$ 2.362.009,43	Outra	Edificação
219.632-1/14	R\$ 2.337.688,32	Outra	Edificação
219.632-1/14	R\$ 2.337.688,32	Outra	Edificação
219.312-5/15	R\$ 2.181.180,11	Outra	Edificação
294.957-2/15	R\$ 2.154.639,51	Outra	Edificação
223.295-1/15	R\$ 2.096.792,70	Outra	Edificação
238.260-9/13	R\$ 2.052.711,25	Outra	Edificação
828.963-5/16	R\$ 2.037.650,07	Outra	Edificação
216.474-6/14	R\$ 2.035.073,06	Outra	Edificação
240.527-3/14	R\$ 2.025.306,36	Outra	Edificação
207.043-2/16	R\$ 1.981.990,22	Outra	Edificação
276.814-4/15	R\$ 1.929.692,45	Outra	Edificação

200.416-0/14	R\$ 1.838.155,61	Outra	Edificação
827.685-8/16	R\$ 1.665.801,76	Outra	Edificação
214.886-9/14	R\$ 1.655.130,75	Outra	Edificação
805.675-3/15	R\$ 1.601.700,00	Outra	Edificação
205.522-6/17	R\$ 1.570.601,30	Outra	Edificação
100.574-7/15	R\$ 1.491.470,00	Outra	Edificação
215.852-9/16	R\$ 1.484.309,66	Outra	Edificação
219.312-5/15	R\$ 1.474.379,02	Outra	Edificação
108.207-8/13	R\$ 1.466.520,52	Outra	Edificação
108.207-8/13	R\$ 1.461.384,27	Outra	Edificação
206.363-3/16	R\$ 1.437.576,49	Outra	Edificação
221.784-6/14	R\$ 1.399.363,24	Outra	Edificação
223.287-4/15	R\$ 1.368.125,00	Outra	Edificação
219.533-1/15	R\$ 1.361.957,47	Outra	Edificação
218.101-7/15	R\$ 1.321.054,53	Outra	Edificação
241.050-7/14	R\$ 1.307.918,91	Outra	Edificação
219.400-6/14	R\$ 1.297.933,35	Outra	Edificação
105.423-2/09	R\$ 1.279.990,74	Outra	Edificação
223.261-0/15	R\$ 1.238.099,73	Outra	Edificação
814.224-7/16	R\$ 1.236.994,85	Outra	Edificação
238.260-9/13	R\$ 1.207.564,73	Outra	Edificação
228.019-0/15	R\$ 1.195.117,95	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 1.189.341,63	Outra	Edificação
215.810-1/16	R\$ 1.186.584,31	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 1.183.202,59	Outra	Edificação
238.260-9/13	R\$ 1.181.337,89	Outra	Edificação
219.549-0/15	R\$ 1.178.048,67	Outra	Edificação
223.258-3/15	R\$ 1.150.106,59	Outra	Edificação
265.539-7/15	R\$ 1.135.990,09	Outra	Edificação
239.658-9/14	R\$ 1.107.910,84	Outra	Edificação
817.970-7/15	R\$ 956.198,93	Outra	Edificação
223.258-3/15	R\$ 813.755,70	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 806.374,97	Outra	Edificação
223.326-6/15	R\$ 738.677,58	Outra	Edificação
223.264-2/15	R\$ 715.670,12	Outra	Edificação
111.291-5/06	R\$ 707.951,08	Outra	Edificação
278.771-0/15	R\$ 700.006,58	Outra	Edificação
267.564-6/15	R\$ 655.657,63	Outra	Edificação
226.925-9/15	R\$ 650.593,42	Outra	Edificação
267.582-8/15	R\$ 650.002,89	Outra	Edificação
276.814-4/15	R\$ 627.040,06	Outra	Edificação
105.423-2/09	R\$ 620.020,91	Outra	Edificação
223.295-1/15	R\$ 619.119,94	Outra	Edificação
226.925-9/15	R\$ 613.020,11	Outra	Edificação
238.260-9/13	R\$ 597.357,25	Outra	Edificação
276.553-2/15	R\$ 514.695,12	Outra	Edificação
214.577-2/15	R\$ 512.754,05	Outra	Edificação
241.891-9/14	R\$ 442.300,96	Outra	Edificação
239.658-9/14	R\$ 432.915,46	Outra	Edificação
233.978-5/14	R\$ 404.533,08	Outra	Edificação
239.658-9/14	R\$ 370.855,32	Outra	Edificação
221.840-8/15	R\$ 355.711,19	Outra	Edificação
223.267-4/15	R\$ 299.995,61	Outra	Edificação
223.300-2/15	R\$ 287.084,57	Outra	Edificação
223.300-2/15	R\$ 258.259,18	Outra	Edificação
223.326-6/15	R\$ 244.843,34	Outra	Edificação
241.891-9/14	R\$ 228.067,48	Outra	Edificação

223.794-7/15	R\$ 222.040,99	Outra	Edificação
221.491-3/15	R\$ 202.280,53	Outra	Edificação
276.816-2/15	R\$ 195.430,02	Outra	Edificação
223.326-6/15	R\$ 183.046,45	Outra	Edificação
223.317-5/15	R\$ 159.899,88	Outra	Edificação
223.295-1/15	R\$ 149.987,59	Outra	Edificação
205.694-1/15	R\$ 146.552,60	Outra	Edificação
223.333-9/15	R\$ 144.363,49	Outra	Edificação
221.491-3/15	R\$ 132.494,01	Outra	Edificação
241.891-9/14	R\$ 114.977,53	Outra	Edificação
223.318-9/15	R\$ 104.463,72	Outra	Edificação
241.891-9/14	R\$ 91.201,77	Outra	Edificação
221.491-3/15	R\$ 67.156,21	Outra	Edificação
276.553-2/15	R\$ 58.823,88	Outra	Edificação
223.331-1/15	R\$ 53.096,43	Outra	Edificação
101.364-7/15	R\$ 16.800,00	Outra	Edificação
803.969-0/16	R\$ 5.015.731,87	Infraestrutura	Iluminação
238.498-0/14	R\$ 28.096.010,49	Infraestrutura	Obra de Arte
102.943-6/15	R\$ 6.340.051,71	Infraestrutura	Obra de Arte
106.376-3/14	R\$ 1.323.598,88	Infraestrutura	Obra de Arte
107.863-9/12	R\$ 49.980.693,60	Infraestrutura	Obra de Contenção
107.863-9/12	R\$ 40.019.291,03	Infraestrutura	Obra de Contenção
107.863-9/12	R\$ 37.620.000,00	Infraestrutura	Obra de Contenção
107.863-9/12	R\$ 31.467.414,98	Infraestrutura	Obra de Contenção
113.681-7/14	R\$ 5.211.803,98	Infraestrutura	Obra de Contenção
106.253-9/16	R\$ 4.742.740,44	Infraestrutura	Obra de Contenção
108.207-8/13	R\$ 4.306.416,06	Infraestrutura	Obra de Contenção
100.294-9/15	R\$ 4.210.084,80	Infraestrutura	Obra de Contenção
113.485-1/14	R\$ 1.692.686,34	Infraestrutura	Obra de Contenção
113.682-1/14	R\$ 1.609.447,77	Infraestrutura	Obra de Contenção
265.736-7/15	R\$ 1.386.566,34	Infraestrutura	Obra de Contenção
210.568-1/14	R\$ 1.136.408,50	Infraestrutura	Obra de Contenção
101.315-4/14	R\$ 980.000,00	Infraestrutura	Obra de Contenção
223.331-1/15	R\$ 288.817,82	Infraestrutura	Obra de Contenção
223.267-4/15	R\$ 262.727,92	Infraestrutura	Obra de Contenção
223.333-9/15	R\$ 136.073,09	Infraestrutura	Obra de Contenção
222.873-2/15	R\$ 99.363,77	Infraestrutura	Obra de Contenção
112.595-3/13	R\$ 9.334.563.513,54	Infraestrutura	Obra Ferroviária
109.945-1/14	R\$ 177.942.392,65	Infraestrutura	Obra Ferroviária
106.136-3/15	R\$ 87.136.288,65	Infraestrutura	Obra Ferroviária
101.666-3/15	R\$ 2.229.205,16	Infraestrutura	Obra Ferroviária
109.888-7/14	R\$ 743.005,39	Infraestrutura	Obra Ferroviária
109.103-5/14	R\$ 228.999.253,31	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
113.644-7/13	R\$ 218.127.252,67	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
113.644-7/13	R\$ 214.536.754,65	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
113.644-7/13	R\$ 194.998.970,17	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
113.644-7/13	R\$ 169.204.405,26	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
108.121-0/14	R\$ 144.646.638,32	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
828.996-2/16	R\$ 81.399.152,63	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
226.367-9/14	R\$ 72.601.014,55	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 62.969.494,85	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 62.635.749,59	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 59.390.719,37	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
107.521-7/14	R\$ 50.211.398,43	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
806.608-7/15	R\$ 48.325.881,23	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
107.660-3/11	R\$ 47.984.189,48	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 44.881.165,66	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica

111.423-7/13	R\$ 44.656.912,35	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 37.002.986,98	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 35.788.052,80	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
265.382-2/15	R\$ 31.213.461,67	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
230.353-8/14	R\$ 30.987.070,25	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
215.475-1/13	R\$ 29.541.793,48	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.230-7/15	R\$ 27.063.056,43	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
230.154-0/14	R\$ 25.452.672,09	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
234.067-9/14	R\$ 25.266.896,35	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
102.387-8/16	R\$ 24.527.929,64	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
102.933-1/15	R\$ 22.455.770,44	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
806.612-8/15	R\$ 20.953.717,23	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
108.285-2/14	R\$ 20.026.476,26	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
101.810-8/16	R\$ 19.865.178,51	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 18.511.719,62	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
225.072-7/13	R\$ 18.335.125,16	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
231.024-6/14	R\$ 16.173.264,93	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
240.741-1/14	R\$ 15.451.921,12	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
109.712-2/14	R\$ 15.434.388,31	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
104.248-0/16	R\$ 15.304.748,06	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
105.767-4/08	R\$ 12.946.264,55	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
107.660-3/11	R\$ 12.182.704,74	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
240.741-1/14	R\$ 12.135.078,40	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
105.125-9/16	R\$ 11.815.019,05	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
806.613-2/15	R\$ 11.705.797,27	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.043-4/14	R\$ 11.525.289,33	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
226.925-9/15	R\$ 11.318.748,00	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
100.068-8/15	R\$ 11.228.421,94	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 11.223.238,45	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
214.055-0/13	R\$ 11.006.137,07	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
265.382-2/15	R\$ 10.212.472,07	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
233.981-2/14	R\$ 10.052.808,50	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 8.922.667,71	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
107.660-3/11	R\$ 8.476.944,19	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.295-1/15	R\$ 8.290.523,99	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
101.650-4/15	R\$ 8.028.952,73	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
230.791-4/14	R\$ 7.549.218,15	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
808.520-3/15	R\$ 6.465.780,64	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
239.635-7/14	R\$ 6.404.447,99	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
265.382-2/15	R\$ 5.822.888,16	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
110.314-5/14	R\$ 5.676.776,72	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
112.975-9/14	R\$ 5.380.166,80	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
113.653-0/14	R\$ 5.119.496,42	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.955-2/14	R\$ 4.943.424,73	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
110.511-5/14	R\$ 4.831.001,69	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
106.994-1/14	R\$ 4.244.344,79	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 4.224.010,17	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
104.073-1/15	R\$ 4.108.455,53	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.491-3/15	R\$ 3.768.735,11	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
269.153-7/15	R\$ 3.749.423,89	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 3.681.258,21	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.318-9/15	R\$ 3.662.582,08	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
241.102-6/14	R\$ 3.545.635,57	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
106.537-9/14	R\$ 3.475.412,90	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 3.338.655,37	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
205.197-5/16	R\$ 3.162.831,09	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.231-5/15	R\$ 3.031.438,67	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica

239.635-7/14	R\$ 2.838.412,44	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
111.423-7/13	R\$ 2.814.365,32	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
217.264-6/14	R\$ 2.791.845,57	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
214.602-3/15	R\$ 2.740.068,02	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
222.876-4/15	R\$ 2.296.974,63	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.317-5/15	R\$ 2.149.964,40	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
241.385-0/14	R\$ 2.132.341,86	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
805.208-6/15	R\$ 2.104.940,43	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
212.741-7/13	R\$ 1.848.531,11	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
222.057-8/14	R\$ 1.774.275,70	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.258-3/15	R\$ 1.751.350,35	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
240.081-9/14	R\$ 1.624.819,18	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
830.584-1/16	R\$ 1.600.177,10	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.491-3/15	R\$ 1.584.396,03	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.312-5/15	R\$ 1.488.133,13	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
228.019-0/15	R\$ 1.449.731,47	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.312-5/15	R\$ 1.241.564,37	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
214.621-9/15	R\$ 1.218.515,06	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
239.242-6/14	R\$ 1.197.544,62	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
241.046-6/14	R\$ 1.090.573,79	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
214.607-3/15	R\$ 1.030.494,34	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
225.215-1/13	R\$ 996.978,59	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
239.658-9/14	R\$ 827.354,80	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
228.019-0/15	R\$ 771.464,95	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.724-8/15	R\$ 741.128,33	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
225.215-1/13	R\$ 688.100,29	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
222.876-4/15	R\$ 598.368,24	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.312-5/15	R\$ 494.016,29	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
276.553-2/15	R\$ 440.051,37	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
219.312-5/15	R\$ 419.394,31	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.287-4/15	R\$ 415.195,65	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.794-7/15	R\$ 409.438,70	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.312-5/15	R\$ 383.156,53	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.322-0/15	R\$ 304.609,86	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.331-1/15	R\$ 280.592,14	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.326-6/15	R\$ 220.451,48	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
276.814-4/15	R\$ 216.840,05	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.264-2/15	R\$ 196.533,86	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
222.873-2/15	R\$ 192.457,94	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.267-4/15	R\$ 174.661,85	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
241.286-8/14	R\$ 149.089,46	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.333-9/15	R\$ 147.960,00	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.491-3/15	R\$ 89.436,88	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
221.491-3/15	R\$ 84.074,34	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
223.322-0/15	R\$ 37.565,19	Infraestrutura	Pavimentação Asfáltica
114.560-1/09	R\$ 472.757.347,76	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 191.886.703,99	Infraestrutura	Saneamento
107.021-9/10	R\$ 189.876.020,94	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 178.485.049,86	Infraestrutura	Saneamento
114.560-1/09	R\$ 148.001.407,36	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 127.298.078,47	Infraestrutura	Saneamento
200.021-5/16	R\$ 124.225.315,80	Infraestrutura	Saneamento
104.823-6/16	R\$ 98.200.634,58	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 86.146.554,60	Infraestrutura	Saneamento
108.419-5/14	R\$ 83.794.672,20	Infraestrutura	Saneamento
106.880-8/16	R\$ 77.837.573,76	Infraestrutura	Saneamento
114.560-1/09	R\$ 77.757.005,60	Infraestrutura	Saneamento

109.206-5/10	R\$ 72.115.584,17	Infraestrutura	Saneamento
104.453-7/16	R\$ 68.496.636,09	Infraestrutura	Saneamento
113.594-4/12	R\$ 68.341.388,65	Infraestrutura	Saneamento
101.306-3/14	R\$ 65.084.189,31	Infraestrutura	Saneamento
806.610-0/15	R\$ 61.090.149,60	Infraestrutura	Saneamento
108.451-3/14	R\$ 51.876.103,42	Infraestrutura	Saneamento
113.648-3/13	R\$ 50.211.398,43	Infraestrutura	Saneamento
113.648-3/13	R\$ 48.442.186,34	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 47.695.373,49	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 46.787.440,41	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 46.630.913,09	Infraestrutura	Saneamento
200.021-5/16	R\$ 41.041.601,00	Infraestrutura	Saneamento
106.024-0/13	R\$ 33.989.790,61	Infraestrutura	Saneamento
238.386-9/13	R\$ 18.731.562,15	Infraestrutura	Saneamento
200.021-5/16	R\$ 13.461.991,80	Infraestrutura	Saneamento
806.631-4/15	R\$ 13.273.491,00	Infraestrutura	Saneamento
113.582-5/14	R\$ 12.440.179,46	Infraestrutura	Saneamento
102.554-3/16	R\$ 10.950.082,01	Infraestrutura	Saneamento
105.179-0/16	R\$ 9.428.130,42	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 8.057.591,33	Infraestrutura	Saneamento
112.099-1/14	R\$ 5.628.158,41	Infraestrutura	Saneamento
106.024-0/13	R\$ 4.844.946,22	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 3.773.360,50	Infraestrutura	Saneamento
112.203-4/14	R\$ 3.498.565,90	Infraestrutura	Saneamento
231.975-1/15	R\$ 2.750.729,32	Infraestrutura	Saneamento
110.549-2/14	R\$ 2.534.993,25	Infraestrutura	Saneamento
106.024-0/13	R\$ 2.400.568,21	Infraestrutura	Saneamento
229.043-6/14	R\$ 1.496.242,45	Infraestrutura	Saneamento
106.574-5/13	R\$ 1.456.686,06	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 1.437.565,99	Infraestrutura	Saneamento
106.574-5/13	R\$ 1.430.770,56	Infraestrutura	Saneamento
103.980-9/14	R\$ 1.357.470,76	Infraestrutura	Saneamento
201.657-5/15	R\$ 1.352.189,57	Infraestrutura	Saneamento
215.205-4/13	R\$ 1.102.373,78	Infraestrutura	Saneamento
201.534-5/14	R\$ 1.030.832,79	Infraestrutura	Saneamento
109.206-5/10	R\$ 997.570,40	Infraestrutura	Saneamento
106.574-5/13	R\$ 985.597,27	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 825.723,10	Infraestrutura	Saneamento
109.350-0/14	R\$ 751.372,79	Infraestrutura	Saneamento
113.313-2/14	R\$ 619.900,00	Infraestrutura	Saneamento
221.837-1/15	R\$ 537.450,18	Infraestrutura	Saneamento
241.044-8/14	R\$ 510.606,26	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 470.699,54	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 362.729,24	Infraestrutura	Saneamento
113.250-9/08	R\$ 356.959,00	Infraestrutura	Saneamento
101.570-8/15	R\$ 136.537,20	Infraestrutura	Saneamento
101.084-9/15	R\$ 109.990,00	Infraestrutura	Saneamento
111.507-8/09	R\$ 545.738.393,47	Infraestrutura	Urbanização
113.643-2/09	R\$ 232.009.048,29	Infraestrutura	Urbanização
806.611-4/15	R\$ 85.245.029,45	Infraestrutura	Urbanização
222.876-4/15	R\$ 12.984.000,00	Infraestrutura	Urbanização
809.321-4/16	R\$ 11.450.000,00	Infraestrutura	Urbanização
265.382-2/15	R\$ 9.926.383,27	Infraestrutura	Urbanização
200.018-6/15	R\$ 4.727.393,35	Infraestrutura	Urbanização
105.156-8/16	R\$ 3.805.500,00	Infraestrutura	Urbanização
241.104-4/14	R\$ 3.491.449,39	Infraestrutura	Urbanização
113.678-0/14	R\$ 3.064.382,06	Infraestrutura	Urbanização

105.710-1/08	R\$ 2.267.389,66	Infraestrutura	Urbanização
202.314-4/16	R\$ 2.018.580,16	Infraestrutura	Urbanização
104.072-7/15	R\$ 1.488.852,27	Infraestrutura	Urbanização
811.261-4/16	R\$ 1.480.743,67	Infraestrutura	Urbanização
221.767-6/13	R\$ 1.478.386,16	Infraestrutura	Urbanização
221.767-6/13	R\$ 1.463.271,81	Infraestrutura	Urbanização
241.551-1/14	R\$ 1.450.638,77	Infraestrutura	Urbanização
221.767-6/13	R\$ 1.215.615,15	Infraestrutura	Urbanização
241.539-3/14	R\$ 1.148.926,51	Infraestrutura	Urbanização
226.925-9/15	R\$ 1.109.438,39	Infraestrutura	Urbanização
235.089-2/13	R\$ 920.733,79	Infraestrutura	Urbanização
210.009-5/14	R\$ 556.500,00	Infraestrutura	Urbanização
223.300-2/15	R\$ 349.639,37	Infraestrutura	Urbanização
276.816-2/15	R\$ 304.085,40	Infraestrutura	Urbanização
223.318-9/15	R\$ 302.669,53	Infraestrutura	Urbanização
223.295-1/15	R\$ 280.000,00	Infraestrutura	Urbanização
219.312-5/15	R\$ 236.608,42	Infraestrutura	Urbanização
223.794-7/15	R\$ 216.316,89	Infraestrutura	Urbanização
223.794-7/15	R\$ 138.690,17	Infraestrutura	Urbanização
276.816-2/15	R\$ 117.077,34	Infraestrutura	Urbanização
202.535-0/16	R\$ 84.000,00	Infraestrutura	Urbanização
223.322-0/15	R\$ 80.471,12	Infraestrutura	Urbanização

APÊNDICE II – MANUAL DE BOAS PRÁTICAS EM OBRAS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA