



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA – ITEC  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL - FEC



EVANDRO FABIO ALEIXO MELO DA SILVA  
JONATHA RIPARDO DA SILVA

**A atualização da norma DNIT 031/2024-ES:** Um estudo sobre as mudanças da norma técnica e sua influência no processo construtivo da Rua da Marinha, em Belém-PA

**BELÉM-PA**  
**2025**

EVANDRO FABIO ALEIXO MELO DA SILVA  
JONATHA RIPARDO DA SILVA

**A atualização da norma DNIT 031/2024-ES:** Um estudo sobre as mudanças da norma técnica e sua influência no processo construtivo da Rua da Marinha, em Belém-PA.

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

**BELÉM-PA**  
**2025**

JONATHA RIPARDO DA SILVA  
EVANDRO FABIO ALEIXO MELO DA SILVA

**A atualização da norma DNIT 031/2024-ES:** Um estudo sobre as mudanças da norma técnica e sua influência no processo construtivo da Rua da Marinha, em Belém-PA


Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia Civil, do Campus Universitário de Belém, da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar

Data de Aprovação: 15/09/2025


Conceito: EXC

**Banca Examinadora:**

Documento assinado digitalmente  
 MARCELO FIGUEIREDO MASSULO AGUIAR  
Data: 16/09/2025 10:59:51-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


---

Prof. Dr. Marcelo Figueiredo Massulo Aguiar  
Universidade Federal do Pará - UFPA

Documento assinado digitalmente  
 RICARDO BENTES KATO  
Data: 16/09/2025 12:02:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Dr. Ricardo Bentes Kato  
Universidade Federal do Pará - UFPA

Documento assinado digitalmente  
 CHRISTIANE LIMA BARBOSA  
Data: 16/09/2025 16:30:04-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Christiane Lima Barbosa  
Universidade Federal do Pará - UFPA

Dedicamos este trabalho a Deus e às  
nossas famílias; pilares essenciais para o  
desenvolvimento deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

**Por: Evandro Fábio Aleixo Melo da Silva**

Primeiramente, agradeço a Deus, por toda a vida, saúde e força concedidas. Sem Sua presença e orientação, não teria alcançado nada do que conquistei até aqui; tudo que sou e tudo que conquistei devo a Ele.

Aos meus pais, Edmilson e Selma, sou profundamente grato por toda a educação, valores e ensinamentos que sempre me transmitiram, guiando-me pelo caminho correto e inspirando-me a valorizar o estudo e o conhecimento. Saibam que o homem que me tornei hoje foi construído por todo amor que vocês me ofereceram. Muito obrigado.

À minha companheira, Karine, meu sincero agradecimento pelo apoio constante nos momentos mais desafiadores. Sua presença, seja preparando um café para que eu pudesse ficar acordado até mais tarde ou com palavras de incentivo, foi essencial para que eu continuasse firme e determinado.

Ao Jonatha, meu parceiro de TCC e companheiro de jornada acadêmica, meu reconhecimento por todo o companheirismo e colaboração durante a graduação. Sua dedicação e parceria foram fundamentais para enfrentarmos juntos os desafios deste trabalho e da vida acadêmica.

Ao Professor Dr. Marcelo Massulo, minha sincera gratidão por sua dedicação e inspiração. Sua organização, clareza e entusiasmo em transmitir os conhecimentos em sala de aula não apenas facilitaram o aprendizado, mas também motivaram todos os alunos a agir com seriedade, ética e profissionalismo. O senhor é, sem dúvida, uma referência para mim e para toda a comunidade acadêmica desta instituição.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que esta etapa se tornasse possível, meu sincero muito obrigado.

## **AGRADECIMENTOS**

**Por: Jonatha Ripardo da Silva**

Dedico este trabalho primeiro a Deus, o qual sempre me deu forças para acreditar no sonho de concluir esta etapa, a qual exigiu muita resiliência, suor, lágrimas e dedicação.

Quero agradecer ao meu pai Geovah, que sempre me incentivou a estudar, a nunca desistir e a me manter firme durante os momentos mais desafiadores, você é minha inspiração de vida!

A minha mãe Isabel, que sempre encontrou soluções para eu seguir estudando, desde o pagamento da inscrição para a escola técnica até a faculdade, sempre me guiou e me deu forças para continuar, sempre me encorajando e me mantendo motivado.

Aos meus irmãos Irlan, Halisson e Safhyra, que sempre foram meus melhores amigos, dos quais se mantiveram sempre ao meu lado e sempre me apoiaram a continuar, me aconselhando, me dando forças e motivação.

Quero agradecer também à minha esposa Suellem e enteada Nicole, que me aceitaram desde o começo e que embarcaram nessa jornada em um momento crítico, que convivem todos os dias comigo, sempre me encorajando e cuidando de mim. Sem vocês, eu não teria chegado tão longe, assim como vocês tornaram-se o combustível mais poderoso que eu poderia ter para lutar pelos meus sonhos.

Agradeço também aos engenheiros, técnicos e colegas de trabalho da empresa Terraplana, em especial aos engenheiros Michel e Renato, assim como a Carlos Alberto Giarola, meu chefe e mentor por mais de sete anos, os quais compartilhou generosamente seus conhecimentos e também conselhos de vida.

Ao professor Dr. Marcelo Massulo, que aceitou orientar mesmo com a grande demanda, além de transmitir com muita dedicação e cuidado através das suas aulas e apostilas. Muito obrigado, professor!

Por último e não menos importante, quero agradecer ao meu amigo e dupla deste TCC, Evandro Aleixo, um grande amigo que conheci durante o curso e sempre compartilhou de conhecimentos ao longo destes anos, além de topar este desafio para concluir esta etapa da vida.

## RESUMO

SILVA, Evandro Fábio Aleixo Melo da; SILVA, Jonatha Ripardo da. **A atualização da norma DNIT 031/2024-ES: Um estudo sobre as mudanças da norma técnica e sua influência no processo construtivo da Rua da Marinha, em Belém-PA.** 2025. 81 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

A atualização da norma DNIT 031/2024-ES trouxe mudanças significativas em sua estrutura e diretrizes técnicas em relação à versão anterior (DNIT 031/2006-ES), com destaque para a ampliação do conteúdo normativo e o rigor aprimorado no controle de materiais, na produção da mistura asfáltica e na execução da camada de revestimento. Diante da relevância dessas atualizações, a presente pesquisa dedica-se a uma análise comparativa das duas versões da norma, pontuando as diferenças e os acréscimos dos itens. Para uma aplicação prática da referida análise, foi selecionado um trecho em obras na Rua da Marinha, situada no bairro Marambaia, na cidade de Belém-PA. O intuito é verificar se nesta obra já estão sendo atendidos os itens da atualização normativa. Metodologicamente, trata-se de uma pesquisa aplicada, de abordagem qualitativa, com objetivos descritivos e comparativos, desenvolvida por meio de análise bibliográfica e documental das duas versões da norma DNIT 031 de pavimentação asfáltica e de um estudo de caso com observação *in loco* em uma empresa do setor, a fim de verificar o grau de adequação às novas exigências.

**Palavras-chave:** Norma DNIT 031/2024 – ES, pavimentação, concreto asfáltico, ensaios, controle tecnológico.

## ABSTRACT

SILVA, Evandro Fábio Aleixo Melo da; SILVA, Jonatha Ripardo da. ***The Update of DNIT Standard 031/2024-ES: A Study on the Changes in the Technical Standard and Its Influence on the Construction Process of Rua da Marinha, in Belém-PA.*** 2025. 81 pages. Undergraduate Thesis – Civil Engineering Course, Institute of Technology, Federal University of Pará, Belém, 2025.

The update of the DNIT 031/2024-ES standard introduced significant changes in its structure and technical guidelines compared to the previous version (DNIT 031/2006-ES), highlighting the expansion of normative content and the enhanced rigor in material control, asphalt mixture production, and the execution of the surface layer. Given the relevance of these updates, this research is dedicated to a comparative analysis of both versions of the standard, emphasizing their differences and the addition of new items. For the practical application of this analysis, a construction site located on Rua da Marinha, in the Marambaia neighborhood of Belém-PA, was selected. The objective was to verify whether the requirements established in the updated standard were already being met in this project. Methodologically, this is an applied research with a qualitative approach, of descriptive and comparative nature, developed through bibliographic and documental analysis of the two versions of the DNIT 031 asphalt paving standard and a case study based on in loco observation in a company from the sector, in order to assess the degree of compliance with the new requirements.

**Keywords:** DNIT Standard 031/2024 – ES, pavement, asphalt concrete, testing, quality control.

## LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 - Camadas de um pavimento asfáltico (corte transversal) .....	16
Figura 2 - Tensões sobre as camadas do pavimento flexível .....	18
Figura 3 - Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente .....	20
Figura 4 - Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente .....	20
Figura 5 - Parâmetros granulométricos para concreto asfáltico conforme nova norma .....	21
Figura 6 – Classificação dos agregados .....	22
Figura 7 - Curva granulométrica .....	23
Figura 8 - Equipamento para determinação de índice de forma – crivo redutor.....	24
Figura 9 – Dimensões de uma partícula de agregado.....	25
Figura 10 – Leitura da dimensão do agregado com o uso do paquímetro .....	25
Figura 11 – Tabela de graduação para ensaio.....	28
Figura 12 – Carga abrasiva de acordo com a graduação .....	28
Figura 13 – Carga abrasiva de acordo com a graduação .....	29
Figura 14 – Representação da leitura da proveta de ensaio.....	30
Figura 15 - Exemplo de equipamento manual de medida da penetração e esquema de ensaio.....	31
Figura 16 – Especificação brasileira vigente de CAP.....	32
Figura 17 – Componente de um secador .....	34
Figura 18 - Ensaio de viga <i>Benkelman</i> realizado em trecho de obra viária.....	43
Figura 19 - Estrutura da viga <i>Benkelman</i> .....	44
Figura 20 - Modelo de posicionamento da viga <i>Benkelman</i> .....	44
Figura 21 - Dados populacionais do município de Belém-PA .....	47
Figura 22 - Evolução da frota de automóveis na cidade de Belém-PA .....	47
Figura 23 - Projeção da ampliação da Rua da Marinha pelo <i>software Google Earth</i> .....	48
Figura 24 - Seção da via – Rua da Marinha baseado em projeto do consórcio .....	49
Figura 25 - Localização da usina de asfalto pelo <i>software Google Earth</i> .....	49
Figura 26 - Usina de asfalto .....	50
Figura 27 - Silo frio da usina de asfalto .....	50
Figura 28 - Armazenamento de agregados .....	51

Figura 29 - Cabine de controle da usina .....	51
Figura 30 - Painel de controle da cabine .....	52
Figura 31 - Lançamento dos agregados para a secagem .....	52
Figura 32 - Silo de armazenamento do material de enchimento .....	53
Figura 33 - Tanque para armazenamento do CAP 50/70.....	53
Figura 34 - Tanque reservatório de CAP 50/70.....	54
Figura 35 - Reservatório de óleo BPF .....	54
Figura 36 - Aquecedor de óleo .....	55
Figura 37 - Despejamento do material da misturadora no caminhão .....	55
Figura 38 - Sistema de bombeamento e monitoramento de pressão e temperatura.	56
Figura 39 - Tabela de faixas granulométricas atualizada .....	60
Figura 40 - Tabela de faixas granulométricas anterior .....	60
Figura 41 - Requisitos para projeto de concreto asfáltico atualizado .....	61
Figura 42 - Requisitos para projeto de concreto asfáltico anterior .....	61
Figura 43 - Requisitos para Vazios do agregado mineral.....	62
Figura 44 – Fontes poluidoras.....	65
Figura 45 - Leitura do local com densímetro não-nuclear .....	67
Figura 46 - Tabela D1 DNIT 031/2024-ES - Classes de microtextura do pêndulo britânico.....	68
Figura 47 - Tabela D2 - Classes de macrotextura pelo método da mancha de areia	68
Figura 48 - Tabela D3 - Classes de atrito pelo IFI.....	69
Figura 49 - Resultados dos ensaios da mistura betuminosa fornecida pelo laboratório da empresa .....	72
Figura 50 - Ensaio de viga <i>benkelman</i> levantado no trecho fornecido pelo laboratório da empresa .....	73
Figura 51 - Trecho a ser executado .....	74
Figura 52 - Processo de pintura da superfície.....	74
Figura 53 - Descarregamento da mistura asfáltica.....	75
Figura 54 - Parafuso de rosca sem fim .....	75
Figura 55 - Lançamento da mistura asfáltica com acabamento preliminar .....	76
Figura 56 - Compactação do trecho por rolo liso tandem metálico .....	76
Figura 57 - Compactação por rolo pneumático .....	77

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade mínima de amostra .....	24
Tabela 2 – Massa mínima de amostra de ensaio.....	26
Tabela 3 – Massa mínima por fração .....	26
Tabela 4 – Localização dos pontos .....	43
Tabela 5 – Tabela-resumo das atualizações da norma.....	69
Tabela 6 - Granulometria utilizada na mistura betuminosa fornecida pelo laboratório da empresa .....	71

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional de Petróleo
CA	Concreto Asfáltico
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CDI	Coeficiente de Desgaste por Impacto
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EM	Especificação de material
ES	Especificação de serviço
FN	<i>Flow Number</i>
GC	Grau de Compactação
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
IFI	<i>International Friction Index</i>
IPR	Instituto de Pesquisas em Transportes
IRI	<i>International Roughness Index</i>
ME	Método de ensaio
MR	Módulo de Resiliência
PA	Estado do Pará
QI	Quoeficiente de Irregularidade
RBV	Relação Betume/Vazios
SENATRAN	Secretaria Nacional de Trânsito
TDI	Teor de Desgaste por Impacto
TM	Tamanho máximo
TNM	Tamanho nominal máximo
TSM	Tambor-Secador-Misturador
VAM	Vazio do Agregado Mineral
VDR	Valor de Resistência a Derrapagem
Vv	Volume de Vazios

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
<b>1.1.</b>	<b>Objetivo</b>	<b>14</b>
1.1.1.	Objetivos Específicos	15
<b>1.2.</b>	<b>Justificativa</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
<b>2.1.</b>	<b>Pavimentos</b>	<b>16</b>
2.1.1.	Pavimento Flexível	17
<b>2.2.</b>	<b>Agregados</b>	<b>21</b>
2.2.1.	Agregados Graúdos	22
2.2.2.	Agregados Miúdos	29
2.2.3.	Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)	30
<b>2.3.</b>	<b>Usinas</b>	<b>32</b>
2.3.1.	Silo Frio	33
2.3.2.	Secador	33
2.3.3.	Sistema coletor de pó	34
2.3.4.	Elevador quente	35
2.3.5.	Dispositivo de peneiramento	35
2.3.6.	Silo quente	36
2.3.7.	Introdução do <i>fíler</i>	36
2.3.8.	Misturador	37
2.3.9.	Usina gravimétrica	37
2.3.10.	Usina volumétrica	38
2.3.11.	Usina Tambor-Secador-Misturador (TSM) – <i>Drum Mixer</i>	39
<b>2.4.</b>	<b>Veículos utilizados em obras de pavimentação</b>	<b>40</b>
2.4.1.	Caminhões	40
2.4.2.	Vibroacabadoras	40
2.4.3.	Rolos Compactadores	40
2.4.4.	Controle de insumos	41
2.4.4.1.	Cimento Asfáltico	41
2.4.5.	Determinação das deflexões pela viga <i>benkelman</i>	42
<b>3.</b>	<b>MÉTODOS</b>	<b>46</b>
<b>3.1.</b>	<b>Caracterização da área de estudo</b>	<b>46</b>
<b>3.2.</b>	<b>Avaliação da atualização das normas DNIT 031/2024-ES</b>	<b>56</b>

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	58
<b>4.1.</b>	<b>Atualização da Norma Técnica DNIT 031/2024-ES</b> .....	58
4.1.1.	Agregados .....	58
4.1.2.	Projeto de Mistura .....	59
4.1.3.	Equipamentos .....	62
4.1.4.	Segmentos experimentais .....	63
4.1.5.	Temperaturas .....	63
4.1.6.	Condicionantes ambientais .....	64
4.1.7.	Controle de qualidade do pavimento asfáltico .....	66
4.1.8.	Acabamento de superfície .....	67
4.1.9.	Tabela resumo das principais atualizações da norma .....	69
4.1.10.	Tabelas de controle .....	71
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	78
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	80

## 1. INTRODUÇÃO

A norma DNIT 031/2024-ES é o documento desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas em Transportes – IPR, do qual se estabelecem as sistemáticas que devem ser empregadas para o processo de construção de pavimentos que usam mistura asfáltica usinada a quente (DNIT, 2024). O documento recebeu atualizações importantes em relação à versão do ano de 2006, adicionando diversos parâmetros, inclusão de ensaios e equipamentos obrigatórios para a execução do processo, com orientações de controle produtivo, características dos materiais, faixas granulométricas dos agregados empregados, ensaios de campo, maquinários e dispositivos a serem utilizados durante o processo (ALFINO, 2025). A atualização da norma passou a ser válida a partir do mês de outubro de 2024, exigindo que empresas do ramo buscassem atualizar e melhorar seus processos para atender aos parâmetros exigidos.

A duplicação da Rua da Marinha, situada no bairro da Marambaia, em Belém do Pará, é um projeto de grande relevância e efeito na mobilidade urbana e na estética da área circundante. A obra, em sua totalidade, conectará a Rodovia Augusto Montenegro à Avenida Centenário, com o objetivo de melhorar a mobilidade urbana da cidade, proporcionando mais alternativas de tráfego e, conseqüentemente, diminuindo os congestionamentos na região.

A execução da obra da Rua da Marinha obedece às diretrizes da norma DNIT 031/2024-ES, com isso tornou-se objeto de estudo sobre a aplicação das novas exigências normativas. A utilização de concreto asfáltico que atende às especificações normativas foi documentada e será evidenciada durante a apresentação deste trabalho acadêmico, juntamente com o registro de testes em laboratório, testes em campo e equipamentos empregados na realização de uma parte da obra.

### 1.1. Objetivo

Realizar o comparativo entre as normas DNIT 031/2006-ES e DNIT 031/2024-ES, evidenciando as mudanças existentes com a atualização através da revisão bibliográfica de ambas, buscando embasamento teórico em materiais de apoio e normas complementares e seus ensaios para o melhor entendimento do processo

executivo do concreto asfáltico, controle de qualidade e aplicação no trecho de uma obra em Belém.

#### 1.1.1. Objetivos Específicos

- Revisão das normas DNIT 031/2006-ES e DNIT 031/2024-ES, evidenciando os ensaios, materiais, índices e orientações que foram atualizadas e adicionadas.
- Consultar material teórico relacionado as principais mudanças normativas, tais como livros e normas técnicas dos ensaios relacionados.
- Demonstrar a aplicação dessas mudanças na obra da Rua da Marinha, para avaliação da execução correta dos parâmetros da norma atualizada.

#### 1.2. Justificativa

A atualização da norma técnica DNIT 031/2024-ES, em relação à versão anterior DNIT 031/2006-ES, introduziu mudanças relevantes nos critérios de avaliação de materiais, nos processos construtivos, nos ensaios e parâmetros técnicos, além de impor maior rigor quanto a licenciamentos ambientais, exploração de jazidas, usinas e equipamentos utilizados na produção do concreto asfáltico e na execução das obras. Nesse cenário, torna-se fundamental compreender tais alterações para assegurar o atendimento às novas exigências normativas.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar as alterações decorrentes da atualização da norma do DNIT, identificando os pontos de modificação por meio de revisão bibliográfica das normas e da consulta a fontes complementares relacionadas aos tópicos abordados. A avaliação da aplicação das novas diretrizes normativas foi realizada em dois contextos: na usina de asfalto e no canteiro de obras. O estudo foi desenvolvido na obra de duplicação e prolongamento da Rua da Marinha, localizada no bairro da Marambaia, em Belém, e na usina de asfalto responsável pelo fornecimento da mistura asfáltica para a execução do pavimento, situada no bairro da Maracacuera, no distrito industrial de Icoaraci, em Belém.

Por se tratar de obra de mobilidade urbana de grande porte, com significativo impacto social e ambiental, a duplicação da Rua da Marinha é executada sob rigoroso controle de qualidade, em conformidade com as diretrizes da DNIT 031/2024-ES, foco deste estudo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

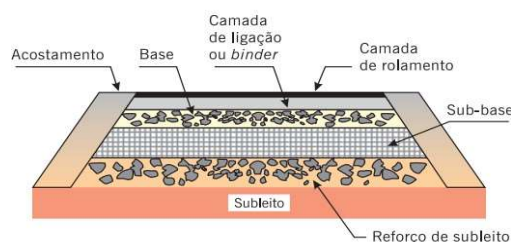
Neste capítulo são apresentados os referenciais teóricos consultados para elaborar o estudo do tema. Os principais focos de estudo são: (i) Pavimentos, onde são abordados conceitos sobre pavimentos flexíveis, dosagem Marshall; (ii) As normas DNIT 031/2006-ES e DNIT 031/2024-ES, onde serão avaliados os tópicos apresentados, as mudanças de parâmetros, os novos ensaios e exigências adicionados, as orientações sobre processos construtivos e equipamentos e os anexos disponíveis; (iii) Os ensaios laboratoriais de controle de qualidade e execução do serviço e dos materiais empregados, revisão as suas respectivas normas e pontuando os principais pontos de cada um.

### 2.1. Pavimentos

Segundo Bernucci *et al.* (2022), o pavimento possui funções técnicas e econômicas, como a resistência aos esforços provocados pelo tráfego de veículos e pelo clima, além de melhorar as condições de rolamento para os usuários, proporcionando maior conforto, segurança e economia de tempo em viagens.

A estrutura do pavimento é composta por diversas camadas com espessuras finitas, estabilizados acima do terreno existente (este conhecido como subleito), após a realização dos serviços de terraplanagem. Além disso, o pavimento rodoviário classifica-se de uma forma tradicional em dois tipos: rígidos e flexíveis. Atualmente os autores até preferem utilizar as nomenclaturas de pavimentos de concreto de cimento Portland (ou concreto-cimento) e pavimentos asfálticos, respectivamente. Na Figura 1 é possível verificar as várias camadas do pavimento asfáltico, as quais são dimensionadas conforme a necessidade do projeto (BERNUCCI *et al.*, 2022).

**Figura 1** - Camadas de um pavimento asfáltico (corte transversal)



**Fonte:** Bernucci *et al.* (2022)

Para a escolha dos materiais empregados, espessura das camadas e a criação do projeto devem ser levados em consideração alguns fatores tais como a composição do tráfego, a vida útil do projeto, o relevo, as condições climáticas e a disponibilidade de materiais na região.

Este trabalho levará em consideração exclusivamente os pavimentos flexíveis (asfálticos) devido a mudança da Norma DNIT 031/2024-ES, em outubro do referido ano, fato este que impactou alguns procedimentos técnicos e operacionais da preparação do concreto asfáltico e que despertou o presente estudo.

### 2.1.1. Pavimento Flexível

O pavimento flexível é aquele composto por uma mistura constituída de agregados, *filler* e ligantes asfálticos. Possui quatro camadas principais sendo elas: o revestimento, a base, a sub-base e reforço do subleito. Fato importante é que de acordo com as condições de tráfego e materiais disponíveis na região, poderão estar ausentes algumas dessas camadas (BERNUCCI *et al.*, 2022). Pode ser descrito também como o pavimento que todas as camadas sofrem deformação elástica significativa sob carregamento e a carga se distribui aproximadamente de forma equivalente entre as camadas, contudo, o rompimento do pavimento não ocorre devido a deformação e, sim, pela fadiga (AGUIAR, 2024).

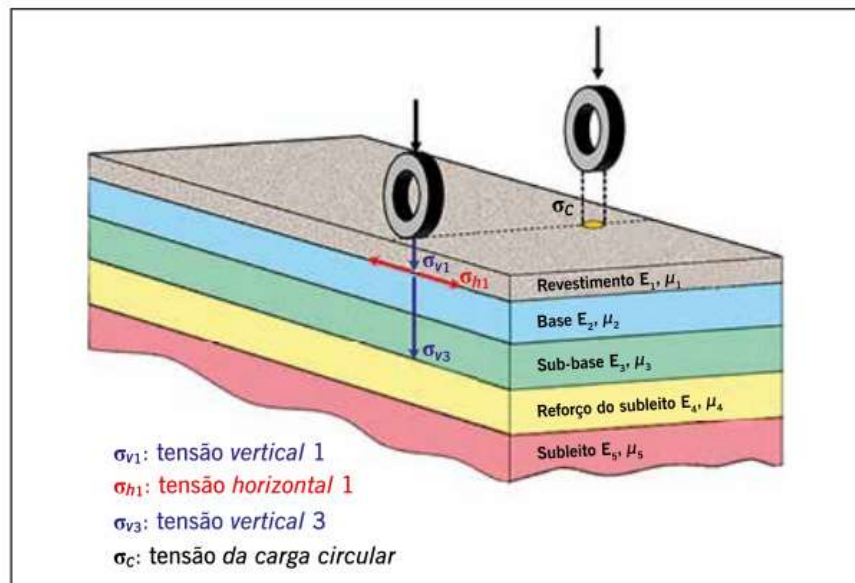
Segundo Balbo (2007), existem os seguintes tipos de camadas de revestimento:

- Camada de rolamento: Camada superficial do pavimento, o qual está em contato direto com as cargas de tráfego e as intempéries da natureza.
- Camada de ligação: Conhecida também como *Binder*, é uma camada intermediária entre a camada de rolamento e a base, a qual promove maior resistência ao conjunto do revestimento.
- Camada de nivelamento: Conhecida também como reperfilagem, utilizada como primeira etapa na execução de reforços, nivelando o pavimento para a execução da nova camada de rolamento.
- Camada de reforço: Conhecida também como recapeamento, é executada após o uso e desgaste do pavimento existente, com o intuito funcional, estrutural ou ambas.

No que tange a estrutura de um pavimento flexível, tais camadas são projetadas para resistir diretamente às ações do tráfego e transmitir tais esforços de maneira

atenuada às camadas inferiores, além de impermeabilizar o pavimento e melhorar as condições de rolamento (BERNUCCI *et. al.*, 2022). Logo, na Figura 2 é possível observar como a estrutura do pavimento é uma combinação de materiais e espessuras das camadas constituintes que tem por objetivo atenuar os esforços até o subleito.

**Figura 2** - Tensões sobre as camadas do pavimento flexível



**Fonte:** Bernucci *et al.* (2022)

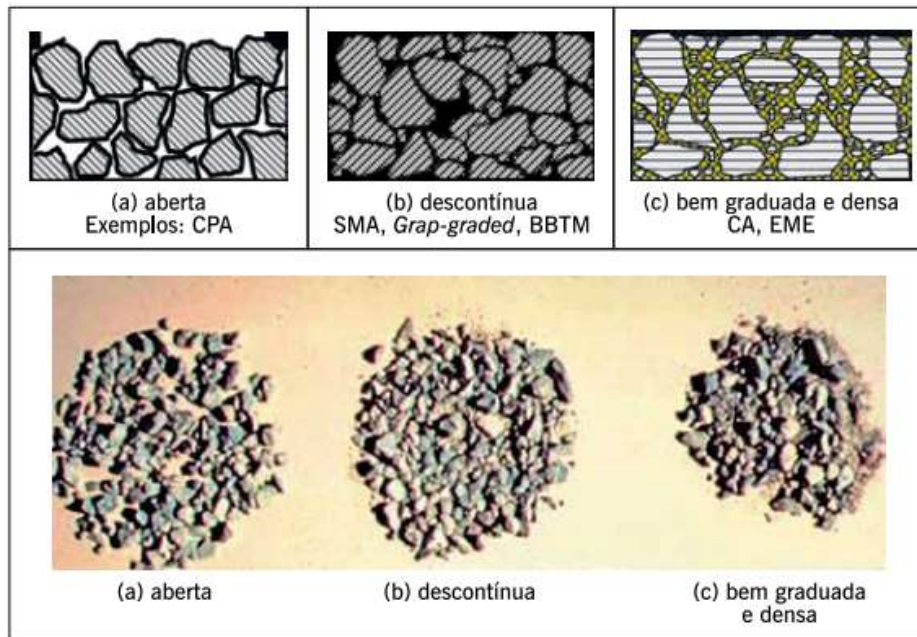
As camadas subjacentes ao revestimento asfáltico possuem a importância estrutural de proporcionar uma limitação de deformações e tensões com a determinação e combinação das espessuras e os materiais constituintes das camadas. Já a base e a sub-base possuem a função de resistir às tensões do tráfego e repassar para as camadas subjacentes, sendo que a sub-base é uma solução projetada para complementar a estrutura e reduzir a espessura da base e, eventualmente, servir de camada de bloqueio quando a granulometria da base e do reforço do subleito são muito diferentes entre si. O reforço de subleito é usado em casos em que os pavimentos são espessos de forma a minimizar a espessura da sub-base e a compatibilizar a solicitação recebida nesta camada, repassando para a subjacente, com a magnitude compatível com sua resistência (BALBO, 2007). E por fim, a regularização do subleito é utilizada em alguns casos para adequação topográfica do terreno natural (subleito), para poder receber as demais camadas do pavimento (FONSECA, 2016).

Entre as camadas de base e as demais de revestimento asfáltico é executada a imprimação com asfalto diluído, com o intuito de garantir a coesão da superfície, proteger a camada recém-executada de intempéries e garantir a aderência das camadas superiores à base (DNIT 144/2012-ES). Para promover ainda uma melhor aderência da base ou revestimento asfáltico já executado com uma nova camada de revestimento asfáltico é aplicada uma pintura de ligação com emulsão asfáltica (DNIT 145/2012-ES).

O Concreto Asfáltico (CA) ou Concreto Betuminoso Usinado a Quente (CBUQ) é um tipo de revestimento asfáltico por mistura de agregados de vários tamanhos, *filler* e cimento asfáltico, podendo conter aditivos, ambos aquecidos em temperatura elevada e previamente escolhida em função das características do ligante. É produzido em uma usina estacionária, transportado por caminhão basculante até o local de execução, lançado por uma vibroacabadora, e posteriormente compactado por rolos pneumáticos e lisos, para garantir a sua compactação e acabamento, respectivamente (BERNUCCI *et al.*, 2022). A sua definição, segundo o DNIT (2006), “Mistura executada a quente, em usina apropriada, com características específicas, composta de agregado graduado, material de enchimento (*filler*) se necessário e cimento asfáltico, espalhada e compactada a quente”.

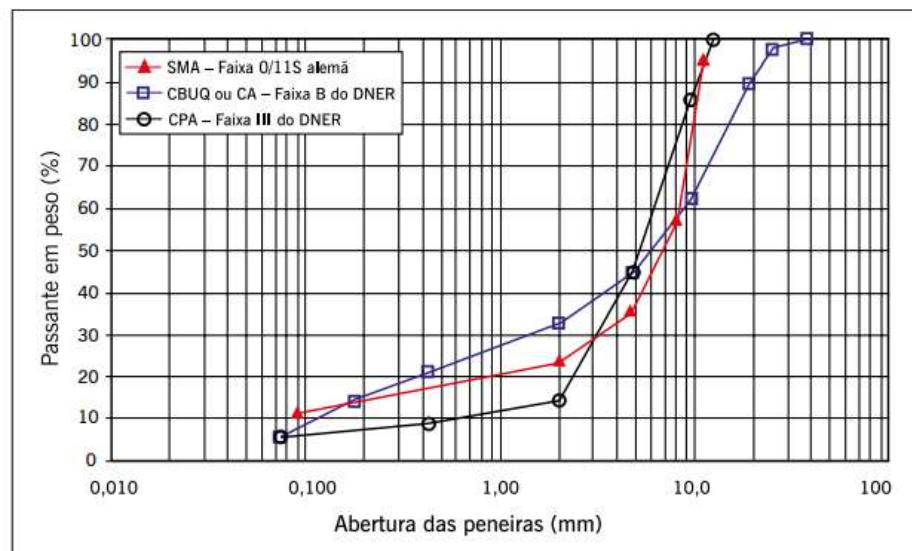
As misturas asfálticas a quente podem ser classificadas em três grupos, considerando a granulometria dos agregados e *filleres* como mostrado na Figura 5. As misturas com graduação densa possuem uma curva granulométrica contínua e bem graduada, proporcionando uma estrutura mineral de grande intertravamento, e produzindo uma menor quantidade de vazios com ar disponível. Já as misturas com graduação aberta possuem uma curva granulométrica uniforme e com agregados na sua maioria de mesmo tamanho, garantindo uma estrutura mineral com muitos vazios, uma vez que não possuem agregados miúdos e material fino para seu preenchimento, possibilitando a percolação de água na mistura asfáltica. E, por fim, as misturas com graduação descontínua possuem uma curva granulométrica com maior quantidade de grãos maiores em relação aos grãos intermediários e materiais finos, garantindo uma maior resistência à deformação, contudo instável (BERNUCCI *et al.*, 2022). Na Figura 3 podem ser observadas as curvas granulométricas em que há a relação entre a porcentagem do passante em peso com a abertura das peneiras e na Figura 4 um exemplo de curva granulométrica das misturas asfálticas.

**Figura 3** - Exemplos de composições granulométricas dos tipos de misturas a quente



Fonte: Bernucci *et al.* (2022)

**Figura 4** - Exemplos de curvas granulométricas de diferentes misturas asfálticas a quente



Fonte: Bernucci *et al.* (2022)

Conforme a norma de Pavimentos Flexíveis – Concreto asfáltico do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (031/2024-ES), toda mistura asfáltica deve possuir uma composição com uma espessura máxima com a finalidade de garantir a sua compactação e as suas propriedades. Contudo, o projeto pode prever revestimentos com espessuras superiores para receber a solicitação

especulada. Quando isso acontece, é comum a aplicação de duas ou mais camadas para garantir a excelência na execução. As primeiras camadas a serem executadas (de ligação ou *Binder*) tenderão possuir índice de vazios maiores para garantir maior drenagem e diminuir o consumo de CAP (Cimento Asfáltico de Petróleo). Já a última camada (rolamento ou capa) possui um índice de vazios menor para garantir uma maior impermeabilidade, conforto e segurança aos usuários. Cada mistura possui as suas tolerâncias quanto a granulometria, como é mostrado na Figura 5.

**Figura 5** - Parâmetros granulométricos para concreto asfáltico conforme nova norma

Peneira de malha quadrada		% passante, em massa			
ASTM	Abertura (mm)	Faixas			
		A-25	B-19	C-12,5	D-9,5
1 ½"	38,1	100	-	-	-
1"	25,4	90 - 100	100	-	-
¾"	19,1	75 - 89	90 - 100	100	-
½"	12,7	58 - 78	70 - 89	90 - 100	100
⅜"	9,5	48 - 71	55 - 82	73 - 89	90 - 100
¼"	6,3	35 - 61	42 - 70	53 - 78	65 - 89
Nº 4	4,8	29 - 55	35 - 63	44 - 72	53 - 83
Nº 8	2,36	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67
Nº 16	1,18	13 - 36	16 - 37	17 - 45	20 - 52
Nº 30	0,60	9 - 28	10 - 28	11 - 35	13 - 40
Nº 50	0,30	5 - 21	6 - 20	6 - 25	8 - 29
Nº 100	0,150	2 - 14	4 - 13	3 - 17	4 - 19
Nº 200	0,075	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10

Fonte: DNIT (2024)

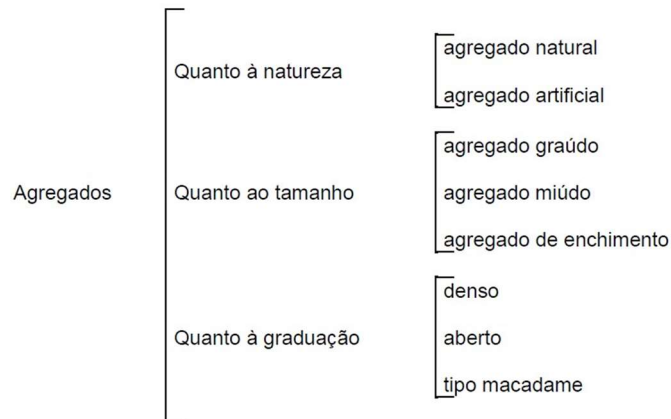
A escolha dos agregados não é resumida apenas à classificação das camadas de revestimentos, eles também possuem diferentes níveis de desempenhos em serviço, sendo classificada na pavimentação quanto a sua natureza (natural ou artificial), tamanho (gráudo, miúdo ou *filler*) e distribuição de grãos (densa, aberta, uniforme e descontínua) (BERNUCCI *et al.*, 2022).

## 2.2. Agregados

Os materiais pétreos usados para a pavimentação de uma via, comumente chamados de agregados, podem ter origem de maneira natural ou artificial. Os agregados de origem natural são obtidos na natureza, extraídos de jazidas, como por exemplo os pedregulhos, seixos rolados etc. Para os materiais de origem artificial, são

usados meios físicos ou químicos para extrair o material, como por exemplo a escória e a argila expandida (DNIT, 2006). Na Figura 6 é demonstrada como ocorre a classificação dos agregados.

**Figura 6 – Classificação dos agregados**



**Fonte:** DNIT (2006)

Segundo DNIT (2024) a classificação dos agregados de acordo com o tamanho das partículas e das peneiras graduadas pelas quais o material passa, é determinada da seguinte forma:

- Agregados graúdos são todas as partículas que passam pela peneira de 3 polegadas ou 75 milímetros e que ficam retidas na peneira número 4.
- Agregados miúdos são aqueles que passam pela peneira número 4 e ficam retidas na peneira número 200.
- Material pulverulento ou *filler* é aquele que passa pela peneira número 200.
- Material ou Agregado de enchimento é aquele que passa pela peneira número 40 e que passa mais que 65% pela peneira número 200.

### 2.2.1. Agregados Graúdos

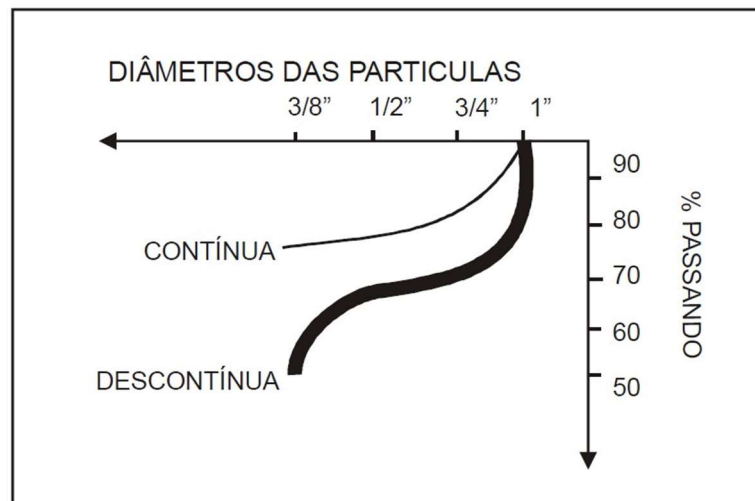
Segundo DNIT (2024) a dimensão ou tamanho máximo (TM) é determinada pela menor abertura de peneira pela qual toda a massa de agregado passa, de forma que nenhuma partícula fique retida. Para a determinação do tamanho nominal máximo (TNM), verifica-se a peneira logo acima da primeira a qual retém mais de 10% das partículas do agregado amostrado, considerando a quantidade retida.

Existem equações que permitem a classificação de um agregado, sob o ponto

de vista granulométrico, indicando a graduação dos agregados analisados, variações entre a graduação densa, graduação aberta e agregados do tipo macadame. (DNIT, 2006).

Quanto à curva granulométrica, os agregados podem ser classificados como contínuos quando sua distribuição apresenta comportamento regular, sem interrupções entre as frações. Por outro lado, quando ocorrem descontinuidades, mudanças bruscas de direção ou pontos de inflexão na curva, esta é caracterizada como descontínua (DNIT, 2006). A Figura 7 ilustra o comportamento típico das curvas granulométricas contínuas e descontínuas:

**Figura 7 - Curva granulométrica**



Fonte: DNIT (2006)

A determinação da curva granulométrica garante o uso adequado do material, obtendo boa coesão entre os grãos, assegurando estabilidade ao pavimento (DNIT, 2006). Para determinar a forma predominante do agregado a ser usado, avalia-se o Índice de Forma dos grãos, do qual é determinado através do ensaio dado pelas normas DNIT 424/2020 – ME: Determinação do índice de forma com crivos ou DNIT 425 – ME: Determinação do índice de forma com paquímetro (DNIT, 2024). Conforme DNIT (2020) para o ensaio com uso de crivos, é necessário ter a aparelhagem exigida pela norma correspondente. A figura 8 apresenta algumas das aparelhagens usadas no ensaio.

**Figura 8** - Equipamento para determinação de índice de forma – crivo redutor

Fonte: DNIT (2020)

A Tabela 1 apresenta a massa mínima de amostra inicial de acordo com a abertura das peneiras.

**Tabela 1** – Quantidade mínima de amostra

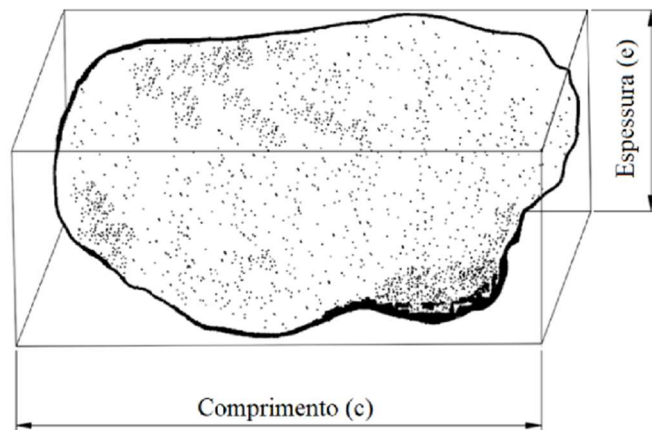
Fração granulométrica (abertura da peneira) mm	Massa mínima da amostra inicial (kg)
< 19	5
> 19 e ≤ 25	10
> 25 e ≤ 37,5	15
> 37,5	20

Fonte: DNIT (2020)

O material deve estar seco para a realização do ensaio, desprezando-se as frações passantes na peneira de 9,5 mm e aquelas que apresentarem valores retidos menores do que 5% em massa (DNIT, 2020).

Com o uso do paquímetro, as dimensões dos agregados ensaiados devem ocorrer com leituras do comprimento e largura dos grãos, conforme demonstrado nas figuras 9 e 10.

**Figura 9** – Dimensões de uma partícula de agregado



**Fonte:** DNIT (2020)

**Figura 10** – Leitura da dimensão do agregado com o uso do paquímetro



**Fonte:** DNIT (2020)

Após realização da leitura das medidas das partículas, realiza-se a média ponderada das relações de comprimento e espessura lidos. O índice será expresso pelo valor decimal mais próximo (DNIT, 2020).

Ao final, deve-se identificar o agregado ensaiado, relatando o índice calculado e a graduação da amostra original, com percentual retido em cada peneira (DNIT, 2020). Para a avaliação do limite de absorção de água do agregado, faz-se necessário realizar o ensaio de absorção de água, o qual aponta a capacidade de absorção do agregado a ser ensaiado (DNIT, 2006), tal ensaio pode ser realizado conforme norma DNIT 195/97 ou norma vigente mais atual. Para a realização do ensaio, deve-se

separar a massa mínima de acordo com a dimensão máxima do agregado, conforme tabela 2 apresentada a seguir (DNER, 1997).

**Tabela 2 – Massa mínima de amostra de ensaio**

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Massa mínima da amostra de ensaio (kg)
12,5 ou menor	2,0
19,0	3,0
25,0	4,0
38,0	5,0
50,0	8,0
64,0	12,0
76,0	18,0
100,0	40,0
125,0	75,0
152,0	125,0

Fonte: DNER (1997)

Segundo a norma 195/97 DNER: “Quando a amostra contém mais de 15% de material retido na peneira de 38mm, os ensaios das frações superiores devem ser executados separadamente nas frações por tamanho”. As massas mínimas são demonstradas na tabela 3:

**Tabela 3 – Massa mínima por fração**

Peneira (mm)		Massa mínima por fração (kg)
Passa	Retida	
50	38	3,0
64	50	4,0
76	64	6,0
100	76	22,0
125	100	35,0
152	125	50,0

Fonte: DNER (1997)

Para realizar o ensaio, deve-se lavar a amostra sobre a peneira 4,8 mm, secar em temperatura entre 105 °C e 110 °C. Logo após, a amostra deve resfriar a temperatura ambiente durante o tempo de 1 hora a 3 horas ou até que atinja temperatura adequada para manipulação, de ao menos 50 °C. Após este processo, a massa de material deve ser submersa em água, à temperatura ambiente, por um período aproximado de 24 horas, podendo variar em um intervalo de mais ou menos 4 horas (DNER, 1997).

O ensaio é necessário para se obter índices importantes para avaliação dos agregados, como a massa específica do agregado seco  $\gamma_s$ , a massa específica do agregado na condição saturada superfície seca  $\gamma_{SSS}$  e a absorção de água, expressa em porcentagem (DNER, 1997).

Outro índice importante a ser avaliado é o percentual de partículas fraturadas, obtido através do ensaio Los Angeles, conforme apresentado na norma DNIT 451/2024 – ME: Agregados – Determinação do desgaste por abrasão e impacto no equipamento “Los Angeles” – Método de ensaio.

O ensaio consiste em caracterizar o material a ser ensaiado, o agregado graúdo, através do peneiramento do material, verificando a massa retida em cada graduação de peneira para classificar o material conforme tabela em anexo na norma citada (DNIT, 2024). O material pode ser quarteado de forma a separar a graduação escolhida, para cada fração escolhida deve-se realizar a lavagem do material e a secagem adequada em estufa, com temperaturas entre 105 a 110 °C, até que seja verificada a constância de peso com variação máxima de 0,5 g após duas pesagens consecutivas (DNIT, 2024). O ensaio é realizado para cada porção de mesma graduação do material, onde se reúnem as diversas porções semelhantes, misturando-as até formar uma massa única e então é realizada a pesagem. O resultado obtido é a massa de amostra seca  $m_n$  (DNIT, 2024). A figura 11 demonstra as graduações do ensaio, conforme as características do material ensaiado.

**Figura 11 – Tabela de graduação para ensaio**

Peneiras Abertura em mm		Amostra – massa principal em gramas (g)						
Passado em	Retido em:	Grad. A	Grad. B	Grad. C	Grad. D	Grad. E	Grad. F	Grad. G
76	63	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
63	50	-	-	-	-	2500 ± 50	-	-
50	38	-	-	-	-	5000 ± 50	5000 ± 50	-
38	25	1250 ± 25	-	-	-	-	5000 ± 25	5000 ± 25
25	19	1250 ± 25	-	-	-	-	-	5000 ± 25
19	12,5	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
12,5	9,5	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-	-	-	-
9,5	6,3	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-
6,3	4,8	-	-	2500 ± 10	-	-	-	-
4,8	2,4	-	-	-	5000 ± 10	-	-	-
<b>Massas totais (g)</b>		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	10000 ± 100	10000 ± 75	10000 ± 50
<b>Rotações do tambor</b>		500	500	500	500	1000	1000	1000

Fonte: DNIT (2024)

Com o resultado obtido na figura 11, verifica-se a graduação do material e o número de esferas metálicas que serão adicionadas ao equipamento de ensaio para realizar o desgaste do material de maneira controlada, conforme demonstrado na figura 12 (DNIT, 2024).

**Figura 12 – Carga abrasiva de acordo com a graduação**

Graduação	Número de esferas	Massa da carga abrasiva (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15
E	12	5000 ± 25
F	12	5000 ± 25
G	12	5000 ± 25

Fonte: DNIT (2024)

Após separado e pesado, o material é colocado dentro do tambor do equipamento para ensaio “Los Angeles”. Antes de adicionar o material, é importante verificar o estado de limpeza para que não ocorram interferências no ensaio, a seguir, se adiciona o agregado e a carga abrasiva no fundo do tambor, feito isso, fecha-se o

equipamento com cuidado para não haver perda de material. (DNIT, 2024) Com o material adicionado junto a carga, é realizado o processo de ensaio, onde o tambor deve girar a uma rotação de 30 a 33 rpm (rotações por minuto), o número de rotações varia de acordo com a graduação do material, variando de 500 rotações para as graduações A, B, C e D e 1000 rotações para as graduações E, F e G (DNIT, 2024).

**Figura 13** – Carga abrasiva de acordo com a graduação



**Fonte:** DNIT (2024)

Ao finalizar, é retirado o material junto com a carga abrasiva, sendo essa limpa com escova de fibra. A amostra deve então ser peneirada em uma peneira de 1,7 mm de abertura, onde será rejeitado o material passante, em seguida, o material é lavado e secado em estufa com temperatura entre 105 e 110 °C por pelo menos 3 horas. Após realizado o processo, o material deve ser pesado e avaliado conforme a norma do ensaio, para obtenção do valor de desgaste por abrasão “Los Angeles” (DNIT, 2024).

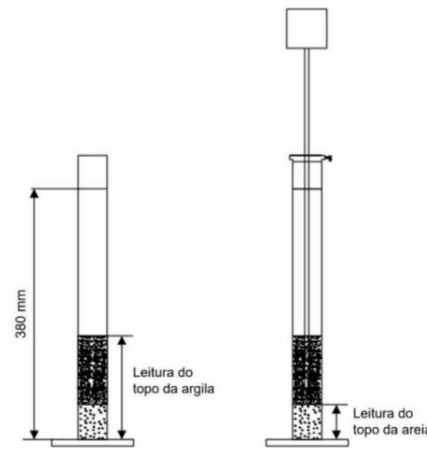
#### 2.2.2. Agregados Miúdos

Segundo o DNIT (2024), o agregado miúdo pode ser composto por areia, pó de pedra, uma mistura de ambos ou outro material indicado nas especificações do DNIT. O uso de areia natural deve ser limitado a um percentual de 8% na composição e o material deve apresentar as seguintes características, como:

- a) Equivalente de areia igual ou maior a 55%, conforme ensaio DNIT 450-ME.
- b) Teor de Vazios não compactados igual ou maior a 45% para vias de tráfego pesado e maior ou igual a 40% para vias de tráfego mais leve.

A intensidade de tráfego é determinada pelo valor de  $N > 1,0 \times 10^7$  para o tráfego pesado e  $N \leq 1,0 \times 10^7$  para o tráfego leve (DNIT, 2024). Para o ensaio do equivalente de areia, é necessário atender a norma DNIT 450/2024-ME, utilizando todo o aparelhamento exigido para obter o resultado do equivalente de areia no material ensaiado. A figura 14 demonstra a situação de leitura das provetas de ensaio.

**Figura 14** – Representação da leitura da proveta de ensaio



Fonte: DNIT (2024)

### 2.2.3. Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP)

O ligante asfáltico é a principal matéria-prima utilizada na produção de asfaltos diluídos, emulsões asfálticas, asfaltos modificados, asfalto-espuma e asfaltos soprados (industriais). Esses produtos correspondem a aproximadamente 40% do consumo total, enquanto os outros 60% destinam-se às aplicações a quente, nas misturas conhecidas como concreto asfáltico (BERNUCCI *et al.*, 2022).

Esse material apresenta propriedades de um adesivo termoviscoplastico, sendo impermeável à água e quimicamente pouco reativo. No entanto, ainda que sua reatividade seja baixa, o ligante está sujeito ao envelhecimento por oxidação lenta em contato com o ar e a umidade. Sua composição química é complexa, com moléculas que podem conter entre 20 e 120 átomos de carbono. Além disso, suas características influenciam diretamente fatores como toxidez, resistência ao envelhecimento e

enrijecimento, adesão aos agregados, suscetibilidade térmica, desempenho físico e mecânico das misturas asfálticas, além de desempenharem papel fundamental na incorporação de modificadores, como polímeros e outros aditivos (BERNUCCI *et al.*, 2022).

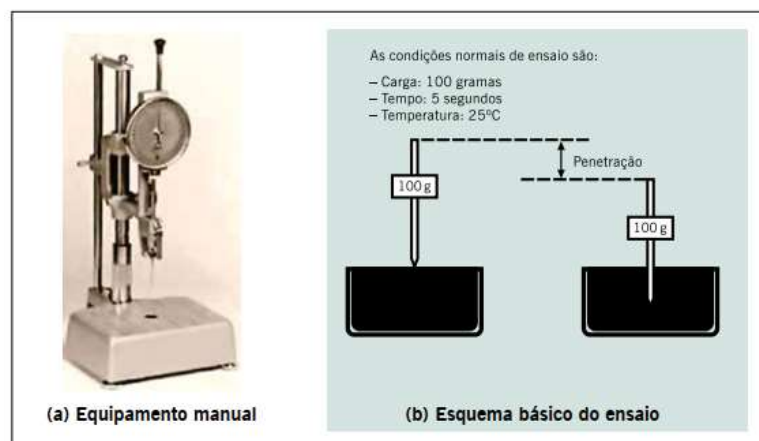
Em relação ao comportamento físico, o ligante apresenta-se como material semissólido em baixas temperaturas, viscoelástico em condições ambientais e líquido em altas temperaturas. Seu enquadramento é definido por limites de consistência para faixas de temperatura específicas, conforme estabelecido em normas que orientam tanto a comercialização quanto a seleção adequada para as obras.

Os CAPs, no Brasil, segundo a ANP (Agência Nacional de Petróleo) e o DNIT são classificados de acordo com o ensaio de penetração e este pode ser descrito da seguinte forma:

A penetração é a profundidade, em décimos de milímetro, em que uma agulha de massa padronizada (100 g) penetra numa amostra de volume padronizado de cimento asfáltico, por 5 s, à temperatura de 25°C. Em cada ensaio, três medidas individuais de penetração são realizadas. A média dos três valores é anotada e aceita, se a diferença entre as três não exceder um limite especificado em norma. A consistência do CAP é tanto maior quanto menor for a penetração da agulha. A norma brasileira para este ensaio é a ABNT NBR 6576 (BERNUCCI *et al.*, 2022, pág.60).

A figura 15 a seguir evidencia o equipamento utilizado no ensaio de penetração e como é verificada a esquematização para fins de classificação do CAP.

**Figura 15** - Exemplo de equipamento manual de medida da penetração e esquema de ensaio



Fonte: BERNUCCI *et al.*(2022)

Desde 2005, a ANP aprovou essa especificação, baseada no referido ensaio, em substituição às normas anteriores em todo o país. Já em 2006, o DNIT passou a adotar o mesmo padrão por meio da Especificação de Material DNIT EM 095/2006, demonstrada na figura 16 a seguir.

**Figura 16 – Especificação brasileira vigente de CAP**

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	LIMITES				MÉTODOS		
		CAP 30 / 45	CAP 50 / 70	CAP 85 / 100	CAP 150 / 200	ABNT	ASTM	DNER
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	30 - 45	50 - 70	85 - 100	150 - 200	NBR 6576	D 5	ME 003/99
	°C	52	46	43	37	NBR 6560	D 36	
Viscosidade Saybolt Furol	s					NBR 14950	E 102	ME 004/94
a 135 °C, mín		192	141	110	80			
a 150 °C, mín		90	50	43	36			
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60			
OU								
Viscosidade Brookfield	cP					NBR 15184	D 4402	
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín		374	274	214	155			
a 150 °C, SP 21, mín.		203	112	97	81			
a 177 °C, SP 21		76 - 285	57 - 285	28 - 114	28 - 114			
Índice de susceptibilidade térmica (1)		(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)	(1,5) a (+0,7)			
Ponto de fulgor mín	°C	235	235	235	235	NBR 11341	D 92	ME 149/94
Solubilidade em tricloroetileno, mín	% massa	99,5	99,5	99,5	99,5	NBR 14855	D 2042	ME 153/94
Ductilidade a 25° C, mín	cm	60	60	100	100	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min							D 2872	
Variação em massa, máx (2)	% massa	0,5	0,5	0,5	0,5			
Ductilidade a 25° C, mín	cm	10	20	50	50	NBR 6293	D 113	ME 163/98
Aumento do ponto de amolecimento, máx	°C	8	8	8	8	NBR 6560	D 36	
Penetração retida, mín (3)	%	60	55	55	50	NBR 6576	D 5	ME 003/99

Fonte: DNIT (2006)

### 2.3. Usinas

As usinas gravimétricas e volumétricas devem seguir o parâmetro prescrito em norma. Exige o uso de sistemas de controle automatizados, com pesagem dinâmica ou estática precisa, especificando o topo de misturador e coletor de pó da usina. Os Silos de agregados devem ser fracionados em no mínimo 3, contendo sensores de umidade. Os tanques de CAP devem obedecer a requisitos detalhados de recirculação, aquecimento e capacidade mínima para 3 dias de serviço (DNIT, 2024).

Segundo o DNIT (2006), as usinas de asfalto são as responsáveis por produzir o concreto betuminoso e possuem capacidades variadas de produção de acordo com o tipo. Os tipos existentes são:

- a) usinas descontínuas, que apresentam produção descontínua; gravimétrica;
- b) usina contínua, que apresentam produção contínua; volumétrica;
- c) usinas TSM (Tambor-Secador-Misturador), também chamadas de *Drum-Mixer*.

As usinas gravimétricas e volumétricas possuem componentes em comum que fazem parte do processo produtivo do concreto betuminoso, os quais são (DNIT, 2006):

#### 2.3.1. Silo Frio

Os silos frios são constituídos de chapas metálicas, possuem forma de tronco de pirâmide e servem para armazenar o agregado a ser usado para a produção do concreto asfáltico. Abaixo destes silos, existem alimentadores frios, que servem para despejar o material na proporção definida para a mistura do concreto betuminoso (DNIT, 2006).

Segundo o DNIT (2006): “O alimentador poderá ser constituído, ou de uma chapa com movimento horizontal de alongação constante, ou de calhas vibratórias por ação eletromecânicas instaladas na boca inferior de cada silo.”

A quantidade de silos frios existentes para a separação do material deve ser de, no mínimo, três silos, os quais devem ser preferencialmente cobertos, com sensor de umidade e conter balanças individuais em cada silo, a fim de garantir a correta dosagem do material (DNIT, 2024). O sistema utilizado para conduzir o material dosado nos silos é chamado de correia transportadora, responsável por levar o agregado até o secador (DNIT, 2006).

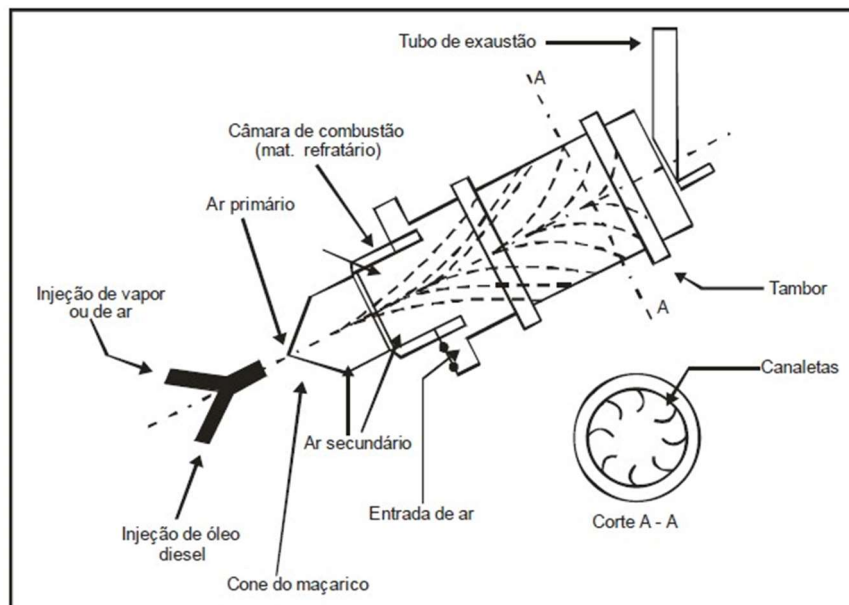
#### 2.3.2. Secador

O secador é o dispositivo responsável por secar e aquecer o material que foi transportado pela correia transportadora. Segundo o DNIT (2006) o secador: “Consiste o secador de um longo cilindro de aço assente sobre roletes, através de

dois anéis metálicos externos. Os roletes, acoplados a redutores acionados por motores elétricos e montados em um chassi, imprimem ao cilindro um movimento de rotação.

O secador possui um queimador posicionado na parte mais baixa, usado para elevar a temperatura interna e permitir a secagem e aquecimento do material até a temperatura de mistura necessária. A chama do queimador pode ser regulada para otimizar o consumo de combustível. Outra medida que pode ser tomada para reduzir o consumo é reduzindo o teor de umidade do agregado usado na mistura do concreto asfáltico, sendo indicado posicionar os silos frios em áreas cobertas, principalmente em regiões sujeitas a grandes precipitações (DNIT, 2006). O agregado seco deve apresentar um teor de umidade igual ou inferior a 0,3% após o processo de secagem (DNIT, 2024). A seguir, é apresentado um esquema do funcionamento do secador conforme figura 17.

**Figura 17 – Componente de um secador**



**Fonte:** DNIT (2006)

### 2.3.3. Sistema coletor de pó

É o sistema responsável pela filtragem e coleta do pó nas usinas, que podem ser reaproveitados a mistura do material, assim como reduz o lançamento deste pó a atmosfera.

O sistema coletor é constituído fundamentalmente por uma tubulação na qual são instalados, pela ordem, uma ventoinha e um ciclone. A mistura de gases mais pó succionada no interior do secador por intermédio da ventoinha, é encaminhada para o ciclone, onde os finos são separados dos gases pela força centrífuga. (DNIT, 2006, p. 209)

Em razão dos problemas ambientais e da necessidade de controle da poluição, em determinadas localidades é obrigatória a adoção de sistemas mitigadores das emissões gasosas provenientes das usinas de asfalto. Para reduzir os potenciais impactos ambientais, torna-se imprescindível a implementação de sistemas de controle de emissões, os quais podem ser classificados, principalmente, em dois tipos: sistemas a seco, que utilizam filtros de mangas capazes de coletar o material particulado e reintegrá-lo ao processo produtivo; ou sistemas de lavagem de gases, nos quais os efluentes passam por um tanque com água, promovendo a decantação dos finos gerados (DNIT, 2006).

#### 2.3.4. Elevador quente

Segundo o DNIT (2006, p. 209):

O elevador quente é constituído por caçambas acopladas a correntes para a elevação da mistura quente dos agregados saídos do secador. É recoberto por uma estrutura metálica de seção retangular à qual se conecta com a estrutura da peneira e dos silos.”

O elevador ainda deve ser isolado do ambiente externo e composto por elevador de arraste. O material então é conduzido até o silo de armazenamento (DNIT 2024).

#### 2.3.5. Dispositivo de peneiramento

Dispositivo que recebe o material vindo através do elevador quente. O material aquecido é lançado em um sistema de peneiras das quais separam em duas ou mais frações de agregados. Segundo o DNIT (2006, p. 210): “Não é recomendável a utilização de usinas que não possuam, sequer, dispositivo de peneiramento, sendo o

agregado, aquecido e armazenado num único silo.” Este sistema apresenta algumas desvantagens, como maior possibilidade de segregação de agregado, quando este é armazenado em um único silo quente. (DNIT, 2006)

A seleção das malhas que constituirão as peneiras deverá ser feita em função da análise conjunta de vários fatores, tais como: diâmetro máximo do agregado, granulometria da mistura dos agregados, número de silos quentes disponíveis, capacidade de peneiramento dos dispositivos etc. Os agregados retidos na tela superior são recolhidos num compartimento e descarregados por uma calha no solo. (DNIT, 2006, p. 210)

### 2.3.6. Silo quente

É o silo armazenador do material recebido do dispositivo de peneiramento. Este componente da usina deve ter capacidade de armazenamento de, no mínimo, três vezes a capacidade do misturador (DNIT, 2006). Na parte inferior, o silo deve conter dispositivos de controle de temperatura, como termômetros ou pirômetros, para determinar a temperatura do agregado ali depositado. Na parte superior, é necessário que exista um sistema de extravasamento do material em caso de transbordamento, para evitar a fuga de material de um silo para outro (DNIT, 2006).

Os silos quentes das usinas descontínuas dispõem, em suas bases, de comportas acionadas por alavancas, comportas estas localizadas diretamente sobre o receptáculo da balança. Os silos quentes das usinas contínuas são equipados com portões à semelhança dos alimentadores frios. Através desses portões escoo o agregado quente, que é levado por uma esteira metálica ao segundo elevador quente, ou, em outros tipos, diretamente ao misturador. (DNIT, 2006, p. 210)

### 2.3.7. Introdução do *fíler*

Dos materiais usados na mistura asfáltica, o *fíler* é o único material que não é aquecido. Este material é depositado próximo ao misturador, é adicionado a parte e conduzido ao misturador por meio de um parafuso de rosca sem fim. (DNIT, 2024) Segundo a norma DNIT 031-ES (2024, p. 6): “Para o concreto asfáltico, o material de

enchimento (se necessário) deve ser a cal hidratada, atendendo às especificações da norma DNIT 418 – EM. Ao ser aplicado, o material de enchimento deve estar seco e isento de grumos.” A adição da cal hidratada melhora a adesividade entre o CAP e os agregados e deve ser verificado em ensaio de dano por umidade induzida (DNIT, 2024).

### 2.3.8. Misturador

O misturador é o componente responsável por receber o agregado aquecido proveniente do secador, bem como o material de enchimento (*filler*), cuja adição à mistura é opcional. É também nesse equipamento que ocorre a injeção do CAP, dando início ao processo de homogeneização da mistura asfáltica. Segundo o DNIT (2006, p. 211): “O misturador consiste essencialmente de uma caixa térmica de fundo curvo, com comporta para descarga operada pneumáticamente, com dois eixos horizontais, paralelos, providos de braços com palhetas reversíveis e substituíveis e animados de movimento de rotação quando em operação.” Em usinas descontínuas, há um tempo dedicado à mistura dos agregados e do *filler* dentro da misturadora, com o objetivo de homogeneizar os materiais — esse período é denominado tempo de mistura seca. Quando ocorre a injeção do CAP na mistura, o tempo decorrido entre a injeção e a abertura da comporta do misturador é chamado de tempo de mistura úmida, o qual não pode ser inferior a 20 segundos. A soma dos tempos de mistura seca e úmida não pode ser inferior a 40 segundos (DNIT, 2006).

Nas usinas contínuas, a incorporação do ligante aos agregados (ou à mistura de agregados mais *filler*) tem lugar, de forma contínua, pouco antes deles penetrarem no misturador. Nos misturadores das usinas contínuas, a disposição das palhetas, além de facultar a operação de mistura, possibilita o deslocamento de massa em direção à saída do misturador; o tempo de mistura (tempo que ocorre entre a entrada de uma partícula no misturador e sua saída do mesmo) pode ser aumentado, ou diminuído, respectivamente pela elevação, ou abaixamento, de uma comporta existente na saída do misturador. (DNIT, 2006, p. 212)

### 2.3.9. Usina gravimétrica

A usina gravimétrica deve trabalhar com balanças de pesagem estático em

cada silo de material, dos quais devem ser cobertos para evitar o ganho de umidade no material (DNIT, 2024). Deve conter tanques de CAP, preferencialmente posicionados no eixo horizontal, posicionados próximos ao misturador, também deve conter uma bomba para injeção do material, posicionado a no máximo dois metros do misturador. A transferência do CAP para o misturador deve ser feita através de tubulações com isolamento térmico, assim como tubulações de retorno, das quais devem ser aquecidas através da circulação do material por pelo menos quinze minutos antes do início da operação (DNIT, 2024).

Devem ser recolhidas as amostras dos agregados após a secagem, caso estes apresentem absorção entre 2% e 3%, para determinar a umidade dele, onde o resultado apresentado deve ser igual ou inferior a 0,3% (DNIT, 2024).

A usina deve dispor de um alimentador de material de enchimento com controle por massa, equipado com sistema de filtragem para coleta de pó particulado. No caso da utilização de cal hidratada, esta deve ser adicionada diretamente no misturador, especificamente na zona de mistura seca. O sistema de filtragem do pó deve apresentar comprovada eficiência, de modo a minimizar os impactos ambientais associados à emissão desse material (DNIT, 2024).

A usina deve ser dotada de termômetros distribuídos entre seus componentes, como os silos quentes, dosador ou na linha de alimentação de CAP, com escala de temperatura entre 90 °C e 210 °C e tolerância de 1 °C de variação, também deve ser equipada com um instrumento termométrico adequado, com precisão de leitura de 5 °C posicionado na descarga do secador. A temperatura deve ser controlada eletronicamente (DNIT, 2024).

Todos os sistemas de dosagem da usina devem estar trabalhando de maneira sincronizada, de forma a garantir a dosagem correta dos agregados e CAP. O controle do nível dos silos e fluxo de mistura e descarga devem ser efetuados de maneira automática ou semiautomática, com uso de leituras, registros de peso, temperaturas, tempos e cargas indicados em tempo real, através de *displays* e uso de interface homem máquina (DNIT, 2024).

#### 2.3.10. Usina volumétrica

Os silos devem trabalhar com balanças dinâmicas em cada silo, das quais devem efetuar a correção imediata da dosagem dos materiais correspondentes a

partir da variação de qualquer um deles, inclusive do CAP (DNIT, 2024). Para a alimentação do material nas caçambas que irão transportar o asfalto, deve ser utilizado um elevador de arraste tipo *Reddler*, do qual irá descarregar o material no silo de armazenamento. Todo o transporte deve ser realizado em isolamento ao ambiente externo (DNIT, 2024).

A altura do silo de armazenamento deve ser suficiente para que o caminhão que irá transportar o material consiga se manter posicionado para o recebimento da carga. O silo deve contar com um controle de tempo de descarregamento, a fim de evitar a desagregação do material por tempo excessivo de abertura do silo. Deve contar com abertura automatizada e manual, caso seja necessário (DNIT, 2024).

É recomendável que a capacidade de armazenamento do silo seja de pelo menos 30% da capacidade mínima de produção da usina, também deve contar com um sistema de aquecimento que permita o armazenamento do material por pelo menos 24 horas (DNIT, 2024).

Assim como a gravimétrica, a usina volumétrica deve contar com uma cabine de comando composta por equipamentos de monitoramento e controle de toda a usina, garantindo a segurança e precisão do processo (DNIT, 2024).

#### 2.3.11. Usina Tambor-Secador-Misturador (TSM) – *Drum Mixer*

Esta usina tem como principal característica, em relação as usinas gravimétricas, a eliminação das peneiras, silo quente e misturador, já que o tambor do secador já cumpre a função de misturar os agregados (DNIT, 2006).

A usina TSM é do tipo contínua. Segundo o DNIT (2006, p. 213): “Na correia que alimenta o secador com os agregados dos silos frios, pode-se adaptar o chamado controle ponderal, que pesa eletronicamente a quantidade de agregado em um determinado comprimento da correia, dada uma determinada velocidade dela.” Este controle ponderal é realizado pela cabine de controle, onde o operador acompanha todas as leituras de pesagem dos agregados, rotação da bomba de asfalto e a comporta para carga e descarga da mistura (DNIT, 2006).

## **2.4. Veículos utilizados em obras de pavimentação**

A norma especifica uma série de itens, equipamentos e sistemas que os veículos e maquinários envolvidos no processo de construção do pavimento devem possuir, como forma de garantir bons resultados quanto a qualidade e acabamento do serviço. Os veículos como caminhões para o transporte do concreto asfáltico, rolos compactadores e vibroacabadoras receberam atenção especial.

### **2.4.1. Caminhões**

Os caminhões que irão transportar o material para as frentes de serviço devem ser dotados de caçambas metálicas, previamente lubrificadas com água e sabão, óleo cru fino, óleo parafínico ou cal hidratada, para evitar a aderência do concreto asfáltico na caçamba (DNIT, 2024). É recomendável que haja uma abertura de diâmetro de 6,3 mm, de forma a facilitar o aferimento de temperatura da massa e agilizar o processo (DNIT, 2024). Para o transporte, a caçamba deve ser coberta com lona, de maneira a impedir a entrada de ar, água ou poeira, assim como o derramamento acidental do material nas vias de circulação e reduzindo a perda de temperatura durante o transporte. É recomendável o uso de lonas e caçambas térmicas, para melhor controle de temperatura (DNIT, 2024).

### **2.4.2. Vibroacabadoras**

Com a atualização da norma, é exigido o uso de vibroacabadora sobre esteira, dotada de parafuso sem fim ao longo de toda a largura da mesa, para garantir melhor espalhamento do material e uniformidade no acabamento. Caso seja instalados prolongadores na mesa, o parafuso também deve contar com prolongadores, onde deve ficar posicionado em aproximadamente 20 centímetros antes da lateral da mesa, evitando segregação do material (DNIT, 2024).

### **2.4.3. Rolos Compactadores**

Devem ser adotados rolos compactadores adequados para cada etapa de tratamento da camada de concreto asfáltico, respeitando os componentes e parâmetros exigidos. Os rolos que devem ser utilizados são: Rolos propelidos

pneumáticos e metálicos lisos do tipo duplo tandem estáticos ou vibratórios, não sendo permitido o uso de rolos mistos em serviços de implantação e restauração (DNIT, 2024).

Para o rolo pneumático, o peso mínimo apresentado é de 3 toneladas por roda, contando com o lastro, dotados de dispositivo que permita a calibração uniforme da pressão dos pneus, que deve variar de 2,5 kgf/cm<sup>2</sup> a 8,4 kgf/cm<sup>2</sup>, assim como devem ter a mesma altura, para evitar marcas no acabamento do pavimento (DNIT, 2024). O uso de rolos mistos é proibido para obras de implantação e restauração. O peso mínimo para rolos pneumáticos deve ser de acordo com o indicado em norma, assim como o uso de sistema de aspersão e raspadores em bom estado de uso (DNIT, 2024).

Os equipamentos devem ser dotados de sistema de aspersão de produto antiaderente, para o rolo pneumático deve haver um bico espargidor por pneu, para os de rolo metálico deve haver um sistema para cada rolo, de forma a não ocorrer escorrimento do produto por excesso de aplicação. O Rolo pneumático deve contar com raspadores para limpeza dos pneus, mantidos em bom estado de conservação. (DNIT, 2024).

#### 2.4.4. Controle de insumos

Os parâmetros de uso dos materiais usados na composição do concreto asfáltico devem estar de acordo com a seção 5 da norma, em caso de reprovação o material não deve ser utilizado (DNIT, 2024).

##### 2.4.4.1. Cimento Asfáltico

Para o controle do CAP utilizado, os seguintes ensaios devem ser adotados para cada carregamento que chegar à obra (DNIT, 2024):

- ensaio de Penetração a 25 °C (DNIT 155-ME);
- ensaio de Ponto de Amolecimento (DNIT 131-ME);
- ensaio do Ponto de Fulgor (DNER-ME 148/94);
- verificação da formação de espuma a 175 °C;

- ensaio de viscosidade com viscosímetro *Saybolt-Furol* ou viscosímetro rotacional;
- determinação do Índice de Susceptibilidade térmica (DNIT 095-EM);
- demais ensaios determinados em projeto.

A cada 4 horas de produção do concreto asfáltico, devem ser realizados os ensaios para determinar o teor de CAP na mistura, preferencialmente na primeira hora do período, podendo ser realizados conforme o ensaio DNER-ME 053/94 - Misturas Betuminosas - porcentagem de betume ou DNIT 158/2011 – ME – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator *Soxhlet* (DNIT, 2024).

O equipamento utilizado para extração do CAP deve ser calibrado para cada concreto asfáltico utilizado, durante o procedimento de dosagem. Essa calibração deve ser feita com os teores de CAP utilizados na dosagem, realizando pelo menos duas extrações para cada teor. A função de calibração deve ser aferida com a produção da usina e utilizada para corrigir o teor de ligante determinado. (DNIT, 2024, p. 20)

#### 2.4.5. Determinação das deflexões pela viga *benkelman*

Para a determinação da deflexão do pavimento é utilizado o ensaio pela viga *benkelman*, descrito na norma DNER 024/94-ME. O ensaio permite avaliar a capacidade estrutural do pavimento, utilizando ferramentas descritas na própria norma, como a viga *benkelman* que mede a deflexão da via durante o ensaio, equipado com dispositivo que permita aferir a deflexão, como o extensômetro analógico, aparelho vibrador e suportes para a viga. Durante o ensaio é necessário utilizar um caminhão com 8,2 toneladas de força exercidas no eixo traseiro, o qual deve ser distribuído de maneira simétrica nas rodas (DNER, 1994).

Para a realização do ensaio, é necessário posicionar os pontos em locais pré-definidos cuja localização varia de acordo com a largura da faixa de tráfego conforme demonstrado em tabela 4. (DNER, 1994)

**Tabela 4** – Localização dos pontos

Largura da faixa de tráfego (m)	Distância da borda do revestimento (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

Fonte: DNER (1994)

Para a execução do ensaio, posiciona-se a ponta de prova da viga *Benkelman* entre os pneus da roda dupla do caminhão usado no teste, que deve coincidir com o ponto marcado. Para melhor precisão do teste, coloca-se um marcador no caminhão para adequar o posicionamento com relação a viga *Benkelman* (DNER, 1994). Para a determinação da leitura inicial ( $L_0$ ) é necessário manter ligado o vibrador até que o extensômetro aponte movimento igual ou inferior a 0,01 mm ou após 3 minutos de funcionamento do vibrador. A figura 18 demonstra a leitura da viga *benkelman* em um trecho de obras.

**Figura 18** - Ensaio de viga *Benkelman* realizado em trecho de obra viária

Fonte: SYSTRA (2025)

Após leitura inicial, é iniciado o processo de leitura final ( $L_f$ ), para isso o caminhão de testes deve se movimentar lentamente até 10 metros à frente do local inicial, após isso deve ser realizada a leitura do extensômetro quando registrar movimentação menor ou igual a 0,01 mm ou após 3 minutos da movimentação do veículo (DNER, 1994).

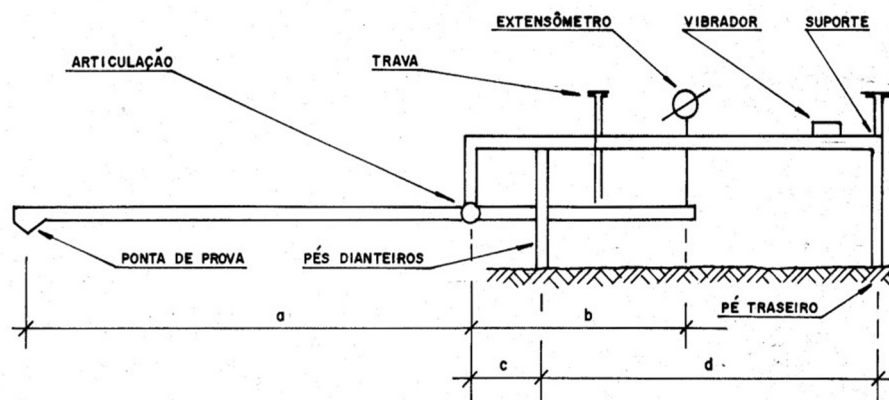
Para realizar o raio de curvatura da bacia de deformação, deslocando o caminhão 25 centímetros a frente do ponto de leitura e realizando uma leitura adicional (DNER, 1994).

Obtido as leituras, é possível calcular a deflexão real ou verdadeira ( $D_0$ ) conforme equação 1 a seguir:

$$D_0 = (L_0 - L_f) \frac{a}{b} \quad (1)$$

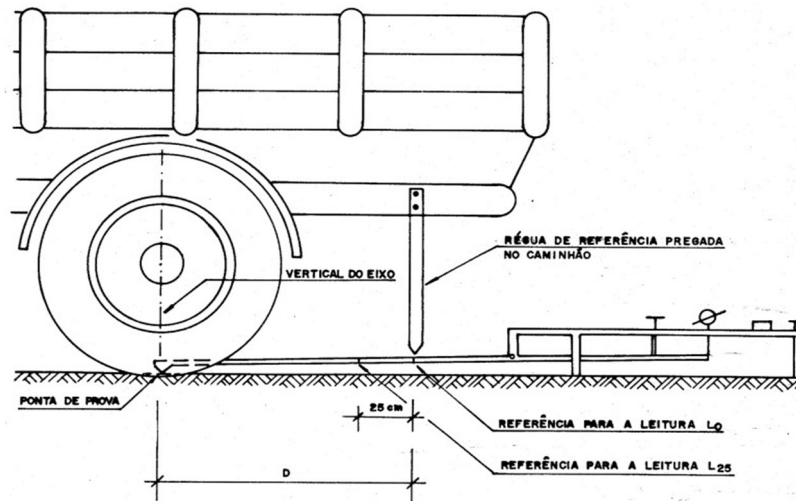
Onde  $L_0$  é a leitura inicial,  $L_f$  é a leitura final, “a” é a medida do braço da viga *Benkelman* que segue de sua ponta até a articulação e “b” é o seguimento da viga *Benkelman* a partir da articulação até o contato com o extensômetro analógico. A figura 19 demonstra a estrutura da viga *Benkelman* e a figura 20 apresenta o posicionamento correto do equipamento em relação ao veículo usado para a realização do ensaio.

**Figura 19 - Estrutura da viga *Benkelman***



Fonte: DNER (1994)

**Figura 20 - Modelo de posicionamento da viga *Benkelman***



Fonte: DNER (1994)

### 3. MÉTODOS

A presente pesquisa configura-se como aplicada, uma vez que busca oferecer subsídios práticos para a adequação de empresas do setor de pavimentação asfáltica frente às recentes atualizações normativas.

No que tange à abordagem, caracteriza-se como um estudo qualitativo, por concentrar-se na interpretação e análise das duas versões da Norma DNIT 031 - ES, bem como na verificação empírica da aplicação dos requisitos em uma empresa que realiza pavimentação asfáltica em Belém do Pará. Ainda que algumas informações tenham sido organizadas em quadros comparativos, a ênfase da investigação não reside em procedimentos estatísticos, mas na compreensão dos impactos decorrentes das alterações normativas.

Em relação aos objetivos, trata-se de uma pesquisa descritiva e comparativa, na medida em que descreve detalhadamente as modificações ocorridas entre a norma anterior e a atual, além de cotejar tais exigências com a realidade operacional observada na empresa objeto do estudo.

Quanto aos procedimentos técnicos, o desenvolvimento da pesquisa deu-se em duas etapas complementares:

1. Pesquisa bibliográfica e documental, por meio da análise das duas versões normativas, com a identificação sistemática das alterações em relação ao documento anterior;
2. Estudo de caso, conduzido a partir de observação *in loco* em uma empresa de pavimentação asfáltica de Belém, com a finalidade de verificar o grau de adequação às novas exigências estabelecidas.

Dessa forma, a metodologia adotada possibilitou articular a análise teórica das normas às práticas observadas no campo, permitindo uma avaliação consistente da aplicabilidade e dos desafios decorrentes das mudanças normativas.

#### 3.1. Caracterização da área de estudo

Belém, capital do estado do Pará, encontra-se localizada no litoral norte brasileiro, sua população atual, segundo o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas), possui população estimada de 1.303.403 habitantes, dispostos em uma área total de 1.059,466 km<sup>2</sup>, constando uma densidade demográfica de 1.230,25

hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2022), como mostrado na figura 21.

**Figura 21** - Dados populacionais do município de Belém-PA



Fonte: IBGE (2022)

Ainda segundo o IBGE, a frota de automóveis da cidade de Belém também cresce a cada ano, tendo como embasamento dados e informações do Ministério da Infraestrutura e SENATRAN (Secretaria Nacional de Trânsito), apresenta o seguinte gráfico em seu *site* conforme figura 22 a seguir:

**Figura 22** - Evolução da frota de automóveis na cidade de Belém-PA



Fonte: IBGE (2022)

A ampliação e duplicação da Rua da Marinha, localizada no bairro da Marambaia, cidade de Belém, segue em andamento até a data de publicação deste trabalho acadêmico. O projeto foi apresentado durante o Anuário do Pará 2023-2024, em fevereiro de 2024, sendo uma das sete obras apresentadas no evento (PINHEIRO, 2024). Atualmente, a Rua da Marinha é uma via pública asfaltada, com extensão linear aproximada de 2,80 km, no trecho que se inicia na rodovia Augusto Montenegro até a avenida Paragominas. A obra de ampliação e duplicação será realizada até a avenida Centenário, portanto, atravessará o atual canal São Joaquim até chegar ao final do trecho projetado.

O trecho de obras ocupa a área onde se encontra o parque ecológico Gunnar Vingren, localizado no bairro do Mangueirão, em Belém, e é executado pelo Consórcio Duplicação Marinha. A extensão total da obra será de aproximadamente 3,50 km. A obra contará com duas pontes que avançarão sobre o canal São Joaquim, chegando até a Avenida Centenário. A figura 23 demonstra o trecho de obras a ser executado.

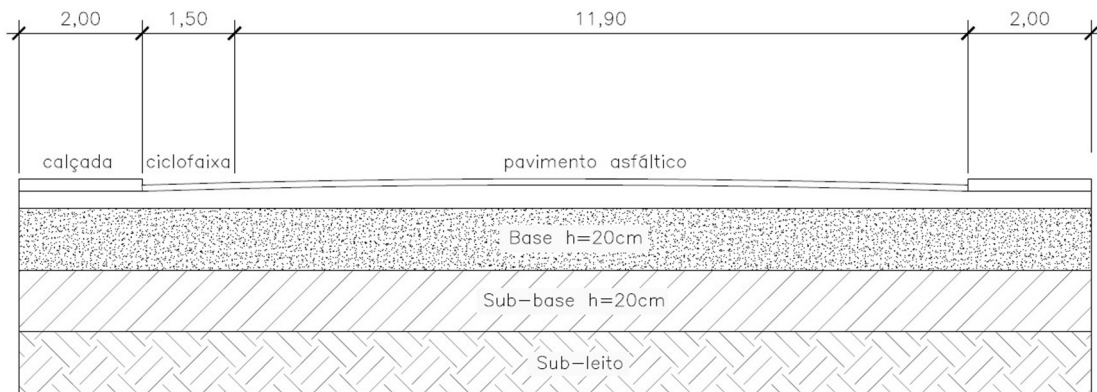
**Figura 23** - Projeção da ampliação da Rua da Marinha pelo *software Google Earth*



**Fonte:** Autores (2025)

A figura 24 representa a seção do trecho executado, objeto de estudos deste trabalho, de maneira simplificada. As informações coletadas quanto as camadas e suas alturas foram consultadas nos materiais técnicos apresentados pelo consórcio executor da obra.

**Figura 24** - Seção da via – Rua da Marinha baseado em projeto do consórcio



**Fonte:** Autores (2025)

A seção da rua da Marinha varia conforme o avanço do trecho, no entanto, a altura da camada de pavimento asfáltico é de 10 centímetros, a camada de base é de 20 centímetros e a sub-base 20 centímetros.

A usina a qual fornecerá a mistura asfáltica utilizada para confeccionar o pavimento da rua da marinha está localizada no bairro Maracacuera, no distrito industrial de Icoaraci, com coordenadas geográficas  $1^{\circ}17'23.09''$  S  $48^{\circ}27'12.21''$  fornecidas pelo *software Google Earth*, conforme demonstrado na figura 25.

**Figura 25** - Localização da usina de asfalto pelo *software Google Earth*.



**Fonte:** Autores (2025)

Trata-se de uma usina móvel do tipo contínua, produzida pela Ciber. A usina está instalada na área pertencente a empresa Terraplina LTDA, a qual está situada no endereço Estrada da Maracacuera, s/n - Setor B, Quadra 6, Lotes 1, 2, 3 e 11 -

Bairro: Maracacuera - Distrito Industrial de Icoaraci, Belém - PA. A visão geral das instalações da usina é demonstrada na figura 26.

**Figura 26** - Usina de asfalto



**Fonte:** Autores (2025)

A usina possui quatro silos frios próximos ao secador, responsáveis pelo armazenamento dos agregados utilizados na produção da mistura asfáltica. Cada silo é equipado com balança individual de pesagem dinâmica, cujos dados são monitorados e controlados eletronicamente a partir da cabine de controle, conforme mostrado na figura 27.

**Figura 27** - Silo frio da usina de asfalto



**Fonte:** Autores (2025)

O material a ser usado na produção está estocado em local coberto, próximo a usina de asfalto, conforme mostrado na figura 28.

**Figura 28** - Armazenamento de agregados



**Fonte:** Autores (2025)

A cabine de controle é equipada com sistema eletrônico que permite ao operador gerenciar tempos de operação, temperaturas, dosagem de agregados e abertura do misturador. O painel exibe um menu com os principais parâmetros do processo produtivo, sinalizando desvios em relação às especificações. A cabine existente é mostrada na figura 29.

**Figura 29** - Cabine de controle da usina



**Fonte:** Autores (2025)

A cabine contém um painel de controle onde se encontram as chaves e comandos necessários para a operação da usina, conforme mostrado na figura 30.

**Figura 30** - Painel de controle da cabine



Fonte: Autores (2025)

A usina conta com um secador que recebe o material vindo dos silos frios, o tempo e temperatura de secagem são monitorados, conforme mostrado na figura 31.

**Figura 31** - Lançamento dos agregados para a secagem



Fonte: Autores (2025)

Próximo ao secador, está localizado o silo de armazenamento do material de

enchimento. O silo é fechado do ambiente externo, conforme consta na figura 32.

**Figura 32** - Silo de armazenamento do material de enchimento



**Fonte:** Autores (2025)

A usina possui chaminés com filtros de manga, destinados à retenção de finos, gases e cinzas, minimizando emissões atmosféricas. Nas proximidades, localizam-se os tanques de CAP e óleo BPF, utilizados na produção da mistura asfáltica. Os tanques de CAP são equipados com sistema de aquecimento, garantindo a viscosidade ideal do material e prevenindo danos aos equipamentos. A seguir é apresentado do tanque de CAP 50/70 presente na usina, conforme figura 33.

**Figura 33** - Tanque para armazenamento do CAP 50/70



**Fonte:** Autores (2025)

Além do tanque principal (Tanque Master), a usina dispõe de dois tanques adicionais para armazenamento de CAP 50/70, ampliando a capacidade produtiva. Todos os tanques possuem sistema de aquecimento alimentado por um aquecedor a óleo BPF (Baixo Ponto de Fluidez), que circula por tubulações metálicas ao redor dos reservatórios, assegurando a temperatura adequada para manter a fluidez do material. Os tanques de armazenamento do CAP 50/70 são mostrados na figura 34.

**Figura 34** - Tanque reservatório de CAP 50/70



**Fonte:** Autores (2025)

Para o armazenamento do óleo BPF, é usado o tanque mostrado na figura 35 a seguir.

**Figura 35** - Reservatório de óleo BPF



**Fonte:** Autores (2025)

O óleo é mantido aquecido através de um sistema de aquecimento presente nas instalações da usina, conforme mostra a figura 36.

**Figura 36** - Aquecedor de óleo



Fonte: Autores (2025)

O material misturado e aquecido é transportado para o misturador da usina, do qual recebe o agregado na temperatura estipulada pelo controle da usina e é onde ocorre a injeção do CAP aquecido, resultando na mistura asfáltica. O sistema é apresentado na figura 37 a seguir.

**Figura 37** - Despejamento do material da misturadora no caminhão



Fonte: Autores (2025)

A altura do misturador permite o posicionamento adequado dos caminhões para o recebimento da mistura asfáltica aquecida. Após o carregamento, o veículo se desloca para a área de inspeção, onde é realizada a aferição da temperatura do material. Em seguida, a carga é coberta com lona rodoviária, garantindo proteção contra umidade e prevenindo derramamentos durante o transporte. O sistema de bombeamento e monitoramento dos tanques é mostrado na figura 38 a seguir.

**Figura 38** - Sistema de bombeamento e monitoramento de pressão e temperatura



Fonte: Autores (2025)

A usina conta com sistemas de bombeamento e monitoramento de temperatura em seus dispositivos, para que haja o controle correto de todo o processo produtivo.

No trecho de obras da Rua da Marinha foi realizado o acompanhamento do lançamento da mistura asfáltica, para produção da capa asfáltica de um trecho, que foi acompanhado no dia 01 de agosto de 2025.

### **3.2. Avaliação da atualização das normas DNIT 031/2024-ES**

Para a realização da avaliação técnica da norma DNIT e de sua atualização em relação à versão anterior, foi conduzida uma revisão sistemática dos documentos normativos abordados neste trabalho. Foram identificados e analisados, item a item, os principais pontos de alteração, com ênfase nos materiais empregados, nos ensaios

de rotina e de caracterização dos agregados, bem como nos demais componentes da mistura asfáltica e nos processos executivos correlatos. As análises foram fundamentadas nas normas DNIT 031/2024-ES e DNIT 031/2006-ES, complementadas por materiais de apoio e manuais técnicos do próprio DNIT, além de publicações acadêmicas relacionadas ao estudo de pavimentação asfáltica e palestras ministradas por profissionais especializados na área. Os resultados obtidos são apresentados por meio da comparação dos principais itens normativos, destacando-se os valores atualizados dos índices técnicos especificados nos documentos analisados.

Para a avaliação da aplicação prática da norma técnica atualizada no trecho da Rua da Marinha, procedeu-se à análise da usina responsável pela produção da mistura asfáltica, bem como à verificação dos resultados dos ensaios laboratoriais realizados com amostras dessa mistura. Tais ensaios foram conduzidos no laboratório da empresa Terraplena, em 01 de agosto de 2025. Adicionalmente, a análise do trecho executado incluiu a observação in loco dos equipamentos empregados e dos processos construtivos adotados durante a visita técnica. Foram também considerados os resultados dos ensaios de deflexão com viga *Benkelman*, realizados em 26 de junho de 2025 pelo consórcio responsável pela execução da obra, cujos dados foram devidamente avaliados neste estudo.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Atualização da Norma Técnica DNIT 031/2024-ES

A norma técnica DNIT 031/2024-ES apresentou uma grande mudança na sua estrutura em comparação a norma de 2006, acrescentando diversos itens, aumentando a estrutura do documento, especificando materiais a serem usados, direcionando a forma como o projeto da mistura asfáltica deve ser realizada, pontuando os equipamentos a serem usados durante a execução do pavimento, orientando processos executivos da obra e inserindo diversos ensaios de controle de qualidade. Em resumo, a nova norma passa a ser mais exigente com o cumprimento das diretrizes e menos orientativa, com controle de qualidade mais rigoroso e maior exigência em investimento de equipamentos e processos.

Quanto a estrutura da norma, nota-se um aumento da quantidade de páginas, que antes eram 14 e agora passam a ser 31 páginas, incluindo mais seis anexos para dar apoio ao profissional ou estudante que for consultar.

#### 4.1.1. Agregados

Para os agregados graúdos, uma série de mudanças na avaliação do ensaio “Los Angeles” e de granulometria foram apresentadas no item 5.1.2 da norma. Para o percentual de partículas fraturadas, o valor mínimo passou a ser de 90%. O percentual de partículas chatas e alongadas não deve ser superior a 25% em relação a massa total amostrada. O limite de absorção de água do agregado não deve ser superior a 2%, com orientações específicas para caso o valor seja entre 2% e 3%, apresentadas no anexo C da norma DNIT 031/2024-ES. Para o ensaio de durabilidade, a norma inclui o uso de Sulfato de Magnésio, além do Sulfato de sódio já apresentado na norma 2006.

Os agregados miúdos receberam como novas orientações de acordo com o item 5.1.2.2 com relação a mudança do teor de vazios, introduzindo o requisito de teor de vazios não compactado, sendo exigido teor igual ou maior a 45% para tráfegos pesados e menor ou igual a 40% para os demais. O uso de areia natural também foi delimitado para o valor máximo de 8% em relação a massa utilizada.

O material de enchimento também sofreu mudança conforme item 5.1.2.3 da

norma, apenas a cal hidratada pode ser usada como material de enchimento, enquanto a anterior permitia o uso de cimento Portland, cinza volante e pós calcários.

A avaliação de adesividade do CAP no agregado passou a ser realizado através do ensaio de umidade induzida, com limite mínimo de 0,70. Antes, a norma citava apenas uma avaliação visual do cobrimento de cap no material.

Para efetuar o controle de qualidade adequado para os agregados usados na produção do concreto asfáltico, devem ser realizados os seguintes ensaios de acordo com o intervalo de tempo corrido na produção (DNIT, 2024):

- ensaio de granulometria do material de enchimento a cada dia de produção (DNIT 418 – EM);
- ensaio de granulometria da mistura de agregados a cada 4 horas de produção (DNIT 412 – ME), com amostras coletadas do tambor secador para verificar a necessidade de ajustes na composição granulométrica;
- determinação de umidade da mistura de agregados a cada dia de produção (DNER – ME);
- ensaio de equivalente de areia do agregado miúdo a cada semana de produção (DNIT 450 – ME);
- demais ensaios determinados em projeto.

#### 4.1.2. Projeto de Mistura

Para a realização da mistura asfáltica, foram introduzidos novos parâmetros pela norma. Dentre eles está a atualização da faixa granulométrica. A norma DNIT 031/2024-ES apresenta uma nova tabela com as faixas granulométricas atualizadas. As novas faixas apresentadas foram a A-25, B-19, C-12,5 e D-9,5. A letra indica a faixa granulométrica a ser utilizada e o número indica o TNM (tamanho nominal máximo) do material. A nova norma também sugere o uso do método Bailey para otimizar o intertravamento dos grãos. As figuras 39 e 40 são, respectivamente, as tabelas de faixas granulométricas segundo a nova norma e segundo a norma anterior.

**Figura 39** - Tabela de faixas granulométricas atualizada

Peneira de malha quadrada		% passante, em massa			
		Faixas			
ASTM	Abertura (mm)	A-25	B-19	C-12,5	D-9,5
1 ½"	38,1	100	-	-	-
1"	25,4	90 - 100	100	-	-
¾"	19,1	75 - 89	90 - 100	100	-
½"	12,7	58 - 78	70 - 89	90 - 100	100
⅜"	9,5	48 - 71	55 - 82	73 - 89	90 - 100
¼"	6,3	35 - 61	42 - 70	53 - 78	65 - 89
Nº 4	4,8	29 - 55	35 - 63	44 - 72	53 - 83
Nº 8	2,36	19 - 45	23 - 49	28 - 58	32 - 67
Nº 16	1,18	13 - 36	16 - 37	17 - 45	20 - 52
Nº 30	0,60	9 - 28	10 - 28	11 - 35	13 - 40
Nº 50	0,30	5 - 21	6 - 20	6 - 25	8 - 29
Nº 100	0,150	2 - 14	4 - 13	3 - 17	4 - 19
Nº 200	0,075	1 - 7	2 - 8	2 - 10	2 - 10

Fonte: DNIT (2024)

**Figura 40** - Tabela de faixas granulométricas anterior

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série	Abertura	A	B	C	Tolerâncias
ASTM	(mm)				
2"	50,8	100	-	-	-
1 ½"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
¾"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
½"	12,7	-	-	80 - 100	± 7%
⅜"	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 CS2(+) (%)		4,0 - 7,0 Camada de ligação (Binder)	4,5 - 7,5 Camada de ligação e rolamento	4,5 - 9,0 Camada de rolamento	± 0,3%

Fonte: DNIT (2006)

Para os parâmetros de desempenho, a norma DNIT 031/2024-ES segue mantendo o ensaio de estabilidade Marshall como um dos parâmetros de avaliação e

introduz novos ensaios e requisitos, sendo estes, segundo a nova norma e conforme a figura 41:

**Figura 41** - Requisitos para projeto de concreto asfáltico atualizado

Parâmetros	Norma	Valor
Volume de vazios (%)	DNIT 449 – PRO	3 a 5
Relação betume vazios (%)	DNIT 449 – PRO	65 a 75
Vazios do agregado mineral (%)	DNIT 449 – PRO	Tabela 5
Proporção filler/asfalto (F/A)	DNIT 449 – PRO	0,6 a 1,6
Resistência à tração (MPa)	DNIT 136 – ME	≥ 0,65
Dano por umidade induzida (razão)	DNIT 180 – ME	≥ 0,70
Estabilidade Marshall (kgf) (75 golpes)	DNIT 447 – ME	≥ 500
CDI	DNIT 426 – IE	Conforme definido em projeto
TDI		
Módulo de resiliência	DNIT 135 – ME	
Parâmetros de fadiga	DNIT 183 – ME	
Flow Number (FN)	DNIT 184 – ME	

Fonte: DNIT (2024)

Por outro lado, a figura 42 mostra os requisitos da antiga norma:

**Figura 42** - Requisitos para projeto de concreto asfáltico anterior

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

Fonte: DNIT (2006)

Conforme observado, a porcentagem de volume de vazios passou para 3% a 5% para camada de rolamento e camada de ligação. A relação Betume-vazios passou para 65 a 72 em todas as camadas, ocorrendo uma redução na camada de rolamento.

Diversos outros ensaios foram introduzidos como parâmetro para a definição do projeto de concreto asfáltico, como a proporção *filler*/asfalto, CDI e TDI, dano por umidade induzida, módulo de resiliência, *flow number* (FN) e fadiga.

A norma passa a correlacionar o vazio do agregado mineral (VAM) com o volume de vazios (Vv) da mistura compactada, conforme observado na figura 43:

**Figura 43** - Requisitos para Vazios do agregado mineral

TNM		VAM mínimo		
ASTM	mm	Volume de vazios (%) <sup>1</sup>		
		3,0	4,0	5,0
1"	25,0	11	12	13
3/4"	19,0	12	13	14
1/2"	12,5	13	14	15
3/8"	9,5	14	15	16

<sup>1</sup>Para percentuais de vazios não inteiros, entre 3,0 % e 5,0 %, os valores de VAM devem ser interpolados.

Fonte: DNIT (2024)

#### 4.1.3. Equipamentos

Com a atualização da norma, as exigências sobre os equipamentos usados na execução da obra mudaram, dentre eles serão citados os rolos compactadores e vibroacabadoras. Quanto as vibroacabadoras, a norma apresenta no item 5.2.6 as características e dispositivos que o equipamento deve possuir, exigindo que o equipamento seja vibroacabadora sobre esteira, vetando o uso de vibroacabadoras com pneus. disponha de parafuso sem fim ao longo de toda a largura da mesa do equipamento, incluindo os prolongamentos, também deve possuir controle de nivelamento eletrônico, sistema de pré-compactação e tamper para dar acabamento no material.

Os equipamentos de compactação são citados no item 5.3.7 da norma, onde é vetado o uso de rolos compactadores de solo adaptados e nem o uso de rolos mistos. Os rolos compactadores a serem utilizados devem ser os rolos autopropelidos pneumáticos e metálicos lisos do tipo duplo tandem estático ou vibratório. Os rolos compactadores devem ser equipados com sistema de aspersão de produto para evitar aderência de material nos rolos, além de raspadores em bom estado de uso. Os rolos pneumáticos devem possuir, no mínimo, 3 toneladas de peso por roda, contando com

o lastro, dotado de sistema que permita a calibragem uniforme da pressão dos pneus, o qual deve compreender entre 2,5 e 8,4 kgf/cm<sup>2</sup> de pressão.

#### 4.1.4. Segmentos experimentais

Para a liberação do trecho de execução, o item 5.4.1 da norma determina faixas de 200 metros lineares como segmentos experimentais, onde os equipamentos, materiais e mistura asfáltica devem ser avaliados antes da liberação do serviço, em caso de aprovação por parte da fiscalização, o processo deve seguir conforme o apresentado no trecho experimental. O mesmo trecho experimental passa a se tornar um trecho permanente da via após aprovação por parte da fiscalização (DNIT, 2024). Deve-se avaliar se a mistura asfáltica apresenta as características de projeto, se a mesma está em temperatura ideal de trabalho conforme definido em projeto, se os equipamentos são os adequados e estão íntegros para a execução do serviço e se as condições de segurança estão sendo obedecidas.

#### 4.1.5. Temperaturas

A temperatura da mistura asfáltica é citada no item 5.4.4 e deve ser aferida antes da aplicação em campo, onde a aplicação deve ser realizada na faixa determinada em projeto através dos ensaios de temperatura e viscosidade. A temperatura de mistura e compactação, antes baseada apenas no ensaio de *Saybolt-Furol*, agora também inclui parâmetros para o ensaio de viscosímetro rotacional, onde a temperatura de mistura deve ser situada entre 0,15 a 0,19 Pa.s, já para a temperatura de compactação é aquela cuja viscosidade se situa entre 0,25 a 031 Pa.s. A temperatura do CAP não pode ser inferior a 107 °C e superior a 177 °C. Antes de aplicar o concreto asfáltico, deve ser avaliado a temperatura da superfície, sendo superior a 10° C, já para camadas de asfalto inferiores a 3cm, deve ser adotado a temperatura mínima de 15° C (DNIT, 2024).

A liberação do trecho para o tráfego de veículos é pontuada no item 5.4.11 da norma e deve ocorrer após aferição com termômetro a laser, quando a temperatura medida estiver abaixo do ponto de amolecimento do CAP. Em comparação a norma anterior, que exigia a liberação de tráfego após o esfriamento total do pavimento.

#### 4.1.6. Condicionantes ambientais

Em relação a norma DNIT 031/2006-ES, a norma atualizada DNIT 031/2024-ES apresenta diretrizes mais rigorosas com relação aos cuidados com licenças ambientais, exploração de jazidas, construção de bacias e controles operacionais da usina de asfalto.

Para execução do concreto asfáltico são necessários trabalhos envolvendo a utilização de CAP e agregados, além da instalação de usina misturadora. Os cuidados observados para fins de preservação do meio ambiente abrangem a produção, a estocagem e a aplicação de agregados, a estocagem e a aplicação de CAP, assim como a operação da usina. Os procedimentos de controle ambiental referem-se à proteção de corpos d'água, da vegetação limdeira e da segurança viária. (DNIT, 2024, p. 16)

A exploração e a obtenção de agregados provenientes de pedreiras e areais devem obedecer a uma série de requisitos legais e técnicos, bem como atender às diretrizes estabelecidas na norma DNIT 105/2009-ES – Terraplenagem – Caminhos de Serviço – Especificações de Serviço. O planejamento das atividades de extração deve ser conduzido de forma criteriosa, visando à minimização dos impactos ambientais e à viabilidade da recuperação das áreas exploradas (DNIT, 2024). Para realizar a exploração e/ou britagem do material, é obrigatório que se tenha licença ambiental aprovada para a atividade (DNIT, 2024), sendo necessário construir bacias de sedimentação para reter o pó produzido pelo processo, de forma a evitar o assoreamento de corpos hídricos da região (DNIT, 2024).

Para os reservatórios de CAP existentes nas usinas de asfalto, fica vedado a instalação destes tanques próximos a cursos d'água. Segundo o DNIT (2024, p. 17): “É vedado o descarte de refugos dos materiais usados na faixa de domínio e em áreas onde possam causar prejuízos ambientais.”

A operação das usinas de asfalto também possui uma série de diretrizes a serem seguidas, com o intuito de reduzir o impacto ambiental causado pela operação, como o lançamento de partículas ao ar, espalhamento dos insumos pelo ambiente e emissão de gases poluentes. Segundo o DNIT (2024, p.17) as operações das usinas de asfalto englobam:

- a) transporte, estocagem, peneiramento e dosagem de agregados (frios e quentes) e material de enchimento;
- b) transporte, estocagem e aquecimento de óleo combustível e de CAP.

Os itens de fontes poluidoras constam na figura 44 a seguir:

**Figura 44** – Fontes poluidoras

<b>Agente poluidor</b>	<b>Fontes poluidoras</b>
I. Emissão de partículas	A principal fonte é o secador rotativo. Outras fontes são: peneiramento, transferência e manuseio de agregados, balança, pilhas de estocagem, tráfego de veículos e vias de acesso.
II. Emissão de gases	Combustão do óleo: óxido de enxofre, óxido de nitrogênio, monóxido de carbono e hidrocarbonetos. Misturador de CAP: hidrocarbonetos. Aquecimento de CAP: hidrocarbonetos. Tanques de estocagem de óleo combustível e de CAP: hidrocarbonetos.
III. Emissões fugitivas	As principais fontes são pilhas de estocagem ao ar livre, carregamento dos silos frios, vias de tráfego, áreas de peneiramento, pesagem e mistura.

**Fonte:** DNIT (2024)

As instalações das usinas de asfalto devem ser executadas em áreas previamente autorizadas pelos órgãos ambientais competentes (DNIT, 2024).

As bases das chaminés das usinas não podem ser posicionadas a uma distância inferior a 200 m de residências, hospitais, clínicas, centros de reabilitação, escolas, asilos, orfanatos, creches, clubes esportivos, parques de diversões e outras construções comunitárias (DNIT, 2024, p. 16)

O projeto executivo das instalações deve ser elaborado de forma a reduzir os impactos gerados no meio ambiente. A empresa executante é responsável pela obtenção das licenças de instalação e operação da usina junto aos órgãos ambientais competentes e deve garantir a manutenção de forma a respeitar as exigências da norma técnica (DNIT, 2024).

Durante a operação das usinas, medidas devem ser tomadas para garantir o controle e mitigação dos possíveis danos ambientais. Para os sistemas de controle de

poluição do ar, devem ser utilizados ciclones e filtros de manga, de forma a reduzir a emissão de partículas e gases, com chaminés que permitam a instalação de sistemas de medição das emissões de poluentes (DNIT, 2024).

Os silos frios devem ser dotados de proteção lateral e cobertura, que sejam capazes de evitar a fuga de partículas fugitivas durante o processo de abastecimento com agregados. Em conjunto, a correia transportadora de material até o secador deve ser enclausurada (DNIT, 2024).

Para o secador, é necessário garantir que o interior do equipamento mantenha pressão do ar negativa em seu interior, para evitar dispersão visível de partículas no ar durante o abastecimento e saída do material (DNIT, 2024).

Os silos quentes, peneiras e misturadores devem possuir sistemas de controle de poluição do ar que evitem a emissão de vapores na atmosfera. Já os silos de estocagem de concreto asfáltico devem ser fechados, sem contato direto com o ambiente externo e os silos de estocagem do material de enchimento deve conter sistema próprio de filtragem a seco (DNIT, 2024).

As vias internas de transporte da usina de asfalto devem ser mantidas em condições adequadas, de modo a minimizar as emissões de particulados geradas pelo tráfego de veículos, garantindo que a opacidade não ultrapasse o limite de 20%. Para esse fim, podem ser adotadas medidas como pavimentação asfáltica, aplicação de material britado ou fresado, calçamento, umedecimento periódico, entre outras técnicas eficazes de controle de poeira (DNIT, 2024).

A norma DNIT 031/2024-ES recomenda a substituição de óleo combustível por outras fontes de energia de menor potencial poluidor, como a elétrica ou a gás, assim como o plantio de árvores, formando barreiras vegetais próximas ao local, quando for possível. Ao final da operação, caso haja desmobilização da usina de asfalto do local de instalação, deve-se realizar a limpeza do local e a recuperação imediata (DNIT, 2024).

#### 4.1.7. Controle de qualidade do pavimento asfáltico

O grau de compactação do pavimento asfáltico é citado no item 7.3.1 da norma atualizada e deve ser aferido conforme a norma DNIT 431-ME, com valor do grau de compactação (GC) variando entre 97% a 100% (DNIT, 2024). A mudança ocorre em relação ao valor indicado antes da atualização, que varia entre 97% a 101% (DNIT,

2006). O método a ser utilizado é o da norma DNIT 431/2020-ME - Densidade in situ usando densímetro não nuclear, um ensaio não-destrutivo que utiliza de equipamento eletrônico. No local a ser ensaiado, deve-se delimitar uma região de área de 3 metros de comprimento por 1 metro de largura, dentro dessa área é necessário dividir 5 regiões de tamanhos iguais e delimitar um círculo de 40 centímetros de diâmetro, sendo um em cada região, totalizando cinco delimitações. Após delimitar as áreas é realizada a leitura com o equipamento, sendo que este deve ser calibrado previamente para realizar a aferição (DNIT, 2020). A figura 45 demonstra a leitura utilizando-se as recomendações da norma:

**Figura 45** - Leitura do local com densímetro não-nuclear



Fonte: DNIT (2020)

Após realização da leitura, se extrai corpos de prova no centro dos círculos demarcados, totalizando cinco corpos de prova, onde serão submetidos aos ensaios de acordo com a norma DNIT 428 /2022-ME.

#### 4.1.8. Acabamento de superfície

O novo parâmetro a ser aplicado, segundo item 7.3.5 da norma DNIT 031/2024-ES passa a utilizar o IRI (*International Roughness Index*) como limite, onde para o pavimento novo o IRI deve ser de 2,00 m/km (QI igual ou inferior a 26 contagens/km)

enquanto para as restaurações o índice é de 2,40 m/km (QI igual ou inferior a 31 contagens/km). A determinação do IRI deve ser realizada em trechos de 200 metros lineares e/ou em segmentos determinados pela fiscalização (DNIT, 2024).

A verificação do índice é realizada por verificação com perfilômetro inercial, através do ensaio DNIT 442/2023-PRO, com uso de perfilômetro inercial instalado em um veículo automotor.

A microtextura da superfície do pavimento asfáltico é apresentada no item 7.3.6 da norma, onde o valor de resistência a derrapagem (VDR) deve ser igual ou maior a 47, com acréscimo em comparação a norma DNIT 031/2006-ES que determinava o valor do VDR em 45. O valor é determinado por ensaio de pêndulo britânico conforme NBR 16780. A figura 46 mostra a classificação das microtexturas conforme resultado do ensaio:

**Figura 46** - Tabela D1 DNIT 031/2024-ES - Classes de microtextura do pêndulo britânico

Classes de microtextura	Valor de Resistência à Derrapagem – VDR
1 – Perigosa	< 25
2 – Muito lisa	$25 \leq \text{VDR} < 32$
3 – Lisa	$32 \leq \text{VDR} < 40$
4 – Insuficientemente rugosa	$40 \leq \text{VDR} < 47$
5 – Medianamente rugosa	$47 \leq \text{VDR} < 55$
6 – Rugosa	$55 \leq \text{VDR} < 75$
7 – Muito rugosa	$\text{VDR} \geq 75$

Fonte: DNIT (2024)

A macrotextura mudou o critério de determinação na medida indicada pelo ensaio de mancha de areia (HS), o qual deve ser realizado de acordo com a NBR 16504. A norma DNIT 031/2006-ES determinava valores de entre 0,60 a 1,2 mm para qualquer tipo de rodovia. A atualização da norma apresenta as tabelas D1 e D2 em seus anexos, as quais demonstram que a macrotextura deve ser definida de acordo com a velocidade de projeto da via, conforme pode ser observado na figura 47:

**Figura 47** - Tabela D2 - Classes de macrotextura pelo método da mancha de areia

Classes de macrotextura	Altura da Mancha de Areia – HS (mm)	Velocidade diretriz (km/h)
1 – Muito fina	$\text{HS} < 0,20$	Não deve ser utilizado
2 – Fina	$0,20 \leq \text{HS} < 0,40$	Velocidade < 60
3 – Medianamente fina	$0,40 \leq \text{HS} < 0,60$	$60 \leq \text{Velocidade} < 80$
4 – Média	$0,60 \leq \text{HS} < 0,80$	$80 \leq \text{Velocidade} < 100$
5 – Medianamente grossa	$0,80 \leq \text{HS} < 1,00$	$100 \leq \text{Velocidade} < 120$
6 – Grossa	$1,00 \leq \text{HS} < 1,20$	Velocidade $\geq 120$
7 – Muito grossa	$\text{HS} \geq 1,20$	Aplicação em casos especiais

Fonte: DNIT (2024)

A norma atualizada também recomenda o índice internacional de atrito IFI (*International Friction Index*) como parâmetro de avaliação da resistência à derrapagem, o qual deve ser realizado conforme norma ASTM E 1960-07 e a figura 48 abaixo:

**Figura 48** - Tabela D3 - Classes de atrito pelo IFI

Classes de atrito	International Friction Index – IFI
1 – Péssimo	IFI < 0,06
2 – Muito ruim	$0,06 \leq \text{IFI} < 0,08$
3 – Ruim	$0,09 \leq \text{IFI} < 0,12$
4 – Regular	$0,12 \leq \text{IFI} < 0,15$
5 – Bom	$0,15 \leq \text{IFI} < 0,22$
6 – Muito bom	$0,22 \leq \text{IFI} < 0,35$
7 – Ótimo	IFI $\geq 0,35$

Fonte: DNIT (2024)

#### 4.1.9. Tabela resumo das principais atualizações da norma

Com o objetivo de sintetizar as atualizações introduzidas pela norma DNIT 031/2024-ES, apresenta-se, a seguir, uma tabela-resumo destacando os principais itens que sofreram modificações ou acréscimos em comparação à versão anterior, de 2006. A referida tabela estabelece uma correlação entre os índices atualizados ou inseridos nas edições de 2024 e 2006.

**Tabela 5** – Tabela-resumo das atualizações da norma.

(continua)

Item	Norma	
	031/2024-ES	031/2006-ES
Percentual de partículas fraturadas	Mínimo 90%	-
Percentual de partículas chatas ou alongadas	Máximo de 25%	-
Absorção de água do agregado	2-3%	-
Ensaio de durabilidade	Uso de sulfato de magnésio e sulfato de sódio	Uso de sulfato de sódio
Teor de vazios não compactados	Maior ou igual a 45% para tráfegos pesado e maior ou igual 40% para os demais tráfegos	-
Percentual de partículas chatas ou alongadas	Máximo de 25%	-

**Tabela 5 – Tabela-resumo das atualizações da norma.**

(conclusão)

Item	Norma	
	031/2024-ES	031/2006-ES
Uso de areia natural	Até 8%	-
Material de enchimento	Cal hidratada	Cimento portland, cinza volante, cal hidratada, etc.
Faixa granulométrica	Faixas: A-25, B-19, C-12,5, D-9	Faixas: A, B e C
Volume de vazios	3 a 5% em todas as camadas	Camada de rolamento: 3 a 5% Camada de ligação: 4 a 6%
Relação betume vazios	65 a 75% em todas as camadas	Camada de rolamento: 75-82% Camada de ligação: 65-72%
Vazios do agregado mineral	Apresentado na tabela 5 da norma	-
Proporção fíler asfalto	0,6 a 1,6	-
Resistência à tração	Igual ou maior a 0,65	Igual ou maior a 0,65
Dano por umidade induzida	Igual ou maior a 0,70	-
Estabilidade Marshall	Igual ou maior a 500 kgf	Igual ou maior a 500 kgf
CDI	Conforme projeto	-
TDI	Conforme projeto	-
Módulo de resiliência	Conforme projeto	-
Parâmetro de fadiga	Conforme projeto	-
Flow Number (FN)	Conforme projeto	-
Ensaio de viscosidade	Viscosímetro Saybolt-Furol e rotacional	Viscosímetro Saybolt-Furol
Superfície de aplicação	Mínimo de 10° C. Camada de asfalto inferior a 3 cm = 15° C	-
Liberação de tráfego	Temperatura abaixo da temperatura de amolecimento	Esfriamento até a temperatura ambiente
Grau de compactação	97-101%	97-100%
Grau de compactação	97-101%	97-100%
VDR	47	45
Altura da mancha de areia (NBR 16504)	Determinado pela tabela D2 da norma	Entre 0,60 a 1,20 mm

Fonte: Autores (2025)

#### 4.1.10. Tabelas de controle

A norma DNIT 031/2024 – ES apresenta em seu anexo E uma tabela de controle com todos os ensaios necessários para os métodos, controles e critérios de dimensionamento e avaliação dos processos e etapas construtivas.

A camada de base é composta por seixo in natura, classificada na faixa D segundo DNIT 141/2022 – ES, a sub-base também segue na faixa D, composto por seixo in natura e o sub-leito é composto por material arenoso vermelho e é classificado na faixa F de granulometria. A camada asfáltica utilizada é classificada como faixa C-12,5, segundo a especificação da norma DNIT 031/2024-ES. A granulometria da amostra analisada será demonstrada na tabela 5 a seguir, os dados obtidos foram fornecidos pelo laboratório da empresa Terraplena:

**Tabela 6** - Granulometria utilizada na mistura betuminosa fornecida pelo laboratório da empresa

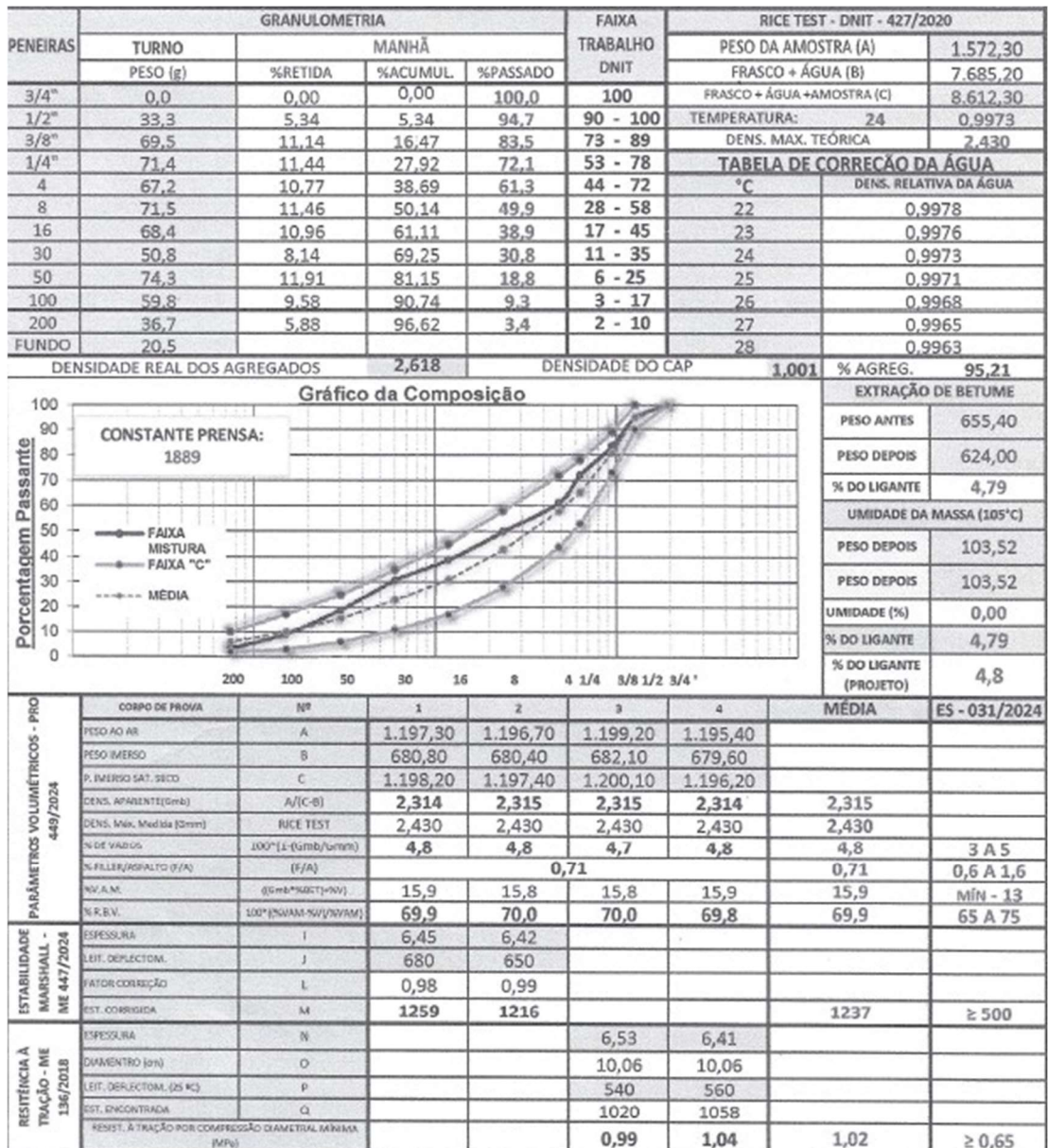
Peneira	GRANULOMETRIA			Faixa DNIT
	% retida	% acumulada	% passante	
19,0 mm	0,0	0,0	100	100
12,5 mm	5,34	5,34	94,7	90-100
9,5 mm	11,14	16,47	83,5	73-89
6,3 mm	11,44	27,92	72,1	53-78
Nº 4	10,77	38,69	61,3	44-72
Nº 8	11,46	50,14	49,9	28-58
Nº 16	10,96	61,11	38,9	17-45
Nº 30	8,14	69,25	30,8	11-35
Nº 50	11,91	81,15	18,8	6-25
Nº 100	9,58	90,74	9,3	3-17
Nº 200	5,88	96,62	3,4	2-10

**Fonte:** Autores (2025)

Para a determinação da densidade máxima teórica, foi realizado o ensaio *Rice Test* no laboratório da empresa Terraplena, com procedimentos e resultados fornecidos pelos mesmos, conforme norma DNIT 427/2020, resultando numa densidade máxima teórica de 2,430. Para o ensaio de extração de betume, foi

realizado duas leituras do peso do material, com dados e ensaios coletados pela empresa Terraplena, em laboratório existente nas instalações da empresa, sendo registrado 655,40 g antes da extração e 624,00 g após a extração, com isso foi determinado o teor de ligante no material, que ficou em 4,79%. Para elencar os resultados do teste, segue a figura 49 apresentando os resultados dos ensaios e análises laboratoriais fornecidos pela empresa Terraplena:

**Figura 49** - Resultados dos ensaios da mistura betuminosa fornecida pelo laboratório da empresa



Fonte: Autores (2025)

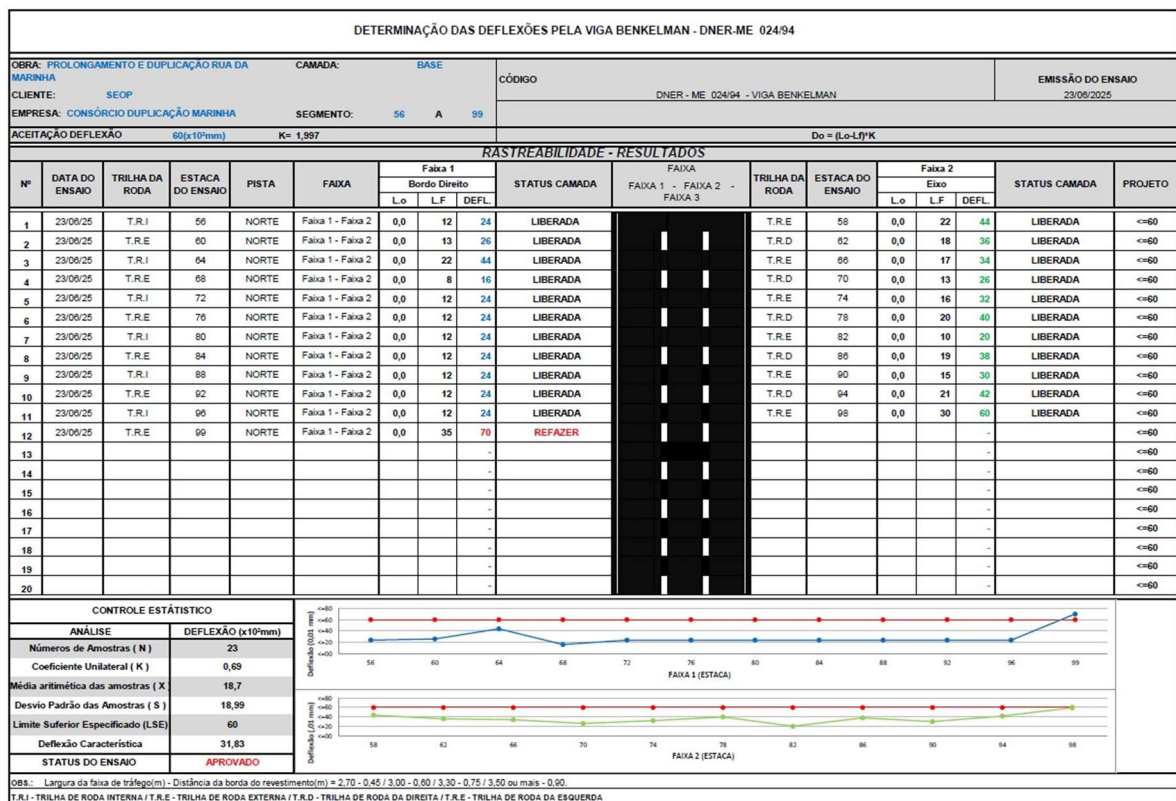
O ensaio apresenta os índices avaliados da mistura asfáltica fornecida para a obra da rua da marinha e os parâmetros da norma DNIT 031/2024-ES, com os

resultados obtidos se observa que a produção realizada atende a norma técnica, portanto está adequado para ser aplicado no trecho de obra.

No trecho de obras, notou-se que o rolo compactador utilizado difere do que é solicitado na norma DNIT 031/2024-ES, onde se indica o uso do rolo liso duplo tandem metálico, enquanto em campo foi usado um rolo misto para realizar a primeira compactação do asfalto.

Em todo o trecho da obra foi realizado o ensaio de viga *Benkelman*, a execução e resultados obtidos pelo ensaio foram fornecidos pelo laboratório da empresa Terraplena, para avaliar a deflexão máxima e analisar a liberação do trecho. Um dos trechos analisados apresentou os seguintes resultados apresentados na figura 50.

**Figura 50** - Ensaio de viga *benkelman* levantado no trecho fornecido pelo laboratório da empresa



Fonte: Autores (2025)

O ensaio foi realizado de forma a atender os trechos de 20 metros intercalados, verificando se a deflexão máxima obtida na leitura do ensaio está dentro do parâmetro de aceitação. No trecho da estaca 99 foi detectado deflexão excessiva e, portanto, foi refeito a camada de base para se adequar. Todo o ensaio demonstrado foi realizado na camada de base.

A seguir, é apresentado o trecho de pavimento asfáltico analisado na rua da Marinha, conforme demonstrado na figura 51.

**Figura 51** - Trecho a ser executado



**Fonte:** Autores (2025)

Foi realizado a imprimação da camada de Binder com pintura RR-2C, para melhor adesão da massa asfáltica na camada existente. O processo foi realizado utilizando caminhão espargidor em todo o trecho. Na Figura 52 é possível observar a execução deste processo.

**Figura 52** - Processo de pintura da superfície



**Fonte:** Autores (2025)

Após a realização da imprimação, a vibroacabadora foi posicionada e recebeu o carregamento de mistura asfáltica fornecida pela usina citada anteriormente, onde se deu início ao processo de adensamento do material, conforme mostra a figura 53.

**Figura 53** - Descarregamento da mistura asfáltica



**Fonte:** Autores (2025)

A vibroacabadora sobre esteira utilizada possui o parafuso de rosca sem fim, tamper para acabamento primário e sistema de aquecimento do material, garantindo um melhor adensamento e acabamento. O parafuso de rosca sem fim pode ser visto na figura 54 a seguir.

**Figura 54** - Parafuso de rosca sem fim



**Fonte:** Autores (2025)

Após a aplicação da mistura asfáltica realizada pela vibroacabadora, uma camada previamente acabada é lançada sobre a camada existente, conforme mostrado na figura 55.

**Figura 55** - Lançamento da mistura asfáltica com acabamento preliminar



**Fonte:** Autores (2025)

Uma equipe de apoio seguiu ao lado portando rastelos, pás, vassouras e demais materiais para o melhor acabamento da capa asfáltica. Após a vibroacabadora depositar o material, os rolos compactadores iniciaram o processo de compactação do material. Foram utilizados dois tipos de rolo compactador onde possui tandem liso com sistema vibratório e outro pneumático. Na figura 56 é mostrado o rolo compactador metálico liso utilizado no trecho em execução.

**Figura 56** - Compactação do trecho por rolo liso tandem metálico



**Fonte:** Autores (2025)

O rolo compactador pneumático, usado para dar acabamento a superfície pré compactada pelo rolo metálico liso, é mostrado na figura 57.

**Figura 57** - Compactação por rolo pneumático



**Fonte:** Autores (2025)

O rolo compactador com tandem liso iniciou o processo de compactação, após liberação do trecho compactado o rolo compactador pneumático realizou o acabamento do trecho. Ao final, a camada de capa asfáltica foi concluída. Quando foram realizados os registros, foi executado uma faixa com altura de 3,5 centímetros do asfalto, o restante será executado em data posterior para conclusão do trecho.

## 5. CONCLUSÃO

A aplicação da norma técnica DNIT 031/2024-ES proporciona maior suporte e controle na execução de pavimentos asfálticos. Com critérios mais rigorosos, a atualização torna-se mais prescritiva, estabelecendo limites claros para os resultados dos ensaios de controle. A liberação por trechos permite verificar a conformidade da execução, evitando desperdícios, retrabalhos e atrasos.

A inclusão de novos ensaios e parâmetros técnicos confere maior embasamento científico às decisões em campo. O controle dos insumos também foi aprimorado, com atenção especial à absorção de umidade do agregado graúdo, à produção da mistura asfáltica e à integridade do agregado, avaliada por meio do ensaio “Los Angeles”.

Além disso, exige-se licenciamento ambiental dos fornecedores, refletindo uma preocupação crescente com os impactos ambientais da instalação de usinas de asfalto nas regiões onde operam.

Na usina de asfalto analisada neste estudo, foram identificados pontos que requerem melhorias. Em relação ao armazenamento dos agregados, observou-se a ausência de isolamento adequado para prevenir a umidade excessiva. Considerando as condições climáticas de Belém, marcadas por elevada pluviosidade ao longo do ano, os materiais tendem a absorver altos níveis de umidade, o que dificulta o processo de secagem e eleva o consumo energético necessário para atingir o teor ideal de umidade.

Durante o acompanhamento da execução do pavimento na Rua da Marinha, foi constatado o uso de rolo compactador do tipo misto, equipamento vedado pela norma DNIT 031/2024-ES. Além disso, verificou-se a ausência de sistema de aspersão, exigido para a lubrificação dos rolos metálicos lisos durante a compactação. No trecho foi verificado que a aplicação do lubrificante nos rolos metálicos lisos era realizada de maneira manual.

Para garantir a conformidade com todas as diretrizes da norma técnica DNIT 031/2024-ES, tanto os equipamentos utilizados em campo quanto as instalações da usina de mistura asfáltica demandam adequações e modernizações.

Como desdobramento para pesquisas futuras, sugere-se avaliar o impacto da nova via na mobilidade urbana de Belém, observando a circulação de veículos, bicicletas e pedestres, bem como eventuais melhorias em engarrafamentos e tempo

de viagem na Rodovia Augusto Montenegro e na Avenida Centenário; verificar a integridade e durabilidade do pavimento asfáltico após a conclusão da obra; e estudar as características dos agregados utilizados na região metropolitana, analisando sua aplicação conforme as diretrizes da norma DNIT 031/2024-ES, a fim de contribuir para a padronização e aprimoramento da qualidade dos materiais empregados.

## REFERÊNCIAS

AGUIAR, Marcelo Figueiredo Massulo. Notas de aula. **Classificação de pavimentos**. Universidade Federal do Pará. Belém, PA. 2024.

ALFINO, Felipe. **Nova norma de CBUQ do DNIT 031/2024-ES** – O que mudou? [S.l.]: YouTube, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=UHizoBhY45g>. Acesso em: 02 ago. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10520:2023** — Informação e documentação — Citações em documentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

BALBO, José Tadeu. **Pavimentação asfáltica**: Materiais, projeto e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

BERNUCCI, L. B. [et al.]. **Pavimentação asfáltica**: Formação básica para engenheiros. 2ª Ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS, ABEDA, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/rodovias/recursos-para-desenvolvimento-tecnologico-rdt/projetos-rdt/transbrasiliana/finalizado/livro-pavimentacao-asfaltica-2013-formacao-basica-para-engenheiros-2013-2deg-edicao.pdf/view>. Acesso em: 31/07/2025.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 031 – ES**: Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. 2024.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 144 – ES**: Pavimentação – Imprimação com ligante asfáltico – Especificação de serviço. 2014.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 – ES**: Pavimentação – Concreto asfáltico – Especificação de serviço. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa, 2006. 14 p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. **DNIT 145 – ES**: Pavimentação – Pintura de ligação com ligante asfáltico – Especificação de serviço. 2012.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTE. DIRETORIA DE PLANEJAMENTO E PESQUISA. COORDENAÇÃO GERAL DE ESTUDOS E PESQUISA. INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de pavimentação**. 3ª Ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 431/2020**: Pavimentação – Misturas asfálticas – Densidade

in situ usando densímetro não nuclear – Método de ensaio. Brasília: Instituto de Pesquisas em Transportes - IPR, 2020. 8 p.

FONSECA, André Mota. **Avaliação da influência do controle tecnológico na qualidade de Obras de pavimentação**. Estudo de caso: Viário do parque olímpico. 2016. 99 páginas - Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017203.pdf>. Acesso em: 03/08/2025.

GOMES, Geovane. **Concreto Asfáltico** - Atualização DNIT ES-031/2024. [S.l.]: YouTube, 2025. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=FBOeHtSh8NA>. Acesso em: 23 jul. 2025.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas -. **CENSO 2022**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/panorama-impresso?cod=1501402>. Acesso em: 16 ago. 2025.

MACIEL, I. E. **Avaliação da influência do uso de polímero SBS e da faixa granulométrica nos parâmetros da dosagem Marshall. Estudo de caso: pavimentação do prolongamento da Avenida João Paulo II**. 2019. 127 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.

PINHEIRO, Karina. Obra para desafogar trânsito em Belém na COP30 vai rasgar parque municipal. **O Eco**. [S.l.], p. 1-1. 03 maio 2024. Disponível em: <https://oeco.org.br/reportagens/obra-para-desafogar-transito-em-belem-na-cop30-vai-rasgar-parque-municipal/>. Acesso em: 16 ago. 2025.