



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil

---



**Julia Viggiano Dias**

## **A Importância da Temperatura da Massa Asfáltica para a Qualidade do Pavimento Asfáltico**

Ouro Preto

2022

A importância da temperatura da massa asfáltica para a qualidade do pavimento asfáltico.

Julia Viggiano Dias

Trabalho Final de Curso apresentado como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Engenheiro Civil na Universidade Federal de Ouro Preto.

Data da aprovação: 21/10/2022

Área de concentração: Pavimentação Asfáltica

Orientador: Engº M.Sc. Hebert da Consolação Alves – UFOP

Ouro Preto

2022

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

D541a Dias, Julia Viggiano.

A importância da temperatura da massa asfáltica para a qualidade do pavimento asfáltico. [manuscrito] / Julia Viggiano Dias. - 2022.

43 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Me. Hebert da Consolação Alves.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Civil .

1. Misturas com emulsão asfáltica - Temperatura. 2. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). 3. Controle de qualidade. I. Alves, Hebert da Consolação. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 624

Bibliotecário(a) Responsável: Maristela Sanches Lima Mesquita - CRB-1716



## FOLHA DE APROVAÇÃO

Júlia Viggiano Dias

### A importância da temperatura da massa asfáltica para a qualidade do pavimento asfáltico

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil

Aprovada em 21 de outubro de 2022

#### Membros da banca

Eng<sup>o</sup> M.Sc. - Hebert da Consolação Alves - Orientador- Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof<sup>a</sup> D.Sc - Daniela Antunes Lessa - Universidade Federal de Ouro Preto  
Prof<sup>o</sup> - Fernando Antônio Borges Campos - Universidade Federal de Ouro Preto

Hebert da Consolação Alves, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 27/10/2022



Documento assinado eletronicamente por **Hebert da Consolacao Alves**, **TECNICO DE LABORATORIO AREA**, em 26/10/2022, às 10:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0417764** e o código CRC **8D97D9AD**.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao orientador Eng<sup>o</sup>M.Sc. Hebert da Consolação Alves pela orientação para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP pelos conhecimentos transmitidos que me permitiram chegar até aqui.

Ao Laboratório de Ferrovias e Asfalto (LABFER), da Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP) pela disponibilização dos recursos necessários para a conclusão deste trabalho.

À minha família, figuras insubstituíveis nesse processo, por cada palavra de força, carinho e confiança, por toda dedicação e paciência para que esse sonho pudesse ser realizado.

## RESUMO

O controle de qualidade visa garantia de sucesso nas construções. Em busca de conforto e segurança no deslocamento, e com o objetivo de resistir aos esforços resultantes do tráfego de veículos e do clima, o pavimento asfáltico é um sistema de camadas sobre a superfície final da terraplanagem. Sendo, portanto, a aplicação correta dos materiais constituintes, juntamente com o controle de qualidade, os principais fatores que podem interferir no comportamento desejado e suas respectivas utilizações. Dessa forma, a qualidade obtida em conformidade com as normas, por meio de ensaios e medições, é um complemento à qualidade do projeto. Considerando que o controle de qualidade possui dois enfoques diferentes, o administrativo e o técnico-qualitativo, é imprescindível que haja paralelismo entre os temas. Torna-se necessário, então, que haja responsabilidade para fixar um nível de controle e garantia da qualidade compatíveis com o valor da obra de pavimentação a ser realizada. Nesse controle, é fundamental que a temperatura de usinagem e de compactação estejam dentro dos parâmetros das especificações de projeto definidas. Entretanto, muitas vezes a massa asfáltica é aplicada fora da faixa de temperatura especificada, o que pode afetar a densidade da mistura compactada. Nesse contexto, o presente estudo dedicou-se a realizar a comparação entre parâmetros normativos para misturas asfálticas compactadas em laboratório, e parâmetros obtidos de amostras retiradas de campo de uma obra realizada com a mesma massa asfáltica. O controle de produção do concreto asfáltico foi realizado a partir de ensaios com as amostragens da massa, com base no controle da quantidade de ligante na mistura; da graduação da mistura de agregados; da temperatura; e das características da mistura. Desse modo, verificou-se que, através da faixa granulométrica obtida, a massa asfáltica se enquadra na faixa C do DNIT, mas que nem todos os parâmetros de qualidade estão dentro das especificações, colaborando, portanto, para o decréscimo da vida útil do pavimento.

Palavras-chaves: Temperatura da Mistura Asfáltica, DNIT, Controle de Qualidade.

## **ABSTRACT**

Quality control is a guarantee of success in construction. In the search for comfort and safety when moving, and with the objective of resisting the efforts resulting from vehicle traffic and the climate, asphalt sidewalk is a system of layers over the final surface of the earthwork. Therefore, the correct application together with quality control are the main factors that can interfere with the desired behavior and their respective uses. Thus, the quality obtained in compliance with the standards, through tests and measurements, is a complement to the quality of the project. Considering that quality control has two different approaches, the administrative and the technical-qualitative, it is essential that there is parallelism between the themes. It is necessary, then, to take responsibility for setting a level of quality control and quality assurance that is compatible with the value of the paving job to be done. In this control, it is essential that the machining temperature and compaction temperature are neither above nor below those obtained in the asphalt mix design. However, it is often spread and compacted outside the specified temperature range, which can affect the optimum asphalt content, asphalt absorption, aggregate structure, and density of the compacted mixture. In this context, the present study was dedicated to carrying out a comparison between normative parameters for asphalt mixtures and parameters obtained from samples taken in the field at the construction site in question. The production control of asphalt concrete was performed from tests with the samples collected, based on the control of the amount of binder in the mixture, the gradation of the mixture of aggregates, the temperature, and the characteristics of the mixture. Thus, it was verified that, through the particle size range obtained, the asphalt mix fits in the DNIT C range and that the parameters of the rolling layer are met. Collaborating, therefore, for the life of the sidewalk.

Keywords: Asphalt Mixture Temperature, DNIT, Quality Control.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Série de peneiras DNER – EM 035/95 (DNER-EM-035, 1995). .....	20
Tabela 2 – Composição do concreto asfáltico e suas tolerâncias no que diz respeito a granulometria. Fonte: DNIT 031/2006 - ES (DNIT-ES-031, 2006).....	22
Tabela 3 – Relação de ensaios e suas respectivas normas. ....	24
Tabela 4 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) - Classificação por penetração. Fonte: adaptado da NORMA DNIT 095/2006 – EM (DNIT-EM-095, 2006).....	29
Tabela 5 – Temperatura da amostragem de campo por caminhão .....	30
Tabela 6 - Medidas retiradas dos CP's após compactação Marshall.....	31
Tabela 7 – Peneiramento utilizando comparativo da Faixa A - DNIT.....	34
Tabela 8 - Peneiramento utilizando comparativo da Faixa B – DNIT.....	35
Tabela 9 - Peneiramento utilizando comparativo da Faixa C – DNIT .....	36

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Extensão da malha rodoviária brasileira classificada segundo critérios de pavimentação, jurisdição e tipo de rodovia (CNT, 2021).....	11
Figura 2 – Disposição das camadas e pavimento tipo flexível (CNT, 2021). .....	14
Figura 3 – Desempenho de um pavimento submetido às tensões provenientes do tráfego. (BALBO, 2007).....	15
Figura 4 – Diagramação com a sequência de estudo.....	23
Figura 5 - Temperatura de chegada da massa asfáltica no local de sua aplicação. Fonte: arquivo pessoal. ....	24
Figura 6 – Separação e pesagem da amostra de massa asfáltica no Laboratório de Pavimentação Asfáltica. Fonte: Arquivo pessoal.....	25
Figura 7 - Prensa mecânica (aparelhagem Marshall). ....	26
Figura 8 - Corpos de prova moldados e compactados na aparelhagem Marshall de acordo com suas respectivas temperaturas de aquecimento nas estufas. ....	26
Figura 9 – Esquema de instalação dos equipamentos para realizar ensaio utilizando o aparelho Rotarex. Fonte: arquivo pessoal.....	27
Figura 10 – Material resultante do processo de extração de betume da massa asfáltica com aparelhagem adequada. Fonte: arquivo pessoal.....	27

## **LISTA DE SIGLAS**

% – porcentagem

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

CAP – Cimento Asfáltico de Petróleo

CBUQ – Concreto Betuminoso Usinado a Quente

CNT – Confederação Nacional do Transporte

CP – Corpo de Prova

DNER – Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

LABFER – Laboratório de Ferrovias e Asfalto

MG – Minas Gerais

mm - milímetros

NBR – Norma Brasileira

Vv – Volume de Vazios

UFOP – Universidade Federal de Ouro Preto

# SUMÁRIO

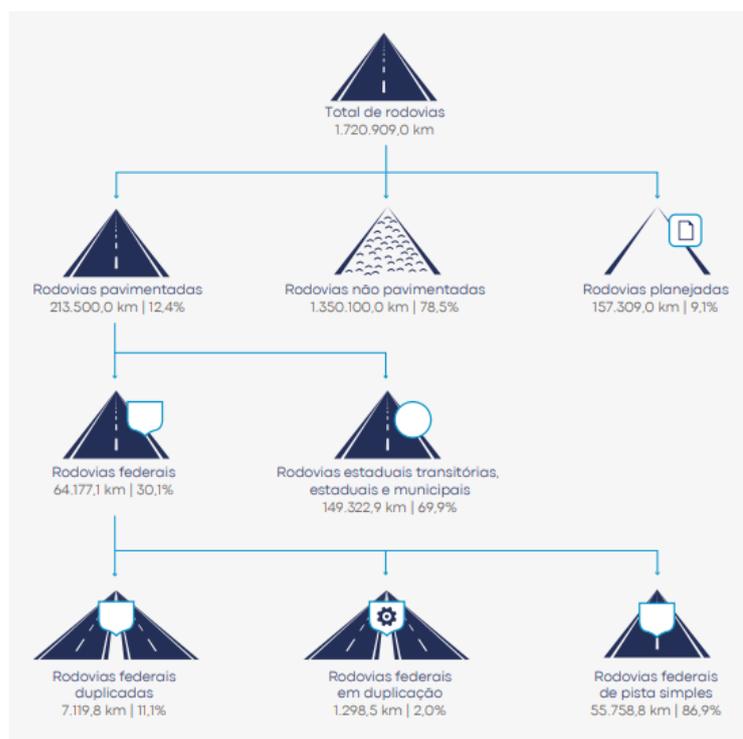
1	Introdução .....	11
1.1	Objetivos gerais .....	13
1.2	Objetivos específicos .....	13
2	Revisão Bibliográfica .....	14
2.1	Pavimento .....	14
2.2	Dosagem .....	16
2.3	Defeitos de superfície .....	17
2.4	Efeito da temperatura e do grau de compactação nas propriedades mecânicas da mistura asfáltica .....	18
2.5	Determinação da faixa granulométrica e especificação de serviço padronizado pelo DNIT .....	19
3	Metodologia .....	23
3.1	Sequência de procedimentos de ensaio para dosagem de misturas betuminosas pelo Método Marshall .....	24
3.2	Determinação do teor de betume e Ensaio de granulometria .....	26
4	Resultados .....	30
4.1	Curva densidade x temperatura de compactação .....	30
4.2	Porcentagem de teor de betume .....	32
4.3	Faixa granulométrica da massa asfáltica .....	33
5	Conclusão .....	37
6	Referências .....	39
	Anexo A .....	41

Anexo B .....	42
---------------	----

# 1 INTRODUÇÃO

Investir em uma infraestrutura de transportes de qualidade está intimamente atrelado ao desenvolvimento consolidado de um país. No caso do Brasil, não é diferente, pois em cerca de 65% da movimentação de mercadorias e de 95% da de passageiros, segundo a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021), utilizou-se o modo rodoviário, cuja rede tem maior difusão pelo território nacional, apesar do potencial que o país tem para a expansão da rede ferroviária.

De acordo com a Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2021), em 2021, a malha não pavimentada representava a maior parte (78,5%) da extensão total da malha rodoviária nacional. Isso evidencia a pouca disponibilidade de rodovias pavimentadas quando considerada a sua extensão em relação à área total do país. As extensões da malha rodoviária brasileira, classificadas segundo critérios de pavimentação, jurisdição e tipo de rodovia, são apresentadas na Figura 1.



**Figura 1 – Extensão da malha rodoviária brasileira classificada segundo critérios de pavimentação, jurisdição e tipo de rodovia. Fonte: CNT (2021).**

Segundo a CNT (2021), a predominância do transporte rodoviário gera a constante necessidade de melhoria na qualidade das vias de acesso, dessa forma,

considerando a importância da ampliação da infraestrutura de transportes, é essencial que haja investimento no estudo e aplicação de tecnologia para a restauração, duplicação e pavimentação com mão-de-obra especializada, capaz de garantir a melhoria da malha brasileira.

De acordo com Bernucci (2008), um pavimento é uma estrutura de várias camadas, disposta sobre a superfície final de terraplenagem, reservada técnica e economicamente para a resistência aos esforços originados pelo tráfego de veículos e do clima, proporcionando aos usuários boas condições de rolamento, levando conforto, economia e segurança. Ainda, segundo Bernucci (2008), o pavimento rodoviário classifica-se em dois tipos básicos: pavimentos de concreto de cimento Portland, tradicionalmente denominado pavimento rígido, e pavimento asfáltico ou flexível.

Outra definição importante para garantir a boa execução do pavimento, seja ele rígido ou flexível, é a pré-determinação em projeto das temperaturas de usinagem e de compactação da mistura asfáltica, devendo haver a especificação de intervalo inferior e superior pré-estabelecido, baseado na norma do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes-DNIT (DNIT, 2006). Segundo Ceratti et al. (2007), a alteração desses parâmetros interfere de forma direta nas demais características da mistura, como por exemplo, a viscosidade do ligante asfáltico.

Meléndez (2001) estudou o efeito da temperatura de compactação na densidade das misturas asfálticas e sua principal conclusão a respeito dessa massa asfáltica compactada foi de que com o acréscimo de temperatura, a densidade chega a um valor máximo e, em seguida, cai, caso a temperatura da compactação for elevada constantemente. Dessa forma, o autor considera que a maioria dos danos gerados durante a aplicação dos pavimentos poderia ser sanada, caso fosse possível fazer com que as misturas asfálticas fossem todas compactadas dentro do intervalo de temperaturas estabelecido no projeto.

Lehnen (2015) conclui que os principais fatores que levam a diminuição dessa temperatura são as grandes distâncias entre usina e obra, a aplicação da mistura em locais com baixa temperatura, o tempo de espera para aplicação da massa na obra por falta de liberação da frente de serviço. Tudo isso faz com que a mistura asfáltica seja submetida a um maior período de resfriamento.

Nesse contexto, este trabalho evidenciará a importância do controle tecnológico dos parâmetros da mistura asfáltica, com o objetivo de unir a diminuição de gastos com a durabilidade do pavimento de uma obra e, também, com a segurança dos usuários da via.

### **1.1 Objetivos gerais**

Estudar a importância da temperatura da massa asfáltica para a qualidade do pavimento de uma obra no município de Barra Longa/MG.

### **1.2 Objetivos específicos**

Para tanto, os objetivos específicos deste trabalho serão:

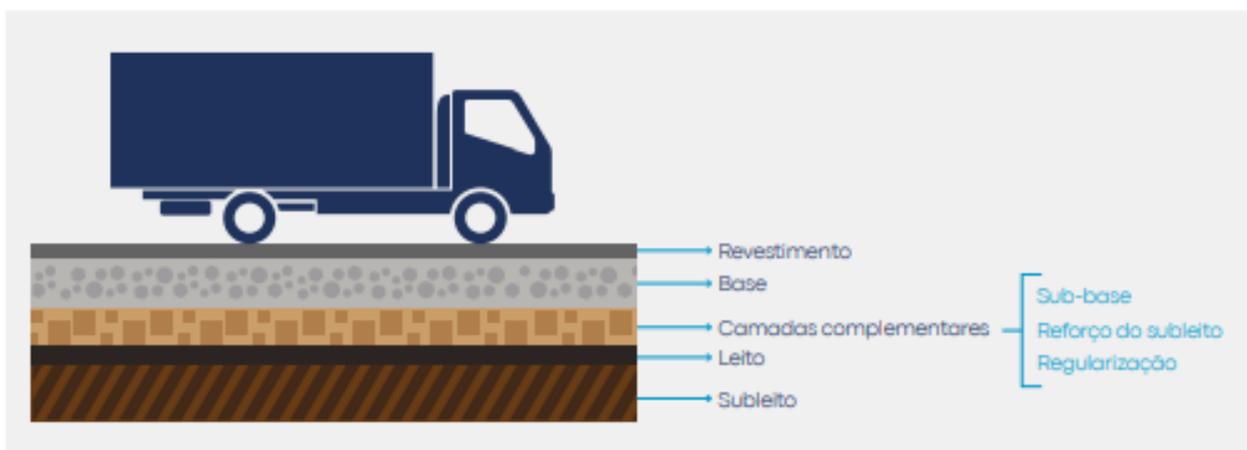
- Validar as informações apresentadas na ficha técnica da usina através dos resultados obtidos em laboratório.

- Comparar os valores dos resultados obtidos em laboratório com os das normas vigentes no país que visam qualidade, conforto e durabilidade da via, variando de acordo com a destinação desta.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

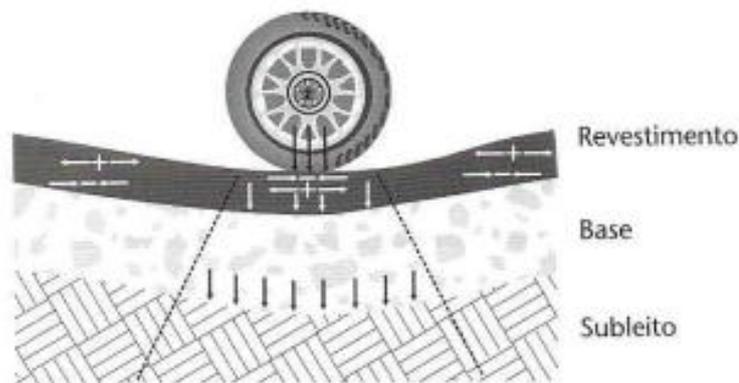
### 2.1 Pavimento

Para Pinto (2010), o usuário de uma rodovia visualiza o pavimento como uma estrutura capaz de sustentar o tráfego, possibilitando-lhe conforto e segurança. Porém, do ponto de vista técnico, de acordo com a Pesquisa CNT (2021), os pavimentos são divididos em uma estrutura de várias camadas, com a finalidade de receber e distribuir as cargas aplicadas em sua superfície, de modo que as tensões resultantes permaneçam abaixo das tensões admissíveis pelos materiais componentes, minimizando os esforços verticais produzidos pela ação do tráfego e, conseqüentemente, oferecer proteção ao subleito. A Figura 2 indica as camadas que podem compor a estrutura de um pavimento flexível, como: revestimento, base, camadas complementares variantes, leito e subleito.



**Figura 2 – Disposição das camadas e pavimento tipo flexível. Fonte: CNT (2021).**

A Figura 3 exemplifica o desempenho das camadas da estrutura de um pavimento submetido às tensões advindas do tráfego.



**Figura 3 – Desempenho de um pavimento submetido às tensões provenientes do tráfego. Fonte: Balbo (2007).**

As condicionantes para escolha do tipo de revestimento a ser utilizado podem ser características climáticas, localidade onde o pavimento será executado e a disponibilidade de materiais e recursos na região. Um dos tipos mais empregados no Brasil, segundo Bernucci (2008), é o concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). Este é produto da mistura proporcional de agregados e cimento asfáltico, ambos aquecidos em temperaturas previamente determinadas em função da característica viscosidade-temperatura do ligante.

De acordo com Pinto (2010), as principais vantagens da mistura a quente é que são mais duráveis e menos sensíveis à ação das cargas, sendo, portanto, mais indicadas para tráfego intenso e/ou pesado por estarem menos sujeitas ao desgaste por abrasão. Porém, suas principais desvantagens são seu valor elevado, a exigência de aquecimento do agregado em temperatura pré-determinada e equipamentos especiais para o espalhamento e compactação, o que exige um nível de qualificação maior da mão de obra.

Baseado na norma DNIT 031/2006, a utilização do CAUQ varia de acordo com três diferentes faixas granulométricas dos agregados, são elas: A, B e C (DNIT, 2006). Podendo, então, ser utilizado como camada de ligação ou camada de rolamento, de acordo com a padronização da norma. Os parâmetros característicos para uma mistura betuminosa do tipo concreto asfáltico, segundo Pinto (2010), são constituídos geralmente de agregado graúdo, miúdo, material de enchimento (*filler*) e cimento asfáltico.

## 2.2 Dosagem

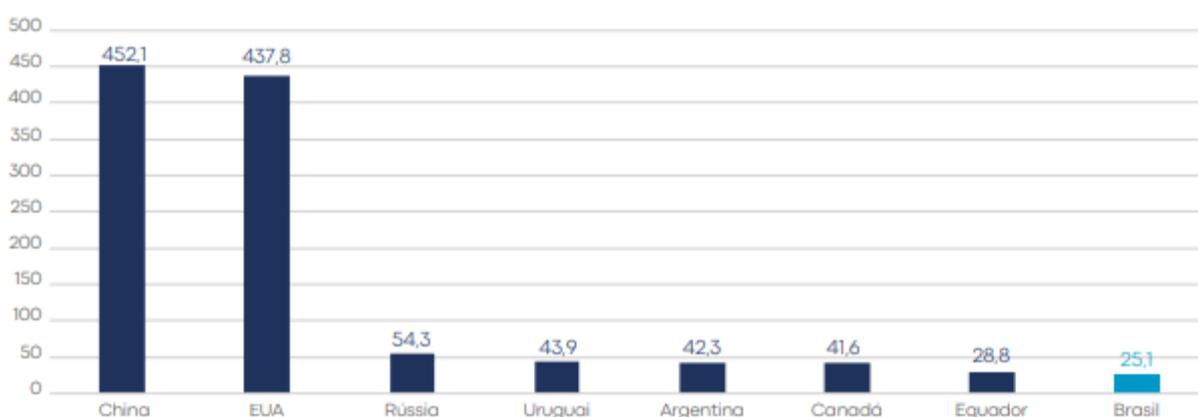
Para o projeto de um concreto asfáltico é necessário realizar um estudo de seleção e dosagem dos constituintes, a fim de padronizá-los de acordo com as normas estabelecidas. Cada método de dosagem possui os próprios critérios para relacionar os ensaios de laboratório e os resultados de campo. O teor de projeto de ligante asfáltico varia de acordo com o método de dosagem e, segundo Bernucci (2008), é em função de parâmetros como energia de compactação, tipo de mistura, temperatura a qual o pavimento estará submetido, entre outros. Os principais são os métodos Marshall e Superpave.

Atualmente, de acordo com Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (2014), a determinação do teor de projeto de misturas asfálticas no Brasil é conduzida com base nas normas DNER-ME 043/95 (DNER, 1995) e DNIT 031/2006 – ES (DNIT, 2006). O método de dosagem mais usado mundialmente faz uso da compactação por impacto e é denominado Método Marshall em referência ao engenheiro Bruce Marshall que o desenvolveu na década de 1940 (BERNUCCI, 2008). Alguns anos depois, várias rodovias norte-americanas de tráfego pesado passaram a apresentar deformações permanentes antes do tempo previsto, que foram atribuídas ao excesso de ligante nas misturas. A partir de então foi introduzido o Método Superpave que vem gradativamente substituindo o método citado anteriormente.

No Brasil tem-se utilizado principalmente o Método Marshall, ou suas variações, tendo o uso do Método Superpave sido mais restrito a pesquisas no âmbito das universidades e departamentos de transporte do país, de acordo com Bernucci (2008). Neste método, foi proposta uma metodologia distinta que consiste basicamente em estimar um teor provável de projeto através da fixação do volume de vazios e do conhecimento da granulometria dos agregados disponíveis. A maior diferença entre este novo procedimento e o Marshall é a forma de compactação. Enquanto na dosagem Marshall, a compactação é feita por impacto (golpes), na dosagem Superpave é realizada por amassamento (giros) (BERNUCCI, 2008)

### 2.3 Defeitos de superfície

De acordo com os dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2021), no Brasil, 78,5% do total da malha rodoviária existente no país não é pavimentada, o que evidencia a baixa oferta de infraestrutura no país, quando comparado com países em extensão territorial semelhante ao Brasil. No Gráfico 1 elaborado pela CNT, com dados de *CIA The World Factbook* (2021), DNIT (2021) e IBGE (2021), é possível visualizar a densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/mil km<sup>2</sup>).



**Gráfico 1 – Densidade da malha rodoviária pavimentada por país (valores em km/mil km<sup>2</sup>). Fonte: CNT (2021). (CNT,2021).**

A densidade da malha rodoviária pavimentada é um indicador que evidencia a desigualdade na ocupação do território do país. Isso implica que é preciso realizar grandes deslocamentos em trechos não pavimentados para chegar ao destino desejado, por não haver disponibilidade de ligações mais diretas (CNT, 2021).

Além do expressivo percentual de rodovias não pavimentadas, é preciso considerar os trechos onde há defeitos de superfície, o que gera transtornos aos usuários, como diminuição da sensação de segurança e aumento no tempo de deslocamento. Os defeitos da superfície são os danos que podem ser identificados a olho nu segundo uma terminologia normatizada do DNIT 005/2003 - TER (DNIT, 2003).

Entre os erros e problemas construtivos, destacam-se: técnicas de compactação inadequada; compactação de misturas asfálticas em temperaturas fora do padrão

normatizado ou variabilidade de temperatura na massa asfáltica durante o processo de compactação, de acordo com Bernucci (2008).

Para o pavimento atingir a sua função estrutural e funcional com eficácia é necessário haver um controle tecnológico dos materiais no momento de sua construção. Nesse controle, é essencial que a temperatura de mistura e de compactação sejam equivalentes às obtidas nos projetos das misturas asfálticas. A temperatura não pode estar acima (a chamada “queima da mistura”), nem abaixo da temperatura de projeto, visto que propriedades como a viscosidade, por exemplo, estão diretamente relacionadas à temperatura da mistura asfáltica (CERATTI, 2007).

#### **2.4 Efeito da temperatura e do grau de compactação nas propriedades mecânicas da mistura asfáltica**

A norma DNIT 031/2006-ES (DNIT, 2006) regulamenta alguns processos da etapa de compactação de um pavimento, que pode variar de acordo com o método pré-determinado em projeto. A principal finalidade desse processo é aumentar a densidade da massa asfáltica para que ela alcance os valores de projeto e resulte em uma superfície de rolamento confortável ao usuário. De acordo com a normatização, o equipamento em operação só deve compactar a mistura na densidade de projeto enquanto esta se encontrar em condições de trabalhabilidade. Além disso, a compactação deve ser iniciada pelos bordos, longitudinalmente, continuando em direção ao eixo da pista.

De acordo com o Asphalt Institute (1989), esse parâmetro interfere no desempenho dos pavimentos devido a três fatores: (1) aumento do contato entre agregados promovendo maior fricção interna e resultando em uma mistura com maior estabilidade; (2) diminuição do volume de vazios ( $V_v$ ), que produz um pavimento quase impermeável, reduzindo a penetração da água e do ar, resultando em maior resistência ao envelhecimento por oxidação e maior proteção da base; (3) em pavimentos pouco compactados, que apresentam muitos vazios, haverá maior pós compactação devido ao tráfego, que ocorrerá principalmente nas trilhas de roda resultando em deformação permanente.

A resistência à compactação é um efeito combinado do agregado e do ligante e depende, em grande parte, da temperatura da mistura. Ou seja, quanto maior a viscosidade do ligante no momento da compactação, mais alta será a resistência oferecida pelo material à compactação (GRAVE, 2016).

De acordo com Grave (2016), pode-se perceber que na prática, o processo construtivo de um revestimento asfáltico, nem sempre segue as recomendações da norma à risca. Por exemplo, em uma obra onde a mistura asfáltica chega através de caminhões basculantes, essa mistura fica esfriando enquanto espera a liberação da frente de serviço para ser aplicada. Esse tempo de espera para espalhamento e compactação é, muitas vezes, suficiente para que sua temperatura se reduza a valores abaixo do intervalo estipulado em norma. Podendo fazer com que a compactação empregada não seja suficiente para resultar na densidade exigida em projeto.

## **2.5 Determinação da faixa granulométrica e especificação de serviço padronizado pelo DNIT**

De acordo com a norma do DNIT 031/2006 – ES (DNIT, 2006), todo o carregamento de cimento asfáltico, que posteriormente será transformado em concreto asfáltico, que chegar no local da obra deve apresentar por parte do fabricante/distribuidor certificado de resultados de análise dos ensaios de caracterização exigidos pelas especificações aprovadas pelo DNIT, e que satisfaça às normas pertinentes. Deve trazer também indicação clara da sua procedência, do tipo e quantidade do seu conteúdo e distância de transporte entre a refinaria e o canteiro de obra.

Os agregados que compõe uma mistura asfáltica são de diferentes tamanhos em proporções convenientemente escolhidas de acordo com o teor de cimento asfáltico, para atender aos requisitos de desempenho esperados. Essa proporção se faz seguindo um procedimento de dosagem. Para iniciar o processo, é necessário entender as propriedades dos agregados disponíveis, começando pelo tamanho dos grãos e suas proporções. O tamanho destes é obtido comumente por processo de peneiramento em uma série de peneiras de malhas quadradas de aberturas pré-definidas e padronizadas, de acordo com a norma DNER – EM 035/95 (DNER, 1995)

apresentada na Tabela 1. Esse procedimento permite definir a composição granulométrica em faixas denominadas de gráudo, miúdo e de enchimento.

Série normal mm	Série normal polegada	Peneira nº
50,00	2	-
37,50	1 1/2	-
25,00	1	-
19,00	3/4	-
12,50	1/2	-
9,50	3/8	-
6,30	1/4	-
4,75	-	4
2,36	-	8
2,00	-	10
1,18	-	16
0,60	-	30
0,425	-	40
0,30	-	50
0,15	-	100
0,075	-	200

**Tabela 1 – Série de peneiras DNER – EM 035/95. Fonte: DNER (1995).**

A partir dos limites de tamanho de cada peneira, pode-se separar o material e classificá-lo de acordo com seu diâmetro.

- *Filler* (material pulverulento): são as partículas com dimensões inferiores a peneira nº200.

- Agregados graúdos: pertencem a classe cujos grãos passam pela peneira de 3 polegadas (3”), e ficam retidos na peneira nº 4, de acordo com ensaio que determina a composição granulométrica por peneiramento.
- Agregados miúdos: são os passantes da peneira de nº 4, porém retidos na de nº 100, de acordo com ensaio que determina a composição granulométrica por peneiramento.
- Material de enchimento: passa totalmente na peneira de abertura 0,15mm e, além disso, passa em um teor superior ao de 65% na peneira de nº 200.

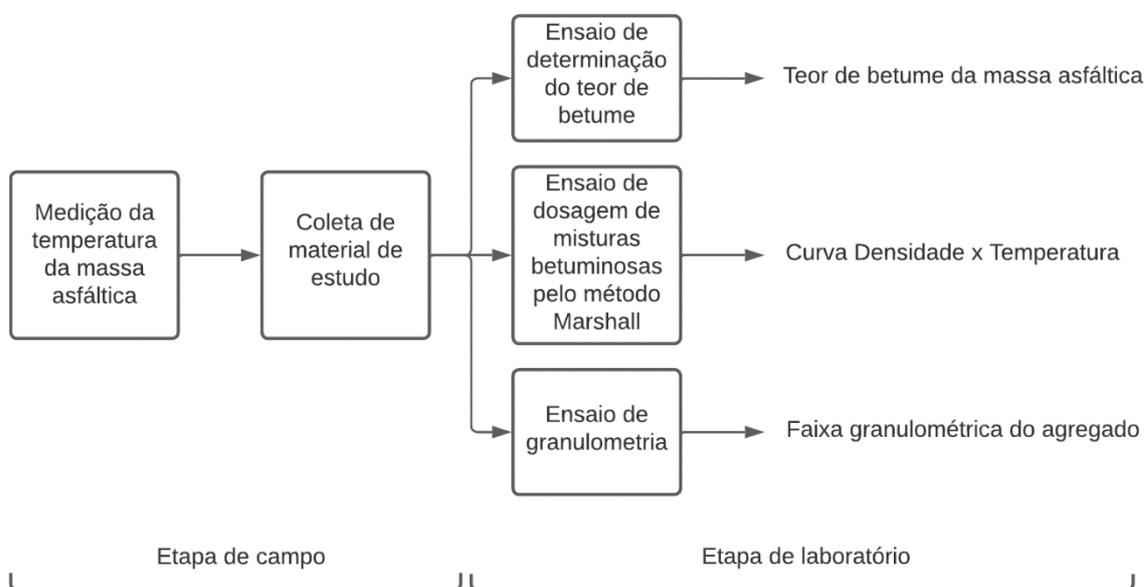
Para fazer a separação do material e posterior classificação, pode-se utilizar do peneiramento com agitador mecânico ou peneiramento manual. A partir da pesagem do material retido em cada peneira após a limpeza da sua malha com escova ou pincel, pode-se calcular as percentagens em massa, com base na massa total da amostra seca inicial e, então, definir a faixa granulométrica da amostra. A composição granulométrica do concreto asfáltico deverá atender aos parâmetros da Tabela 2 a seguir com as respectivas tolerâncias no que diz respeito à granulometria e aos percentuais do ligante asfáltico determinados pelo projeto da mistura.

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
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%
3/8"	9,5	35 - 65	45 - 80	70 - 90	± 7%
Nº 4	4,8	25 - 50	28 - 60	44 - 72	± 5%
Nº 10	2,0	20 - 40	20 - 45	22 - 50	± 5%
Nº 40	0,42	10 - 30	10 - 32	8 - 26	± 5%
Nº 80	0,18	5 - 20	8 - 20	4 - 16	± 3%
Nº 200	0,075	1 - 8	3 - 8	2 - 10	± 2%
Asfalto solúvel no 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%

**Tabela 2 – Composição do concreto asfáltico e suas tolerâncias no que diz respeito a granulometria. Fonte: DNIT (2006).**

### 3 METODOLOGIA

O estudo teve como objetivo realizar uma análise comparativa da densidade da massa asfáltica utilizada em uma pavimentação na cidade de Barra Longa/MG compactada em temperatura medida *in situ* com densidades obtidas em laboratório, através de temperaturas diferentes de compactação da mesma massa utilizada em campo. Este Capítulo, portanto, é destinado à descrição dos materiais e do método de pesquisa, que serão utilizados para o desenvolvimento deste estudo, assim como indicado no fluxograma da Figura 4.



**Figura 4 – Diagramação com a sequência de estudo. Fonte: Elaborado pelo autor.**

Para a determinação dos parâmetros citados, foram realizados ensaios no Laboratório de Ferrovias e Asfalto da UFOP, seguindo as normas vigentes no país. Na Tabela 3, estão os ensaios e suas respectivas normas para padronização da metodologia e dos resultados.

Ensaio	Norma ABNT
Determinação do teor de betume	DNER – ME 053/94 (DNER, 1994)
Dosagem de misturas betuminosas pelo método Marshall	DNER - ME 043/95 (DNER, 1995)
Ensaio de granulometria	ABNT NBR NM248/2003 (ABNT, 2003)

**Tabela 3 – Relação de ensaios e suas respectivas normas. Fonte: Elaborado pelo autor.**

### 3.1 Ensaio de Dosagem de Misturas Betuminosas pelo Método Marshall

Os procedimentos do método para realização do ensaio consistem em moldar, por compactação a quente, uma série de corpos de prova com porcentagens iguais de ligante asfáltico, dentro de moldes cilíndricos metálicos. Após a compactação, as amostras são armazenadas e submetidas ao resfriamento natural durante 24 horas e extraída dos moldes. Os principais parâmetros calculados com base nesse método são a densidade e o volume de vazios.

No processo de controle de compactação *in situ* foram aferidas as temperaturas dos três primeiros caminhões, conforme apresentado na Figura 5.



**Figura 5 - Temperatura de chegada da massa asfáltica no local de sua aplicação. Fonte: Arquivo pessoal.**

Após a etapa de aferição de temperatura, foram coletados aproximadamente 11kg de massa asfáltica para serem levados como amostragem para o laboratório. Estas foram separadas em 9 frações, pesando em média 1.200g cada, assim como ilustra a Figura 6. Como a mistura precisou ser destorroada antes da pesagem, foi utilizada pá para manuseio, e em seguida, balança eletrônica e pequenas formas de alumínio.



**Figura 6 – Separação e pesagem da amostra de massa asfáltica no Laboratório de Pavimentação Asfáltica. Fonte: Arquivo pessoal.**

Com base na norma DNER-ME (1995), os corpos de prova foram preparados para realização do ensaio por meio do compactador Marshall. Esse instrumento realiza a compactação do corpo de prova de misturas betuminosas de cimento asfáltico. Foi, então, realizada a compactação do material amostrado em campo em diferentes faixas de temperatura. A aparelhagem necessária para aplicação das cargas é uma prensa mecânica, conforme apresentado na Figura 7.

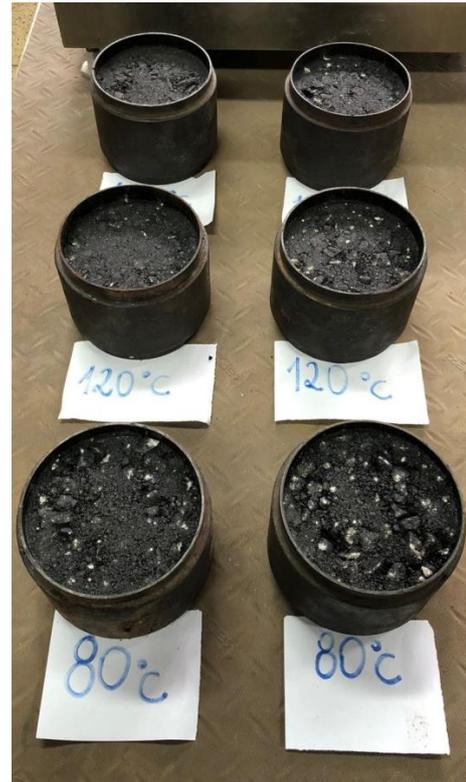
As amostras foram moldadas em temperaturas de 80°C, 120°C, 180°C e 200°C, e, posteriormente, foram compactadas com energia específica para uma densidade de alto tráfego de veículos. A variação temperatura de compactação foi adotada para se observar possíveis variações de densidade da massa relacionada à temperatura, de acordo com a Figura 8.

Feita a compactação, os moldes de aço dos corpos de prova foram removidos após 1 dia, sem danificar a amostragem. O objetivo desse ensaio foi a obtenção do volume de cada CP, para posterior análise com base na temperatura de compactação.



**Figura 7 - Prensa mecânica (aparelhagem Marshall).**

**Fonte: Arquivo pessoal.**



**Figura 8 - Corpos de prova moldados e compactados na aparelhagem Marshall, de acordo com suas respectivas temperaturas de aquecimento nas estufas.**

**Fonte: Arquivo pessoal.**

### **3.2 Ensaio de Determinação do Teor de Betume e Ensaio de Granulometria**

Foi realizado o ensaio de determinação do teor de betume em parte do material amostrado em campo, conforme a norma DNER – ME 053/94 (DNER, 1994). O processo de ensaio é representado na Figura 9. Após a extração, foi realizada a análise granulométrica do agregado, conforme NBR NM 248/2003 (ABNT-NBR-NM-248, 2003). Este visa avaliar o enquadramento da granulometria dos agregados da mistura asfáltica em umas das faixas granulométricas do DNIT, aplicadas para essa finalidade, conforme apresentado na Tabela 2. A Figura 10 apresenta o aspecto do material após o processo de extração do betume com solvente antes de ser submetido à granulometria. De acordo com análise petrográfica, trata-se de uma brita de gnaiss.



**Figura 9 – Esquema de instalação dos equipamentos para realizar ensaio, utilizando o aparelho Rotarex. Fonte: Arquivo pessoal.**



**Figura 10 – Material resultante do processo de extração de betume da massa asfáltica com aparelhagem adequada. Fonte: Arquivo pessoal.**

A fim de obter o resultado do procedimento de determinação do teor de betume, foi utilizada a Equação 1. Nela, é obtida a massa de betume em porcentagem.

$$\% \text{ betume} = \frac{(B - D) - (C - A)}{B} \times 100 \quad (1)$$

Onde,

A: massa do filtro de papel, expresso em gramas (g)

B: massa da amostra inserida no Rotarex, expressa em gramas (g)

C: massa do filtro de papel + agregado após extração, expressa em gramas (g)

D: massa de agregado limpo após extração de betume, expressa em gramas (g)

De acordo com os dados da usina onde a mistura foi processada, o ligante adotado na massa asfáltica foi o CAP 50/70. Este, com base na norma DNIT 095/2006 (DNIT, 2006), possui as características apresentadas na Tabela 4.

Características	Unidades	Limites CAP 50/70
Penetração (100 g, 5s, 25°C)	0,1mm	50 – 70
Ponto de amolecimento, mín.	°C	46
Viscosidade Saybolt Furol		
a 135 °C, mín.	s	141
a 150 °C, mín.		50
a 177 °C		30 – 150
Viscosidade Brookfield		
a 135°C, SP 21, 20 rpm, mín.	cP	274
a 150 °C, SP 21, mín.		112
a 177 °C, SP 21		57 – 285
Índice de susceptibilidade térmica		(1,5) a (+0,7)
Ponto de fulgor, mín.	°C	235
Solubilidade em tricloroetileno, mín.	% massa	99,5

Características	Unidades	Limites CAP 50/70
Ductilidade a 25° C, mín.	cm	60
Efeito do calor e do ar (RTFOT) a 163 °C, 85 min		
Varição em massa, máx.	% massa	0,5
Ductilidade a 25° C, mín.	cm	20
Aumento do ponto de amolecimento, máx.	°C	8
Penetração retida, mín.	%	55

**Tabela 4 - Especificações dos Cimentos Asfálticos de Petróleo (CAP) -  
Classificação por penetração. Fonte: Adaptado de DNIT (2006).**

## 4 RESULTADOS

Este capítulo é destinado à apresentação dos resultados obtidos no estudo das amostras de massa asfáltica retiradas de uma obra no município de Barra Longa/MG.

### 4.1 Curva densidade x temperatura de compactação

A amostragem de campo originou-se de caminhões basculantes carregados com massa asfáltica pronta para aplicação. As temperaturas estão explícitas na Tabela 5.

Caminhão	1	2	3
Temperatura de mistura da amostra no transporte (°C)	156,9	162,5	162,0

**Tabela 5 – Temperatura da amostragem de campo por caminhão. Fonte: Elaboração própria.**

A partir da análise de viscosidade apresentada na ficha técnica da empresa fabricante (Anexo A), a temperatura de mistura do material é de 160°C, já a de compactação é de 145°C. Considerando que as temperaturas apresentadas na Tabela 5 foram aferidas com o material dentro dos caminhões e que, além disso, o material percorreu 192 km de distância entre as cidades de produção (Belo Horizonte/MG) e de aplicação (Barra Longa/MG), pôde-se concluir que a temperatura de compactação é aceitável com uma margem de erro para cima. Pois, ao manusear o material, os valores tendem a cair.

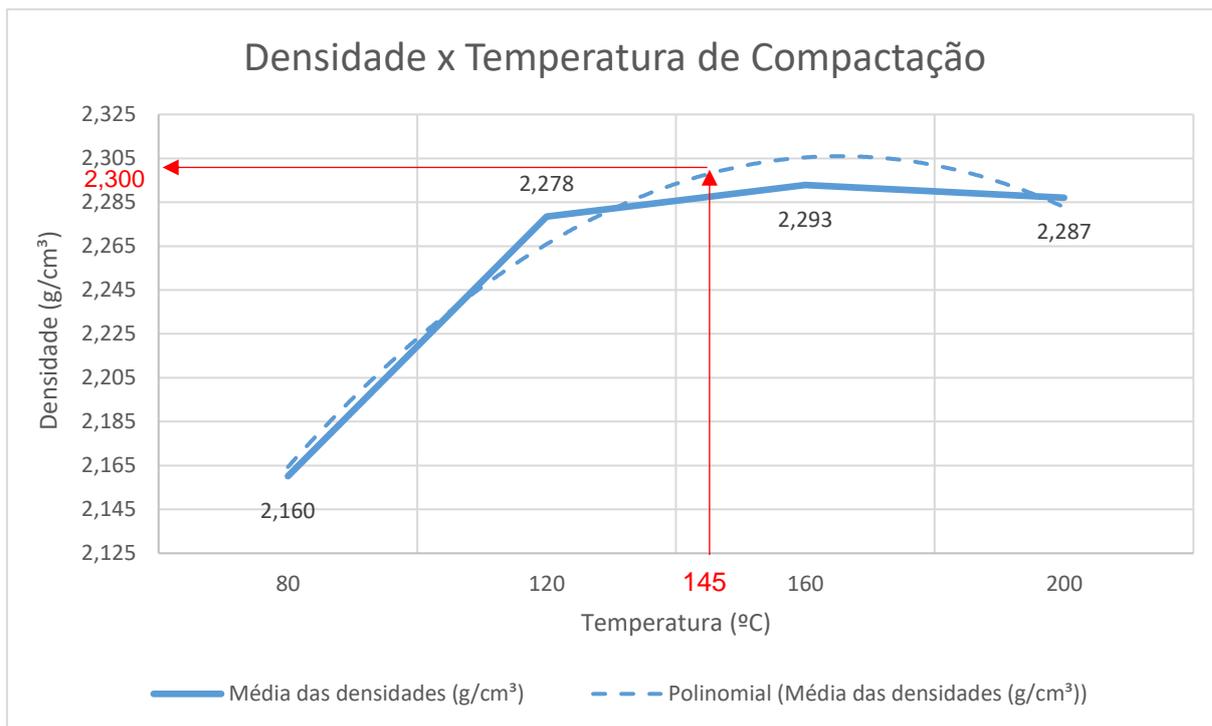
Por meio do ensaio de compactação, utilizando da aparelhagem Marshall, são apresentadas as temperaturas que caracterizam as amostras de campo, assim como, dos corpos de prova moldados em laboratório. Para obtenção do Gráfico 2, foi realizada a média aritmética da densidade dos corpos de prova de mesma temperatura de compactação. A fim de se obter maior precisão nos resultados, associou-se 2 amostras de cada temperatura, totalizando 8 corpos de prova. Os dados que compõem a curva estão apresentados na Tabela 6.

Temp. de compactação (°C)	Diâmetro médio (cm)	Altura média (cm)	Massa (g)	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
80	10,177	6,803	1195,165	2,160
120	10,176	6,455	1196,090	2,278
160	10,187	6,383	1192,670	2,293
200	10,153	6,438	1191,785	2,287

**Tabela 6 - Medidas retiradas dos CP's após compactação Marshall. Fonte: Elaboração própria.**

A curva exibida no Gráfico 2 representa a relação entre a temperatura de compactação e a densidade da massa asfáltica compactada. O principal objetivo é verificar a equivalência entre a temperatura ótima de compactação informada pela usina que, nesse caso, é 145°C *versus* temperaturas simuladas no laboratório. Dessa forma, para a temperatura de compactação de 145°C, a densidade da massa asfáltica da curva varia em torno de 2,3g/cm<sup>3</sup>, o que indica não equivalência com a densidade ótima da mistura, informada pela ficha técnica do Anexo A (2,6g/cm<sup>3</sup>).

Essa curva de compactação é um dos parâmetros analisados para obtenção de boa qualidade do pavimento, pois existe um limite de temperatura para compactação do material, visto que a curva obtida começa a decair depois de atingir certo valor. Ou seja, é necessário ter conhecimento de qual é a temperatura ótima para que sejam obtidos resultados satisfatórios.



**Gráfico 2 - Curva de compactação do material de estudo. Fonte: Elaboração própria.**

#### 4.2 Percentagem de teor de betume

Com base na metodologia descrita no Capítulo anterior deste estudo, e utilizando a Equação 1, os valores obtidos estão na Tabela 7.

A (g)	B (g)	C (g)	D (g)
11,7	1199,85	12,41	1136,37

**Tabela 7 – Valores obtidos em laboratório**

Portanto,

$$\% \text{ betume} = \frac{(1199,85 - 1136,37) - (12,41 - 11,7)}{(1199,85)} \times 100 \quad (1)$$

$$\% \text{ betume} = 5,23$$

De acordo com a ficha técnica do material (Anexo A), a porcentagem de betume utilizada na produção foi de 4,8%. Já a encontrada neste estudo indica que há um teor de betume acima do teor de projeto. Tal problema, além da possibilidade de causar o

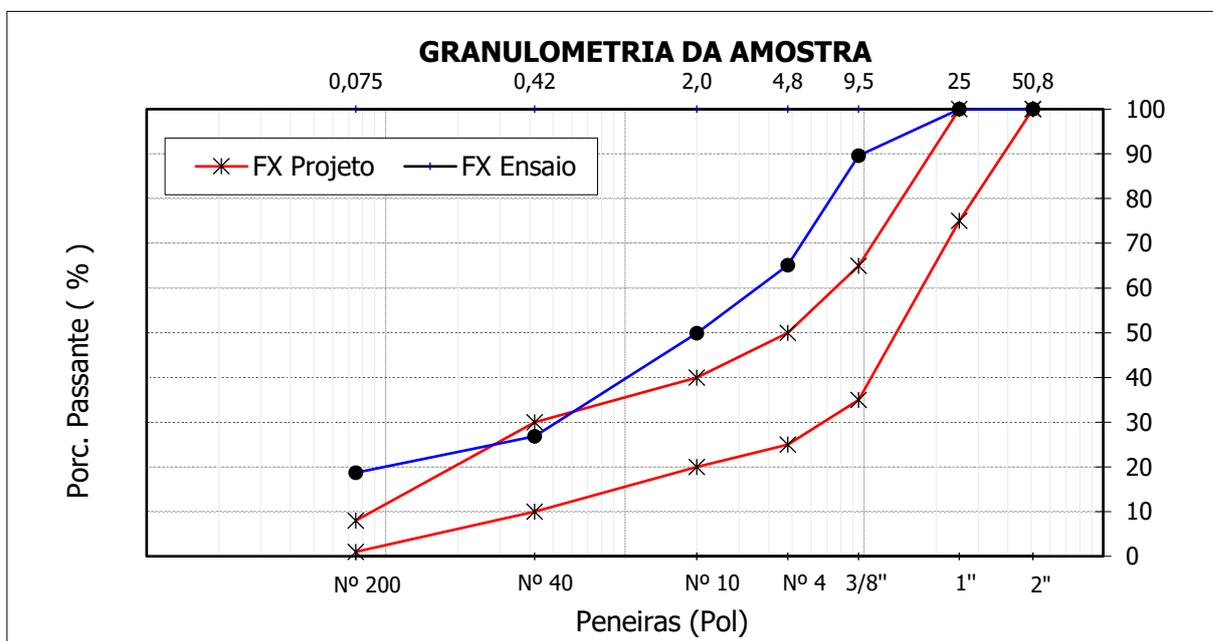
fenômeno de exsudação do excesso de ligante, faz com que a mistura fique mais onerosa, pois o CAP é o componente de maior valor da massa asfáltica. Caso a porcentagem de betume (ligante) seja menor do que o necessário, a qualidade do resultado será comprometida com maiores vazios entre os agregados e, conseqüentemente, perda da resistência final do pavimento.

### **4.3 Faixa granulométrica da massa asfáltica**

De acordo com a análise granulométrica, foi possível determinar a faixa do DNIT que se enquadra melhor nos resultados obtidos. Dessa forma, através dos limites mínimos e máximos estabelecidos pelo DNIT (DNIT, 2006), o resultado pode ser expresso através dos seguintes gráficos e tabelas. Para análise utilizando os limites da Faixa A (DNIT): Tabela 8 e Gráfico 3 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa A – DNIT; Já para análise comparativa com a Faixa B (DNIT): Tabela 9 e Gráfico 4 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa B – DNIT; e para a Faixa C (DNIT): Tabela 10 - Peneiramento utilizando comparativo da Faixa C – DNIT e Gráfico 5 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa C – DNIT. Podendo concluir, portanto, que a Faixa C representa o melhor enquadramento para a amostra de estudo, validando, portanto, a informação apresentada na ficha técnica pela empresa. Ou seja, o projeto e a execução do pavimento estão equivalentes.

Peneira (pol)	Peneira (mm)	Peso Material Retido (kg)	Peso Material Passando	% Passando	Faixa DER (Mín)	Faixa DER (Máx)
2"	50,8	0	1,1	100	100	100
1"	25	0	1,1	100	75	100
3/8"	9,5	0,116	1	89,6	35	65
Nº 4	4,8	0,274	0,7	65,1	25	50
Nº 10	2	0,17	0,6	49,9	20	40
Nº 40	0,42	0,258	0,3	26,8	10	30
Nº 200	0,075	0,091	0,2	18,7	1	8
	<b>FUNDO</b>	0,031	0,2	0		

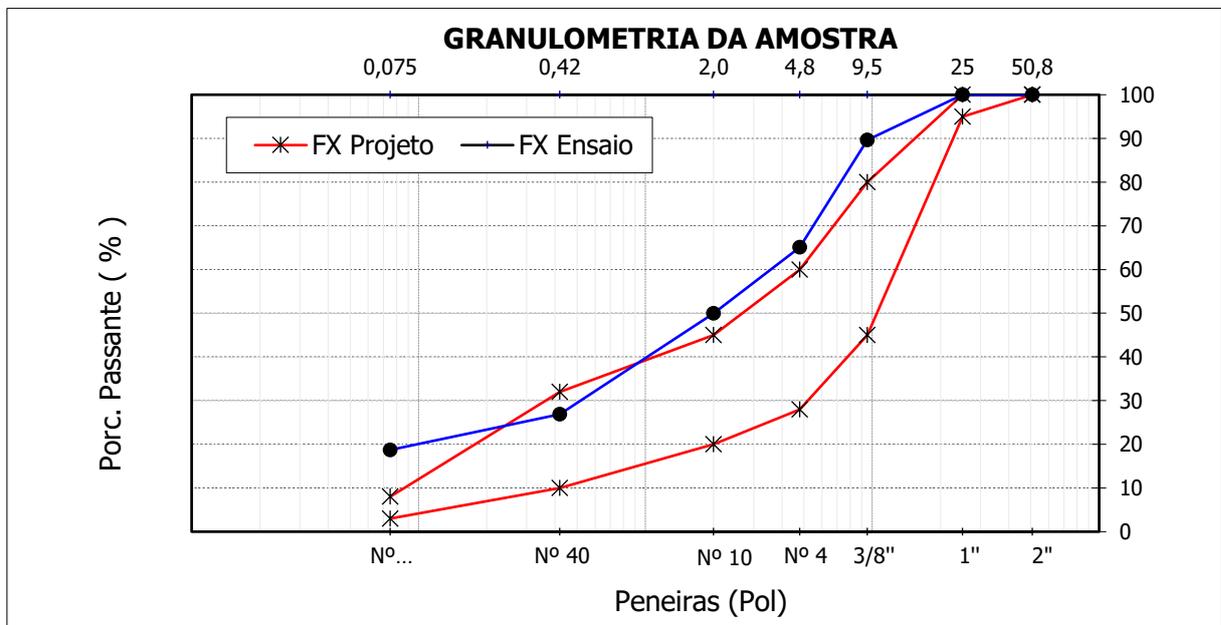
**Tabela 8 – Peneiramento utilizando comparativo da Faixa A – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**



**Gráfico 3 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa A – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**

Peneira (pol)	Peneira (mm)	Peso Material Retido (kg)	Peso Material Passando	% Passando	Faixa DER (Mín)	Faixa DER (Máx)
2"	50,8	0	1,1	100	100	100
1"	25	0	1,1	100	95	100
3/8"	9,5	0,116	1	89,6	45	80
Nº 4	4,8	0,274	0,7	65,1	28	60
Nº 10	2	0,17	0,6	49,9	20	45
Nº 40	0,42	0,258	0,3	26,8	10	32
Nº 200	0,075	0,091	0,2	18,7	3	8
	<b>FUNDO</b>	0,031	0,2	0		

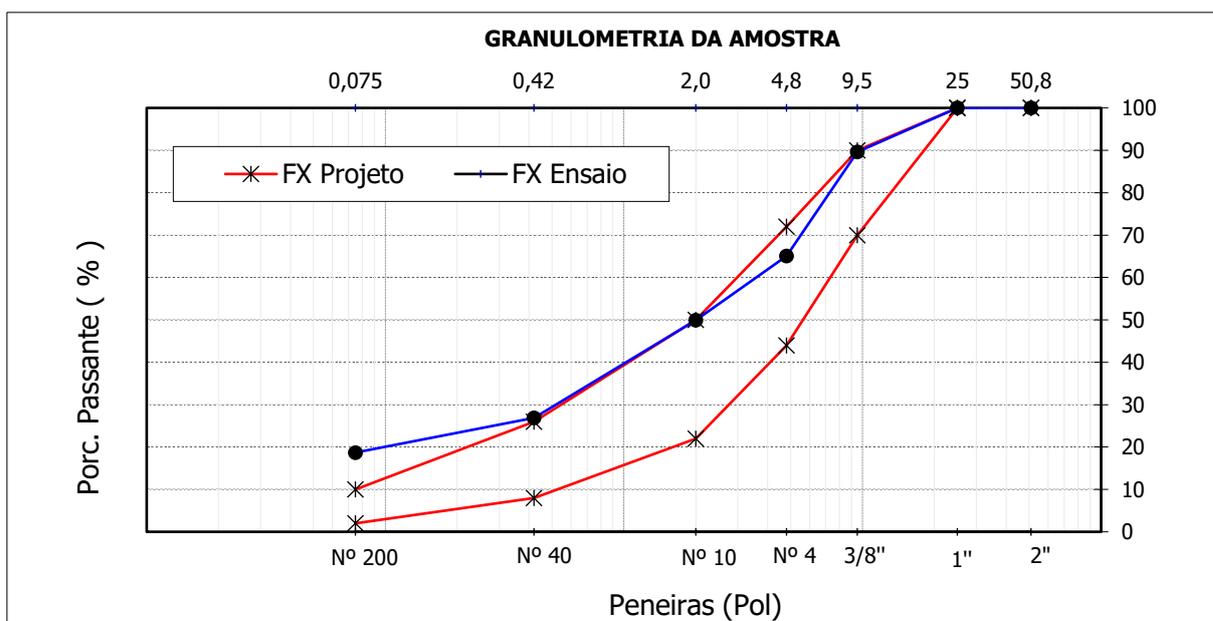
**Tabela 9 - Peneiramento utilizando comparativo da Faixa B – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**



**Gráfico 4 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa B – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**

Peneira (pol)	Peneira (mm)	Peso Material Retido (kg)	Peso Material Passando	% Passando	Faixa DER (Mín)	Faixa DER (Máx)
2"	50,8	0	1,1	100	100	100
1"	25	0	1,1	100	100	100
3/8"	9,5	0,116	1	89,6	70	90
Nº 4	4,8	0,274	0,7	65,1	44	72
Nº 10	2	0,17	0,6	49,9	22	50
Nº 40	0,42	0,258	0,3	26,8	8	26
Nº 200	0,075	0,091	0,2	18,7	2	10
	<b>FUNDO</b>	0,031	0,2	0		

**Tabela 10 - Peneiramento utilizando comparativo da Faixa C – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**



**Gráfico 5 - Granulometria da amostra utilizando comparativo da Faixa C – DNIT. Fonte: Elaboração própria.**

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo o estudo sobre a influência da temperatura de compactação de misturas asfálticas em relação ao seu desempenho, verificando as propriedades mecânicas e volumétricas de uma amostra de campo, aplicando energia de compactação de 75 golpes por face, em quatro temperaturas diferentes de 80°C, 120°C, 160°C e 200°C.

Dessa forma, o estudo possibilitou simular obras de pavimentação com compactação fora da temperatura ideal, analisando assim o impacto causado na vida útil do pavimento.

Pode-se, então, concluir que as propriedades volumétricas e mecânicas das misturas sofrem incidência direta da temperatura de compactação. A compactação da mistura na temperatura ideal definida pelo ensaio de viscosidade do ligante, utilizando-se do viscosímetro *Brookfield*, proporciona uma melhor compactação da mistura. Assim, há aumento no valor da densidade, do grau de compactação e conseqüentemente, redução do seu volume de vazios, o que resulta em maior resistência à tração e, conseqüentemente, maior vida útil do pavimento.

Com os resultados obtidos em laboratório pôde-se chegar a uma série de conclusões e sugestões para futuros trabalhos que deem seqüência ao presente estudo:

- 1) A temperatura que os caminhões de massa asfáltica chegaram na obra estão dentro da temperatura ótima de compactação obtidas em ensaio de laboratório para se obter melhor densidade e, conseqüentemente, melhor qualidade do pavimento.
- 2) Existe um limite de temperatura para compactação do material, visto que em determinado momento a densidade da massa asfáltica começa a subir devido ao acréscimo de temperatura, vindo a decair pelo mesmo motivo, já que com o aumento da temperatura, há um decréscimo na viscosidade do ligante, ocasionando um processo de exsudação do concreto betuminoso. Portanto, é necessário ter conhecimento de qual é a temperatura ótima para que sejam obtidos resultados satisfatórios.

- 3) Através do ensaio de determinação do teor de betume, foi possível verificar que a porcentagem de ligante da massa asfáltica utilizada neste estudo está acima da indicada no projeto, de acordo com a ficha técnica (Anexo A). Essa incoerência, além da possibilidade de causar o fenômeno de exsudação do excesso de ligante, faz com que o valor final da mistura seja mais custoso, pois o CAP é o componente de maior valor da massa asfáltica.
- 4) Obtendo-se a faixa granulométrica da mistura, comprovou-se em qual faixa do DNIT a massa se enquadra (faixa C) e a quais parâmetros essa faixa deve seguir. De acordo com a NORMA DNIT 031/2006 – ES, as tolerâncias de camada de rolamento são atendidas.
- 5) A vida útil do pavimento está diretamente ligada à correta execução da aplicação do material, respeitando as temperaturas de compactação da camada de revestimento, uma vez que misturas compactadas em temperaturas inferiores às adequadas influenciam no decréscimo acentuado da vida útil do pavimento. Da mesma forma, considerando o excesso de ligante apresentado nos ensaios, pode-se considerar que haverá exsudação e fadiga do material, com possibilidade de surgimento e desenvolvimento precoce de trilhas de roda, comprometendo a perspectiva de vida útil deste pavimento.

Para o desenvolvimento de futuros trabalhos que deem continuidade ao presente estudo sugere-se o controle tecnológico de camadas de pavimento com câmera termográfica, pois diante dessa tecnologia pode-se realizar o controle tecnológico em tempo real de aplicação da massa e ter a garantia de que a temperatura de aplicação é a ideal.

## 6 REFERÊNCIAS

ABNT-NBR-NM-248. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.I.]. 2003.

ASTM-D1559. **Test Method for Resistance of Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus**. American Society for Testing and Materials. [S.I.]. 1989.

BALBO, José T. **Pavimentação Asfáltica: materiais, projeto e restauração**. São Paulo. 2007.

BERNUCCI. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro. 2008.

CERATTI, Jorge A. P. **Estudo de misturas asfálticas “mornas”**. Porto Alegre. 2007.

CNT. Pesquisa CNT de Rodovias. **Pesquisa CNT de Rodovias**, 2021. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br>>.

DNER-EM-035. **Peneiras de malhas quadradas para análise granulométricas de solos**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro. 1995.

DNER-ME-043. **Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro. 1995.

DNER-ME-053. **Misturas betuminosas - percentagem de betume**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Rio de Janeiro. 1994.

DNIT-005-TER. **Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Terminologia**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2003.

DNIT-EM-095. **Cimentos asfálticos de petróleo - Especificação de material**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2006.

DNIT-ES-031. **Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro. 2006.

GRAVE, Lucas E. **Efeito da temperatura de compactação nas propriedades mecânicas de misturas asfálticas**. Centro Universitário Univates. Lajeado. 2016.

INSTITUTE, Asphalt. **The Asphalt Handbook**. [S.l.]. 1989.

LEHNEN, Gabriela. **Estudo sobre a compactação de misturas asfálticas em diferentes temperaturas**. Centro Universitário Univates. Lajeado. 2015.

MELÉNDEZ, A. S. **Efectos de la temperatura de compactación en la resistencia al flujo plástico**. Unidad de Investigacion Y Desarrollo Vial, Ministerio de Obras Publicas, Transporte, Vivienda Y Desarrollo Urbano. San Salvador, Republica de El Salvador. 2001.

PINTO, Salomão. **Pavimentação rodoviária: conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. Rio de Janeiro. 2010.

SILVA, Rodolfo G. O. D. **Estudo Laboratorial do Desempenho Mecânico de Misturas Asfálticas com Resíduos Industriais de Minério de Ferro**. Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto. 2010.

# Anexo A

## PROJETO FAIXA "C" DNER

ASSUNTO: <u>DOSAGEM C.B.U.O</u>	Tipo: <u>CAPA</u>	Data
Lote: <u>USINA</u>	Faixa: <u>FAIXA "C"</u>	<u>01/10/2020</u>
Orgão: <u>DNER</u>	Orgão: <u>DNER</u>	

ESPECIFICAÇÃO: DNER-ES 313/97  
LABORATORISTA:

### 1 - MATERIAIS UTILIZADOS

BRITA 1

PEDREIRA MARTINS LANA

BRITA 0

PEDREIRA MARTINS LANA

PÓ DE PEDRA

PEDREIRA MARTINS LANA

CAP - 50/70

PETROBRAS BETUMG.

### 2 - GRANULOMETRIA DOS MATERIAIS

PENEIRA	BRITA 1	BRITA 0	PO	CAL
3/4"	0	100	100	0
1/2"	0,00	99,26	100	0
3/8"	0,00	73,11	100	0
4	0,00	9,59	99,89	0
10	0,00	1,93	76,60	0
40	0,00	1,45	43,04	0
80	0,00	1,25	26,18	0
200	0,00	0,85	11,94	0

### 3 - COMPOSIÇÃO DA MISTURA DOS AGREGADOS

%	0		40		60		0		MISTURA				
	BRITA 1		BRITA 0		PO DE PEDRA		CAL CHI		MIST	ESPECIFICADA			
3/4"	0	0,00	100	40,0	100,00	60	60,00	0	0	0	100,00	100	100
1/2"	0,00	0,00	99,26	40	39,7	100,00	60	60,00	0	0	99,70	85	100
3/8"	0,00	0,00	73,11	40	29,2	100,00	60	60,00	0	0	89,25	75	100
4	0,00	0,00	9,59	40	3,8	99,89	60	59,93	0	0	63,77	50	85
10	0,00	0,00	1,93	40	0,8	76,60	60	45,96	0	0	46,73	30	75
40	0,00	0,00	1,45	40	0,6	43,04	60	25,82	0	0	26,40	15	40
80	0,00	0,00	1,25	40	0,5	26,18	60	15,71	0,00	0	16,21	8	30
200	0,00	0,00	0,85	40	0,3	11,94	60	7,17	0,00	0	7,51	5	10

### 4 - RESULTADOS DO ENSAIO MARSHALL (Compactados a 75 golpes face)

CARACTERÍSTICAS	MOLD. TEOR OT.	TEOR DA MOLDAGEM MARSHALL					RESULTADOS GRAFICOS
		3,8%	4,3%	4,8%	5,3%	5,8%	
DENS. APAR. Kg/dm <sup>3</sup>		2341	2353	2361	2380	2372	4,80%
DENS. TEORICA Kg/dm <sup>3</sup>		2476	2457	2439	2421	2403	2361
INDICE DE VAZIOS %		5,43	4,24	3,19	1,70	1,28	2439
R.B.V. %		61,99	70,38	77,96	88,09	91,45	3,19
ESTABILIDADE Kg		981,27	1018,90	1133,28	1128,94	1157,43	77,96
FLUENCIA 1 <sup>o</sup> /32		2,8	3,1	3,5	3,7	3,8	1133,28
V. A.M.		14,3	14,3	14,5	14,2	15,0	3,2
RELAÇÃO FILLER - BETUME				1,56			14,4

### 5 - MISTURA FINAL DOS MATERIAIS:

FAIXA TRABALHO		
3/4"	#####	100,00
1/2"	93,00	100,00
3/8"	82,00	96,00
4	59,00	69,00
10	42,00	52,00
40	21,00	31,00
80	13,00	19,00
200	5,00	10,00

AMOSTRAS	% EM PESO	% EM VOLUME
BRITA 1	0	0,00
BRITA 0	40	38,08
PÓ DE PEDRA	60	57,12
CAL	0	0,00
CAP - 50/70	4,80	4,80
TOTAL		100,00

TEOR: 4,8%

### 6 - DENSIDADE TEORICA

3,8%	2476
4,3%	2457
4,8%	2439
5,3%	2421
5,8%	2403

### 7 - VISCOSIDADE x TEMPERATURA

TEMPERATURA DO AGREGADO =	150°C	DENSIDADE CAP = 1,007
TEMPERATURA DO CAP 50/70	160°C	DENSIDADE MISTURA = 2,627
TEMPERATURA DE MISTURA =	160°C	
TEMPERATURA DE COMPACTAÇÃO =	145°C	

# Anexo B

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <b>ENSAIO MARSHALL</b>  <b>DNER-ME 043/94</b> </div>														
OBRA		TRECHO				USINA				LIGANTE		TEMPERATURA		
MATERIAL		FAIXA		LABORATORISTA		Encargado da Usina		CAP 50/70		DATA				
		C						CAP 50/70		25/11/2021				
amostra	N° CP	PESO DO CORPO DE PROVA (g)						VOLUME CORPO DE PROVA (cm³)			DENSIDADE APARENTE C. PROVA	TEOR DE BETUME		
		SEM PARAFINA		COM PARAFINA				COM PARAF.	DA PARAF.	SEM PARAF.		PESO INICIAL	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2
		AD AR	IMERSO	AD AR	DA PARAF.	IMERSO					PESO FINAL			
amostra 1		01	1202,33	690,46					511,87	2,349		888,05		
		02	1200,72	690,37					510,35	2,353				
		03												
		média	1201,53	690,42					511,11	2,351	845,10			
amostra 2		04									BETUME	42,95	-	
		05									% BETUME			
		06										4,84%	4,84%	
		média												
amostra	N° CP	D.TEORICA	ESTABILIDADE LIDA	FATOR PRENSA	FATOR CP	ESTABILIDADE	VAZIOS	V.C.B.	V.A.M.	R.B.V.	FLUENCIA (mm)			
											L. INICIAL	L. FINAL	RESULTADO	
amostra 1		01	2,437	508,0	1,972	1,01	1009,70	3,63	11,28	14,91	75,66	3,15	6,00	2,85
		02	2,437	505,0	1,972	1,01	1008,64	3,47	11,30	14,77	76,50	2,99	5,79	2,80
		03												
		média	2,437	506,5	-	-	1009,17	3,55	11,29	14,84	76,08	-	-	2,83
amostra 2		04												
		05												
		06												
		média												
PENEIRA		GRANULOMETRIAS APÓS A EXTRAÇÃO								FAIXA				
N°	mm	AMOSTRA 1				AMOSTRA 2				TRABALHO		ESPECIFICAÇÃO		
		PESO (g)	Porcentagem de amostra total	Porcentagem acumulada	Porc. que passa de amostra total	PESO (g)	Porcentagem de amostra total	Porcentagem acumulada	Porc. que passa de amostra total	MÍN.	MÁX.	MÍN.	MÁX.	
2"	50,80													
1 1/2"	38,10													
1"	25,40													
3/4"	19,10													
1/2"	12,70	7,98	0,95	0,95	99,05					93,00	100,00	85,00	100,00	
3/8"	9,52	95,23	11,28	12,22	87,78					82,00	96,00	75,00	100,00	
1/4"	6,38													
N°4	4,76	212,80	25,20	37,43	62,57					59,00	69,00	50,00	85,00	
N°8	2,38													
N°10	2,00	128,89	15,27	52,69	47,31					42,00	52,00	30,00	75,00	
N°16	1,19													
N°20	0,80													
N°30	0,59													
N°40	0,42	171,93	20,36	73,06	26,94					21,00	31,00	15,00	40,00	
N°50	0,30													
N°80	0,18	86,82	10,28	83,34	16,66					13,00	19,00	8,00	30,00	
N°100	0,15													
N°200	0,07	81,27	9,63	92,96	7,04					5,00	10,00	5,00	10,00	
FUNDO														
TOTAL		844,32				0,00								

**LEGENDAS:**

- ▲ AMOSTRA 1
- ◆ AMOSTRA 2
- FAIXA DE TRABALHO
- ▣ FAIXA ESPECIFICAÇÃO

Responsável: \_\_\_\_\_  
Fiscalização: \_\_\_\_\_

**OBSERVAÇÕES:**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_