



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

BRENO AIRES MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE MANUAIS DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS
PARA ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: UMA ABORDAGEM
METODOLÓGICA PARA PADRONIZAÇÃO E EFICIÊNCIA**

PALMAS

2024

BRENO AIRES MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE MANUAIS DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS
PARA ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: UMA ABORDAGEM
METODOLÓGICA PARA PADRONIZAÇÃO E EFICIÊNCIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção do título
de Bacharel no Curso Superior de Engenheiro
Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

PALMAS

2024

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

A298d Aires Monteiro, Breno
 DESENVOLVIMENTO DE MANUAIS DE PROCEDIMENTOS
 LABORATORIAIS PARA ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO
 ASFÁLTICA : UMA ABORDAGEM METODOLÓGICA PARA
 PADRONIZAÇÃO E EFICIÊNCIA / Breno Aires Monteiro. – PALMAS,
 TO, 2024.
 328 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Campus
Palmas, PALMAS, TO, 2024.

Orientador: Me. Rodrigo Araújo Fortes

1. Pavimentação. 2. Ensaios Laboratoriais. 3. Manuais de procedimentos.
I. Araújo Fortes, Rodrigo. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

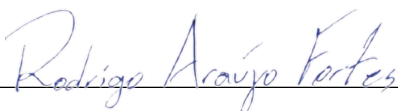
BRENO AIRES MONTEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE MANUAIS DE PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS
PARA ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO ASFÁLTICA: UMA ABORDAGEM
METODOLÓGICA PARA PADRONIZAÇÃO E EFICIÊNCIA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do curso de Engenharia Civil Instituto
Federal do Tocantins - Campus Palmas, como exigência
à obtenção do grau em Engenheiro Civil.

Aprovado em: __03__ / __07__ / 2024__

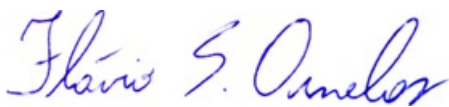
BANCA AVALIADORA



Prof. Me. Rodrigo Araujo Fortes
Orientador



Prof. Dr. Thiago Dias Araújo e Silva



Prof. Dr. Flávio da Silva Ornelas

Dedico este trabalho à Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

A elaboração deste Trabalho de Conclusão de Curso é resultado de muito esforço e dedicação, e, por isso, sou grato à Deus por me dar forças para conseguir concluí-lo. Sem ele e sua misericórdia ao meu lado nos momentos difíceis eu jamais teria chegado até aqui.

Agradeço à minha família, especialmente meus pais, Joanne e Márcia, pelos conselhos, por toda dedicação, amor, renúncias e motivações investidos para que eu pudesse ter condições de lutar para realizar meus sonhos.

As minhas irmãs, Geovanna e Júlia, por me fazerem querer ser o melhor todos os dias, e que eu possa ser um exemplo que de inspiração para elas.

Quero agradecer ao meu orientador, Professor Me. Rodrigo Araújo Fortes, agradeço profundamente por sua paciência, orientações e conselhos cruciais empregados na realização deste trabalho.

Agradeço à minha equipe de trabalho, Prof. Dr. Thiago Dias Araújo e Silva, Leonídio Rodrigo, e Nicole Cordeiro. Ao Prof. Thiago, quero agradecer pelas orientações e conselhos tanto profissionais quanto de vida que me inspiraram nas tomadas de decisões acerca deste trabalho. Aos meus colegas de equipe, Leonídio e Nicole, agradeço imensamente pelo auxílio nas execuções dos ensaios que embasaram este trabalho.

Por fim, aos meus amigos que adquiri no decorrer deste curso, os quais compartilharam comigo vitórias e desafios (muitos desafios por sinal), mas que com muita força de vontade e apoio mútuo me ajudaram a vencer e conquistar.

“Em tudo, dai graças, porque esta é a vontade de Deus em Cristo Jesus
para convosco.” (1 Ts 5: 18)

RESUMO

Tendo em vista que, no âmbito da construção civil, especialmente na pavimentação asfáltica, o solo assume um papel crítico na infraestrutura viária, essencial para o desenvolvimento econômico e social, destaca-se a importância da qualidade e durabilidade dos pavimentos asfálticos na seleção adequada de materiais, execução correta de técnicas construtivas e precisão nos ensaios laboratoriais. O presente estudo visa contribuir para a continuidade e aprimoramento dos ensaios laboratoriais no laboratório de pavimentação do IFTO, Campus Palmas por meio da criação de manuais usados como roteiros em ensaios de pavimentação, ajudando a apoiar tecnicamente uma formação acadêmica de excelência dos estudantes para os desafios profissionais. Observa-se que a atualização e padronização de roteiros para laboratórios pode impactar positivamente a qualidade das aulas práticas, facilitando a aplicação prática de conceitos teóricos. Isso ajudará a manter a consistência e precisão nos resultados dos ensaios. Deste modo, foram elaborados manuais de ensaios de pavimentação que contribuem para o aprendizado dos estudantes de engenharia civil do IFTO.

Palavras-chave: Pavimentação. Ensaios laboratoriais. Manuais de procedimentos. Qualidade de materiais.

ABSTRACT

Considering that, in the context of civil construction, especially in asphalt paving, soil plays a critical role in road infrastructure, essential for economic and social development, the importance of the quality and durability of asphalt pavements in the appropriate selection of materials, correct execution of construction techniques and precision in laboratory tests. This study aims to contribute to the continuity and improvement of laboratory tests in the IFTO paving laboratory, Palmas Campus through the creation of manuals used as roadmaps in paving tests, helping to technically support excellent academic training for students to face the challenges professionals. It is observed that updating and standardizing itineraries for laboratories can positively impact the quality of practical classes, facilitating the practical application of theoretical concepts. This will help maintain consistency and accuracy in assay results. In this way, paving test manuals were created that contribute to the learning of civil engineering students at IFTO.



Keywords: Paving. Laboratory tests. Procedure manuals. Quality of materials.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 – Lista de Ensaio.....	41
--	----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estrutura de pavimentos asfálticos.....	21
Figura 2 – Camadas de um pavimento asfáltico flexível e tensões solicitantes.....	22
Figura 3 - Estrutura de pavimentos rígidos concreto-cimento.....	22
Figura 4 - Disposição de camadas/Revestimento asfáltico em execução.....	26
Fotografias 1 - Repartidor de Amostras.....	32
Fotografias 2 - Peneiras granulométricas.....	32
Fotografia 3 - Amostra de agregado miúdo em picnômetro.....	33
Fotografia 4 - Amostra de agregado graúdo em pesagem hidrostática.....	34
Fotografia 5 - Amostra de massa asfáltica em picnômetro à vácuo.....	34
Figura 5 - Esquema de Extratora Rotativa (Rotarex).....	35
Fotografia 6 - Prensa de ensaio de estabilidade e fluência.....	36
Fotografia 7 - Prensa de ensaio de resistência à tração por compressão diametral.....	37
Figura 6 - Representação de molde utilizado no ensaio de compactação.....	38
Figura 7 – Introdução padrão de um dos manuais.....	47
Figura 8 – Fundamentação Teórica padrão de um dos manuais.....	48
Figura 9 - Objetivo padrão de um dos manuais.....	49
Figura 10 - Procedimento padrão de um dos manuais.....	50
Figura 11 - Metodologia padrão de um dos manuais.....	51
Figura 12 – Atividades e Resultados padrão de um dos manuais.....	52
Figura 13 - Referências padrão de um dos manuais.....	53
Figura 14 – Aula prática sobre ensaio de viscosidade Saybolt – Furol.....	54
Figura 15 – Aula prática Ensaio de Viga Benkelman.....	55

LISTA DE SIGLAS

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
CAP	Cimento Asfáltico de Petróleo
DNER	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
NBR	Norma Brasileira

LISTA DE ACRÔNIMOS

SUPERPAVE Superior Performance Asphalt Pavements

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
1.1	PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2	JUSTIFICATIVA.....	16
1.3	OBJETIVOS.....	17
1.3.1	Objetivo Geral.....	17
1.3.2	Objetivos Específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1	Histórico da Pavimentação.....	18
2.2	O Pavimento do Ponto de Vista Estrutural e Funcional.....	20
2.2.1	Ponto de Vista Estrutural.....	20
2.2.2	Ponto de Vista Funcional.....	23
2.3	Agregados e Ligantes Asfálticos.....	23
2.3.1	Definição de asfalto e tipos.....	23
2.3.2	Cimento Asfáltico de Petróleo.....	24
2.3.3	Agregados.....	25
2.4	Tipos de Camadas e Misturas Asfálticas.....	26
2.4.1	Subleito e Reforço de Subleito.....	27
2.4.2	Sub-base.....	27
2.4.3	Base.....	27
2.4.4	Camada de Revestimento Asfáltico.....	28
2.4.5	Diferentes Métodos de Dosagem de Misturas Asfálticas.....	28
2.4.6	Método Marshall.....	29
2.4.7	Método Superpave.....	29
2.5	Materiais das Camadas dos Pavimentos Asfálticos.....	30
2.5.1	Materiais granulares e solos coesivos.....	30
2.5.2	Geossintéticos.....	31
2.6	Ensaio e Propriedades dos Materiais.....	31
2.6.1	Granulometria.....	31
2.6.2	Massa específica, densidade relativa e absorção de agregados graúdo e miúdos para misturas asfálticas.....	32
2.6.3	Rice Test.....	34
2.6.4	Teor de Ligante por Extratora Rotativa Rotarex e Forno N-CAT.....	35
2.6.5	Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração.....	36
2.6.6	Compactação Marshall.....	37
2.6.7	Ensaio de Compactação Proctor e CBR.....	37
2.6.8	Viscosidade Saybolt Furol.....	38
2.7	O IBRAOP e seus procedimentos.....	39
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	40
3.1	Levantamento Bibliográfico e Revisão de Literatura.....	40
3.2	Levantamento dos ensaios realizados no Laboratório.....	40
3.3	Elaboração dos Manuais de Ensaio de Pavimentação.....	46
3.3.1	Introdução.....	46
3.3.2	Fundamentação Teórica.....	47
3.3.3	Objetivo do Ensaio.....	48
3.3.4	Procedimento Experimental.....	49
3.3.5	Atividade e Apresentação de Resultados.....	51
3.3.6	Referências Bibliográficas.....	52
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	54

4.1	Impacto dos Manuais na Qualidade dos Ensaios.....	54
4.2	Acordo de Cooperação entre IFTO e TCE.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	56
6	REFERÊNCIAS.....	58
	APÊNDICES – MANUAIS DE ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO.....	61
	ANEXOS – PROCEDIMENTOS DE OBRAS RODOVIÁRIAS – IBRAOP.....	240

1 INTRODUÇÃO

Inaugurado em 29 de dezembro de 2008, o Instituto Federal do Tocantins (IFTO) - Campus Palmas tem desempenhado um papel fundamental na promoção da educação técnica e tecnológica no estado do Tocantins. Desde o início, a proposta do campus é ser uma instituição comprometida com a formação qualificada de profissionais, oferecendo cursos nas áreas de Informática, Meio Ambiente e Edificações. Com base nas demandas regionais de desenvolvimento social e qualificatório, os cursos oferecidos pelo IFTO - Campus Palmas, preparam os alunos para atuarem como profissionais transformadores em suas comunidades. A instituição tem sido fundamental na qualificação profissional, preparando os alunos não apenas para o mercado de trabalho, mas também para desempenharem um papel ativo no desenvolvimento sustentável de suas regiões. O campus conta com uma infraestrutura desenvolvida, incluindo laboratórios especialmente projetados para oferecer suporte prático às disciplinas teóricas, a exemplo do Laboratório de Pavimentação, que acompanhado dos demais laboratórios, proporciona experiências práticas indispensáveis à formação acadêmica e profissional. O IFTO - Campus Palmas tem desempenhado um papel vital na promoção da educação de qualidade e no desenvolvimento profissional e tecnológico no Tocantins, consolidando-se como uma referência na região.

Entretanto, no contexto do Laboratório de Pavimentação do IFTO - Campus Palmas, foi identificado um desafio significativo: a ausência de roteiros atualizados para a condução de ensaios de pavimentação asfáltica. Este aspecto tem apresentado desafios à eficácia das aulas práticas, limitando a capacidade dos estudantes de aplicar conhecimentos adquiridos em sala na prática laboratorial. A falta de padronização nos procedimentos pode resultar em variações nos resultados dos ensaios. Portanto, a elaboração de roteiros atualizados e padronizados é necessária para aprimorar a qualidade e a precisão dos ensaios, além de reforçar a credibilidade dos resultados obtidos.

Diante deste contexto, o foco principal deste trabalho está no desenvolvimento de manuais de roteiros e procedimentos laboratoriais para ensaios de pavimentação asfáltica. Manuais estes, que visam estabelecer uma abordagem metodológica para a padronização e eficiência dos ensaios realizados no laboratório, atendendo às exigências contemporâneas da educação e da prática profissional em engenharia.

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver manuais abrangentes que incluem roteiros detalhados e padronizados para a realização de ensaios laboratoriais em pavimentação asfáltica. Espera-se que essa iniciativa possa gerar um mecanismo útil para os usuários do laboratório,

facilitando a colocação de conhecimentos teóricos em prática e promovendo uma formação acadêmica de qualidade para os alunos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

O Laboratório de Pavimentação do IFTO - Campus Palmas não possui roteiros atualizados para a condução de ensaios de pavimentação asfáltica. Este gargalo dificulta na maioria das vezes diretamente a qualidade das aulas práticas ministradas aos estudantes, impedindo sua compreensão e aplicação dos conceitos teóricos na prática. Além disso, a falta de padronização nos procedimentos de ensaio pode gerar resultados inconsistentes e imprecisos, impactando negativamente o desenvolvimento acadêmico e profissional dos alunos de Engenharia Civil e áreas correlatas.

Dessa forma, o problema de pesquisa concentra-se na urgente necessidade de desenvolver roteiros atualizados e padronizados para os ensaios de pavimentação asfáltica no Laboratório de Pavimentação. Esses roteiros são indispensáveis para ajudar a promover a qualidade e confiabilidade dos ensaios, além de melhorar substancialmente a eficácia do processo de aprendizagem dos estudantes e prepará-los adequadamente para os desafios práticos enfrentados na vida profissional.

1.2 JUSTIFICATIVA

A necessidade de trabalhar com solos remonta aos tempos mais antigos, conforme observado por Homero Caputo (2016), que destaca a importância desse material para a sobrevivência humana, tanto em termos de alimentação e moradia quanto para o desenvolvimento social. Na construção civil, o solo desempenha um papel crucial, sendo essencial para o planejamento e execução de projetos.

Na pavimentação asfáltica desempenha um papel crucial na infraestrutura viária, sendo essencial para o desenvolvimento econômico e social de uma região. A qualidade e durabilidade dos pavimentos asfálticos dependem diretamente da adequada seleção de materiais, da correta execução das técnicas construtivas e da precisão dos ensaios laboratoriais realizados para avaliar as propriedades dos materiais utilizados. No contexto do Laboratório de Pavimentação do IFTO - Campus Palmas, é imprescindível garantir que os ensaios realizados sejam conduzidos de forma eficaz e confiável, a fim de proporcionar aos estudantes uma formação

acadêmica de excelência e prepará-los adequadamente para os desafios enfrentados na prática profissional.

Nesse contexto, a elaboração de manuais com roteiros de ensaios atualizados e padronizados é de suma importância para suprir essa lacuna no Laboratório de Pavimentação do IFTO - Campus Palmas. Tais manuais não apenas proporcionará aos estudantes um guia prático e de fácil consulta para a realização dos ensaios, mas também contribuirá para o aprimoramento da qualidade, confiabilidade e precisão dos resultados obtidos. Além disso, a padronização dos procedimentos de ensaio facilitará a compreensão e interpretação dos resultados, promovendo uma formação mais sólida e completa dos futuros profissionais da área de Engenharia Civil.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver manuais abrangentes que incluam roteiros detalhados e padronizados para a realização de ensaios laboratoriais em pavimentação. Estes manuais visam fornecer uma ferramenta completa e acessível para profissionais, pesquisadores e estudantes que realizam e interpretam ensaios em laboratórios de pavimentação. Ao desenvolver esses manuais, busca-se preencher uma lacuna na documentação e na padronização dos procedimentos de ensaio, promovendo a consistência e a qualidade dos resultados obtidos. Além disso, o objetivo é facilitar a compreensão e a comunicação dos dados gerados pelos ensaios, contribuindo para uma melhor tomada de decisão no projeto, construção e manutenção de pavimentos asfálticos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar um levantamento abrangente e crítico da literatura científica e técnica relacionada aos ensaios de pavimentação asfáltica, visando compreender as metodologias, normas e melhores práticas adotadas na área.
- Analisar os ensaios atualmente realizados no Laboratório de Pavimentação do IFTO Campus Palmas, identificando sua relevância, aplicabilidade e alinhamento com as demandas educacionais e de pesquisa da instituição.

- Desenvolver manuais completos (contendo normas, equipamentos necessários, metodologia de execução do ensaio em si, fórmulas, tabelas, gráficos etc.) e atualizado contendo roteiros detalhados, padronizados e de fácil compreensão para a realização dos ensaios selecionados, considerando os recursos disponíveis e as necessidades específicas do laboratório.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Histórico da Pavimentação

O ato da pavimentação resume-se no processo de encobrir ou revestir um percurso ou superfície com placas, pedra, asfalto, concreto ou outros materiais, com a finalidade de criar uma via de locomoção durável e confortável. Historicamente, estradas pavimentadas foram vitais para o desenvolvimento do comércio, da comunicação e da expansão militar, favorecendo o deslocamento de pessoas, bens e informações no decorrer de grandes distâncias.

“Percorrer a história da pavimentação nos remete à própria história da humanidade, passando pelo povoamento dos continentes, conquistas territoriais, intercâmbio comercial, cultural e religioso, urbanização e desenvolvimento. Como os pavimentos, a história também é construída em camadas e, frequentemente, as estradas formam um caminho para examinar o passado, daí serem uma das primeiras buscas dos arqueólogos nas explorações de civilizações antigas” (BERNUCCI; et. al., 2022).

Segundo (ABRAMS, 2013) a história da pavimentação começa por volta de 4000 a.C, onde foram construídas as primeiras estradas pavimentadas com pedras no Império Mesopotâmico, próximo ao período de criação da escrita, que surgiria aproximadamente 500 anos depois, entre 3500 e 3000 a.C. Todavia, segundo (SAUNIER, 1936) somente por volta de 2600 a 2400 a.C., devido a construção das pirâmides foram construídas vias com lajões colocados lado a lado em base com boa capacidade de suporte. Os egípcios umedeciam constantemente as vias com água, óleo ou musgo molhado com o intuito de diminuir o atrito.

Segundo BERNUCCI et. al. (2022) no início do século XIX, com o surgimento de figuras-chaves como John Loudon McAdam e Edgar Purnell Hooley desenvolvendo técnicas durante o período da revolução industrial houveram mudanças expressivas na pavimentação. Técnicas essas que se tornariam alicerce para as práticas contemporâneas de pavimentação. A genialidade do engenheiro escocês John Loudon McAdam (1756-1836) residiu no desenvolvimento do método de construção de estradas que mais tarde recebeu o seu nome:

Macadame. Ele instituiu o sistema no qual as vias eram construídas camada por camada, utilizando pedras quebradas de dimensões variadas para resultar em uma base firme, tornando o transporte terrestre durável e eficaz. O método de McAdam consistia em nivelar cuidadosamente uma base onde pedras de tamanho uniforme eram colocadas e compactadas. Posteriormente, com a utilização de rolos pesados, as camadas de pedra seriam compactadas, formando uma superfície estável, durável, e com um bom escoamento da água. Dessa maneira, houve uma diminuição significativa na quantidade de lama facilitando o deslocamento terrestre.

Como cita Van Dulken, S. (2002), Edgar Purnell Hooley (1860–1942) foi um engenheiro civil inglês creditado com a invenção do asfalto moderno, conhecido como tarmacadam, uma evolução do método de pavimentação desenvolvido por John Loudon McAdam. A história da invenção de Hooley começou em 1901, quando ele passou por uma estrada perto de Nottingham, na Inglaterra, que havia sido acidentalmente selada com escória de alcatrão, observando que esta área estava livre de poeira e tinha uma superfície superior em comparação com outras seções da estrada. Intrigado por essa observação, Hooley começou a experimentar misturas de alcatrão e pedra britada para criar uma superfície de estrada mais durável e menos poeirenta. O resultado final foi a obtenção de um método que envolvia espargir alcatrão sobre camadas de pedra britada, seguida pela adição de uma camada de lascas de pedra para criar uma superfície lisa e impermeável. Esta descoberta atingiu grande melhoria em relação às técnicas de pavimentação existentes na época, proporcionando a construção de vias com maior resistência e de fácil manutenção.

Como cita BERNUCCI et. al. (2022), no início do século XX, com a impulsão causada pelo aumento do tráfego de veículos e pela carência de infraestruturas mais robustas, o conhecimento da área da pavimentação testemunhou inovações e desenvolvimentos significativos. Com a aplicação de conceitos fundamentais como preocupação com drenagem, abaulamento, compactação, erosão e demarcação viária, o desenvolvimento de novas técnicas de pavimentação demonstraram empenho constante em melhorar a qualidade e durabilidade das vias. Empenho esse que se estende até os dias atuais.

2.2 O Pavimento do Ponto de Vista Estrutural e Funcional

2.2.1 Ponto de Vista Estrutural

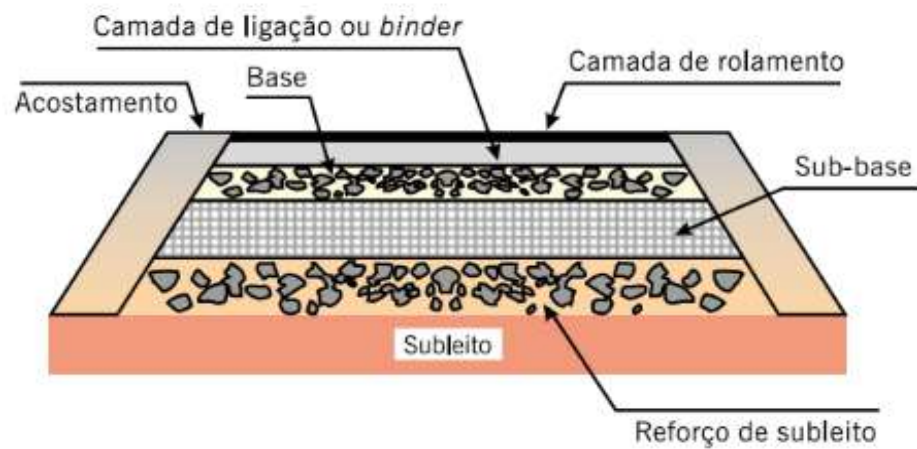
O pavimento é um componente crucial da infraestrutura viária devido à sua exigência, pois deve suportar a carga dos veículos e proporcionar uma estrada confortável para a circulação do tráfego. Estruturalmente, uma via deve ser capaz de suportar cargas de diferentes tipos de veículos. Do ponto de vista funcional, as estradas também devem cumprir requisitos entre os quais facilitam a eficiência, segurança e conforto, minimizando a vibração e ruído veicular durante a viagem. Além disso, a importância das estradas vai além do valor utilitário, impactando no desenvolvimento dos aspectos econômicos e sociais.

“Pavimento é uma estrutura de múltiplas camadas de espessuras finitas, construída sobre a superfície final de terraplenagem, destinada técnica e economicamente a resistir aos esforços oriundos do tráfego de veículos e do clima, e a propiciar aos usuários melhoria nas condições de rolamento, com conforto, economia e segurança” (BERNUCCI; et. al., 2022).

No aspecto estrutural de um pavimento, deve-se considerar a espessura e rigidez de cada camada com o objetivo de garantir uma resposta eficaz às condições climáticas, geométricas e ao tráfego ao longo da vida útil do mesmo. Os pavimentos são divididos em praticamente dois tipos principais rígidos e flexíveis, que atualmente são bastante conhecidos como pavimentos de concreto de cimento Portland e pavimentos asfálticos. Para ambos os tipos de pavimentos, tem de se haver atenção ao preparo do subleito, onde este deve ser compactado de tal modo a atingir um grau de compactação mínimo, a fim de que proporcione o suporte necessário para a construção das demais camadas de pavimento.

Os pavimentos asfálticos são categorizados em flexíveis, onde são constituídos por materiais granulares abaixo da camada de rolamento, e semirrígidos, os quais a base ou sub-base é executada com a utilização de materiais cimentados ou com aglutinados por ligante hidráulico, proporcionando resistência aos esforços de tração. Conforme diz BERNUCCI et. al. (2022) a composição do revestimento asfáltico do pavimento é composta por agregados, fillers e ligantes asfálticos, dispostos em quatro camadas distintas: revestimento asfáltico, base, sub-base e reforço do subleito conforme demonstrado na figura 1. Decorrente do tráfego e dos materiais disponíveis, pode-se ter ausência de algumas camadas.

Figura 1 - Estrutura de pavimentos asfálticos



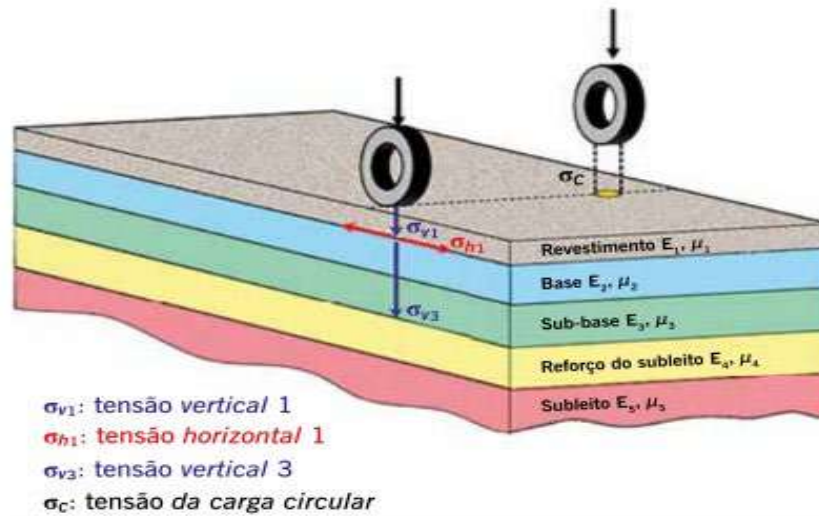
Fonte: BERNUCCI; et. al., (2022)

O objetivo principal desta composição de camadas é suportar as cargas decorrentes do tráfego, o revestimento asfáltico sobretudo, tem como função resistir e atenuar as cargas do tráfego transmitindo-as para as camadas inferiores, impermeabilizar o pavimento, além de proporcionar melhores condições de conforto e segurança durante o deslocamento dos usuários da via.

“As tensões e deformações na camada asfáltica pela ação das cargas do tráfego são responsáveis pelo surgimento de danos nesta camada. Entre eles tem-se como os mais importantes de serem estudados para benefício de maior durabilidade dos pavimentos, o trincamento por fadiga e os afundamentos por deformação permanente. A camada asfáltica ainda pode apresentar trincamento por envelhecimento do ligante asfáltico, processo executivo inadequado, tensões cisalhantes como tem-se no processo de reflexão de trincas de camadas subjacentes, ação climática etc.” (BERNUCCI; et. al., 2022).

No que tange a importância estrutural dos pavimentos asfálticos, ela depende em sua totalidade das camadas de reforço da base, sub-base e subleito. BERNUCCI et. Al. (2022) ainda diz que no campo da mecânica dos pavimentos, o objetivo principal é mitigar as tensões e deformações que ocorrem na estrutura do pavimento. Objetivo este, que é alcançado desde que haja a determinação de espessura ideal para cada camada (figura 2) atrelada a seleção correta de materiais.

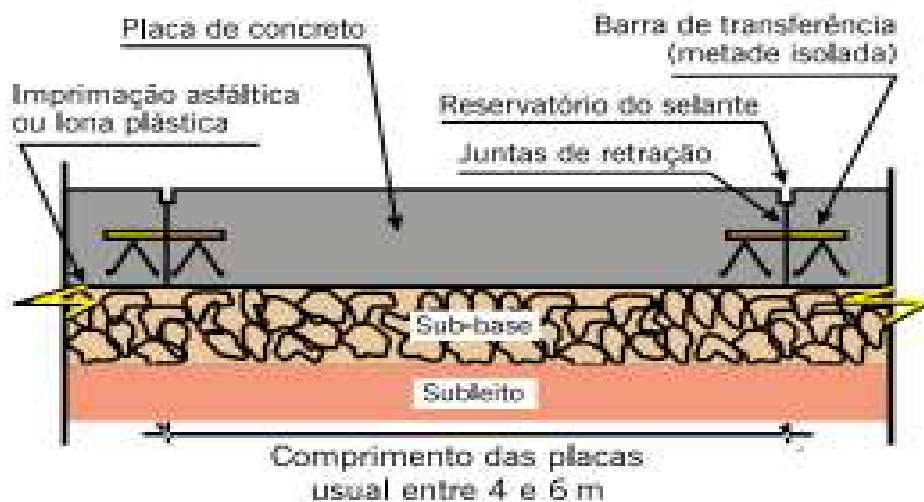
Figura 2 – Camadas de um pavimento asfáltico flexível e tensões solicitantes



Fonte: BERNUCCI; et. al., (2022)

O pavimento rígido por sua vez tem como característica a sua alta rigidez, que lhe permite absorver grande parte das tensões a que é submetido. Isto o diferencia do pavimento asfáltico tanto em sua composição quanto em seu papel estrutural. Segundo BIANCHI et al. (2022) dentre os principais constituintes do pavimento rígido, estão o cimento Portland, agregado graúdo, agregado miúdo, água tratada, aditivos químicos, fibras (plástico ou aço), selante de juntas (moldado), material de enchimento de juntas (fibras ou borracha), e aço. A combinação destes elementos contribui para a excepcional capacidade de carga e durabilidade exibida pelo pavimento rígido, conforme mostrado na figura 3.

Figura 3 - Estrutura de pavimentos rígidos concreto-cimento



Fonte: BERNUCCI; et. al., (2022)

2.2.2 Ponto de Vista Funcional

Dada a importância do ponto de vista funcional do pavimento, o uso do mesmo implica em analisar uma série de fatores que interferem diretamente na experiência de condução, a segurança viária, e a eficácia da infraestrutura de transporte.

A segurança viária é diretamente afetada pela condição do pavimento, pois, segundo o Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (2006) o desempenho funcional refere-se à capacidade do pavimento de satisfazer sua função principal, que é a de fornecer uma superfície com serventia adequada em termos de qualidade de rolamento. Além disso, a visibilidade eficaz da demarcação viária mostra-se primordial para segurança rodoviária, tendo em vista a necessidade da orientação dos motoristas durante a condução, ainda mais sob condições adversas, sejam elas de iluminação ou climáticas.

2.3 Agregados e Ligantes Asfálticos

2.3.1 Definição de asfalto e tipos

Conforme BERNUCCI et. al. (2022) define, o asfalto é um composto formado por hidrocarbonetos vastamente implementado em obras de pavimentações asfálticas. O mesmo é obtido por meio do processo de destilação fracionada do petróleo bruto em refinarias, nas quais é coletado em forma de resíduo após a extração de elementos mais leves como gasolina, querosene, óleo diesel e plásticos etc.

BERNUCCI et. al. (2022) ainda cita que os tipos de asfaltos podem ser classificados com base na sua origem, processo de preparação ou propriedades físicas. Tendo em consideração a sua origem, há uma diferença entre o asfalto natural e o asfalto derivado do petróleo. O asfalto natural é encontrado em jazidas naturais, enquanto o asfalto derivado, é produto da derivação do petróleo, que porventura é o mais comum e utilizado na engenharia. Considerando o método de preparação, o asfalto pode ser dividido em asfalto cortado ou diluído, emulsão asfáltica e asfalto modificado. O asfalto cortado é obtido pela mistura dos asfaltos duros com solventes de petróleo, o que simplifica a sua aplicação a temperaturas mais baixas. Os asfaltos emulsionados são produtos da dispersão de asfalto em água, com ou sem a utilização de aditivos, os quais reduzem a viscosidade do material e permitem a aplicação à frio. Por outro lado, os asfaltos modificados envolvem a adição de polímeros ou outros aditivos com

foco no aprimoramento de propriedades específicas, como por exemplo a resistência à deformação, elasticidade e durabilidade diante de mudanças climáticas e de carga.

A escolha do tipo de asfalto a ser empregado é realizada com base em critérios técnicos específicos, incluindo o uso pretendido, condições climáticas locais, volume de tráfego esperado na estrada e outros fatores. As especificações técnicas do asfalto envolvem uma série de ensaios e parâmetros como ponto de amolecimento, penetração, viscosidade, ductilidade e sensibilidade à temperatura que determinam seu emprego e adequação para diferentes aplicações e condições de operação.

2.3.2 Cimento Asfáltico de Petróleo

Quando o asfalto atende a uma classificação específica, geralmente determinada por suas propriedades físicas que visam assegurar seu desempenho eficaz na pavimentação, ele é comumente designado pela sigla CAP - Cimento Asfáltico de Petróleo.

Segundo BERNUCCI et. al. (2022), os ligantes asfálticos ou CAP's são constituídos de 90 a 95% de hidrocarbonetos e de 5 a 10% de heteroátomos (oxigênio, enxofre, nitrogênio e metais – vanádio, níquel, ferro, magnésio e cálcio) unidos por ligações covalentes. O ligante asfáltico é um adesivo plástico termoviscoelástico, impermeável e de baixa reatividade química, entretanto, esta última propriedade citada não o impede de envelhecer devido à oxidação lenta quando em contato com o ar e a água. Possui composição química complexa, com número de átomos de carbono em cada molécula variando de 20 a 120, e desempenha papel vital na toxicidade, resistência ao envelhecimento, adesão de agregados, sensibilidade térmica e propriedades físicas e mecânicas de misturas asfálticas. Tais propriedades lhes permitem resistir a diferentes formas de desgaste, como rachaduras e deformações, e, mecanicamente permite que os pavimentos asfálticos se adaptem às variações climáticas sem perder a integridade estrutural.

BERNUCCI et. al. (2022) também cita que a interação do CAP com modificadores como polímeros e outros aditivos é significativa. A adição desses modificadores pode melhorar as propriedades do CAP, aumentando a resistência do pavimento às variações de temperatura e cargas de tráfego. O adesivo se comporta como um material semissólido em baixas temperaturas, viscoelástico em temperatura ambiente e líquido em altas temperaturas, dentro dos limites de consistência específicos de temperatura com base em normas técnicas. Suas propriedades termoviscoelásticas influenciam diretamente no seu comportamento mecânico, reagindo à velocidade e intensidade do carregamento bem como à temperatura, permitindo que

seja aquecido e reaquecido sem perda significativa de propriedades, simplificando assim seu uso em pavimentação.

2.3.3 Agregados

Conforme o DNIT (2006) diz, os agregados são cruciais para misturas asfálticas, a qualidade do pavimento é em parte associada à qualidade, durabilidade e desempenho do agregado. Portanto, para que o pavimento atinja uma boa vida útil, a escolha adequada dos agregados é primordial. Eles consistem em materiais granulares, incluindo areia, pedra britada, cascalho e outros materiais inertes, que, quando combinados com um ligante asfáltico, como o Cimento Asfáltico de Petróleo (CAP), compõem a mistura asfáltica utilizada na pavimentação de vias. São classificados como naturais ou artificiais. Os naturais, encontram-se com facilidade na natureza na forma de pedregulhos, seixos rolados de rios ou de depósitos, areias etc. Alguns agregados naturais ocasionalmente necessitam de passar pelo processo de fragmentação, como é o caso dos agregados provenientes de rochas naturais. Em contrapartida, os artificiais são resultado de processos de aglomeração de outros materiais ou originados de resíduos de outros processos, como os reciclados de processos de fresagem de pavimentos asfálticos. Os agregados representam a maior parte do volume em uma mistura asfáltica, tipicamente entre 90% a 95% do peso total da mistura. Assim como são utilizados no concreto convencional, eles em parte também ajudam a reduzir o custo.

BERNUCCI et. al. (2022) cita para que o desempenho seja satisfatório, deve-se considerar agregados que tenham boa capacidade de resistir a desgaste por abrasão e a fadiga sob repetidas cargas de tráfego. Algo a se considerar também é a sua composição química e como ela afeta na adesão do agregado ao ligante asfáltico, tendo em vista que isso influencia na resistência e durabilidade do pavimento. Outro fator relevante é a propriedade térmica do material, considerando que isso interfere na expansão e contração do pavimento quando exposto a diferentes condições climáticas.

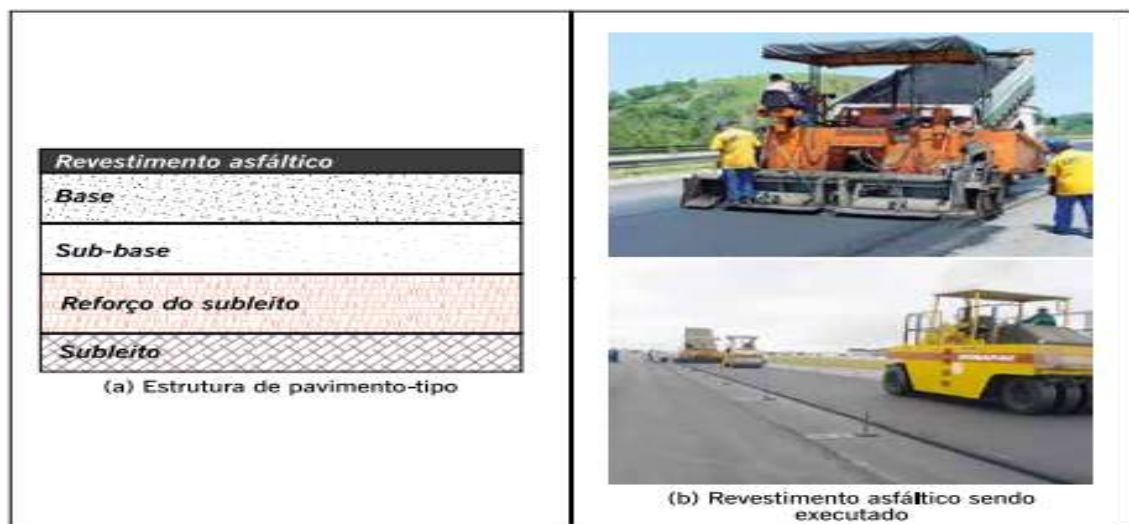
“O nível de desempenho em serviço de um determinado agregado depende também das propriedades geológicas da rocha de origem. São importantes, portanto, informações sobre o tipo de rocha ou processo de formação, sua composição mineralógica, sua composição química, sua granulação, seu grau de alteração, sua tendência à degradação, abrasão ou fratura sob tráfego e o potencial de adesão do ligante asfáltico em sua superfície. A variedade de agregados passíveis de utilização em pavimentos asfálticos é muito grande. Contudo, cada utilização em particular requer agregados com características específicas e isso inviabiliza muitas fontes

potenciais. Os agregados utilizados em pavimentação podem ser classificados em quatro grandes grupos, segundo sua natureza, tamanho, distribuição dos grãos, forma e outras propriedades importantes” (BERNUCCI et. al., 2022).

2.4 Tipos de Camadas e Misturas Asfálticas

Conforme diz MOTTA (2011), as estruturas do pavimento são compostas por múltiplas camadas assentadas e compactadas sobre uma fundação natural chamada subleito. O comportamento da estrutura quando exposta a repetidas aplicações de carga de tráfego e mudanças climáticas depende do material de cada camada, da sua espessura, da rigidez das camadas e do subleito, bem como da interação entre as diferentes camadas do pavimento. Os pavimentos flexíveis, normalmente associados aos pavimentos asfálticos, são compostos por camada superficial (revestimento) asfáltica, que é sustentada pelas camadas de base, sub-base e subleito (conforme mostra a figura 4), essas camadas são constituídas de solo, areia ou mistura de ambos, com ou sem adição de cimento ou ligantes que normalmente aumentariam a consistência do solo ou areia. Dependendo do volume de tráfego, da capacidade do subleito para suportá-lo, da espessura e rigidez das camadas e das condições ambientais, algumas camadas podem ser adicionadas ou descartadas.

Figura 4 - Disposição de camadas/Revestimento asfáltico em execução



Fonte: BERNUCCI; et. al., (2022)

2.4.1 Subleito e Reforço de Subleito

De acordo com a norma DNIT 141/2010 – ES, o Subleito funciona como fundação e apoio para todo o restante do pavimento, onde recebe toda a carga de tráfego. A estrutura deste pavimento é formada a partir da terraplenagem do local, onde dependendo da estimativa de tráfego, pode variar. Um subleito satisfatório tem como requisitos mínimos: Índice de Suporte Califórnia (ISC) igual ou superior a 2%, expansão máxima de 2%, e grau de compactação mínimo de 100%. Caso o subleito não seja resistente o bastante para absorver toda a carga gerada pelo tráfego da via, deve-se executar uma camada de reforço de subleito acima do próprio subleito. Um subleito que apresenta boa capacidade de suporte contribui significativamente para a redução de custos no projeto, possibilitando a diminuição na espessura das camadas superiores.

2.4.2 Sub-base

Segundo a norma DNIT 141/2010 – ES, a sub-base atua como uma camada adicional à base, especialmente em situações onde aspectos técnicos e econômicos desaconselham a construção da base diretamente sobre a camada de regularização ou reforço do subleito. Em geral, o material utilizado na sub-base deve possuir qualidades tecnológicas superiores ao material de reforço. Da mesma forma, o material escolhido para a base deve exibir uma qualidade ainda mais elevada em comparação ao utilizado na sub-base. A sub-base tem que apresentar como requisitos mínimos: Índice de Suporte Califórnia (ISC) igual ou superior a 30% e expansão máxima de 1%.

2.4.3 Base

A norma DNIT 141/2010 – ES afirma que esta camada, localizada imediatamente acima da sub-base e abaixo do revestimento, desempenha o papel crítico de fornecer suporte estrutural ao pavimento. Além disso, ela é encarregada por distribuir e atenuar as cargas transmitidas ao pavimento, reduzindo assim seu impacto sobre as camadas inferiores. A execução inadequada dessa camada pode afetar a integridade e a durabilidade de toda a estrutura do pavimento. Os solos, misturas de solos, solos estabilizados quimicamente, materiais pétreos ou misturas de solos utilizados na camada de base devem apresentar características geotécnicas específicas para garantir a qualidade e o desempenho esperado do pavimento. Estas características incluem

uma capacidade de suporte, indicada pelo Índice de Suporte Califórnia (ISC), de no mínimo 80%, e uma expansão máxima limitada a 1%.

2.4.4 Camada de Revestimento Asfáltico

Segundo a norma DNIT 031/2006, a capa de rolamento, também conhecida como revestimento asfáltico, desempenha várias funções cruciais em um pavimento, sendo a camada superior que entra em contato direto com os veículos. Por ser a camada exposta ao tráfego, foi projetada para resistir ao desgaste causado pelo tráfego constante de veículos. Isso inclui resistência ao desgaste, deformação e rachaduras. Fornece a textura necessária para garantir que o pneu tenha aderência adequada à estrada, o que é fundamental para a segurança, principalmente em condições de chuva e neve.

2.4.5 Diferentes Métodos de Dosagem de Misturas Asfálticas

A dosagem do concreto asfáltico é uma etapa de projeto crucial para o desenvolvimento de misturas asfálticas que satisfaçam as necessidades de desempenho de pavimentos asfálticos. O processo de escolha do método adequado exige um entendimento profundo das propriedades físico-químicas dos materiais para melhor seleção. Processo esse que abrange a escolha de proporções corretas de agregados considerando suas massas específicas, granulometrias, volume de vazios, etc. Quanto aos ligantes asfálticos, deve-se levar em consideração a adesividade ao agregado, resistência ao envelhecimento, viscosidade e flexibilidade da mistura. E quando há necessidade, compreender acerca de aditivos e modificadores para que se consiga uma mistura durável, resistente e de bom custo-benefício.

“A mecânica dos pavimentos é a disciplina da engenharia civil que trata dessa forma de entendimento do pavimento como um sistema em camadas no qual devem estar compatibilizadas as tensões e deslocamentos solicitantes com as propriedades dos materiais e espessuras das camadas. Esses conceitos devem ser utilizados no dimensionamento da estrutura e condicionam a escolha dos materiais ”(MEDINA; MOTTA, 2015).

2.4.6 Método Marshall

Desenvolvido pelo engenheiro Bruce Marshall, o Método Marshall foi desenvolvido por volta dos anos 1930. É um método bastante utilizado principalmente no Brasil, onde é padrão é particularmente usado para especificação, projeto e controle de qualidade de pavimentação asfáltica. O Método Marshall é regido pela norma DNIT 447/2024 – ME, e concentra-se na determinação da composição ótima de uma mistura asfáltica, buscando alcançar a densidade máxima e a resistência adequada, concomitantemente ao que assegura a durabilidade e a impermeabilidade necessárias para o desempenho do pavimento sob condições de tráfego e climáticas variadas. O procedimento envolve a preparação de corpos de prova cilíndricos de mistura asfáltica, que são compactados por um número específico de golpes (75 golpes de cada lado da amostra) de um martelo de compactação Marshall.

Além disso, o método é condicionado em etapas as quais envolvem selecionar materiais, onde é realizada a escolha dos agregados e ligantes asfálticos adequados, tem como base as suas propriedades físico-químicas e desempenho. O método visa a preparação das misturas em laboratório com diferentes proporções de ligante asfáltico, para poder determinar a quantidade ótima que atenda os critérios de projeto. Após isso, compacta-se a mistura asfáltica em moldes cilíndricos aplicando 75 golpes de cada lado da amostra a ser moldada. Terminada a compactação, pesa-se os corpos de provas secos e depois na água para obter a relação das massas e determinar sua densidade máxima teórica e volume de vazios. Em seguida, testa-se os corpos de prova sujeitando-os a cargas com o objetivo de avaliar sua estabilidade (resistência máxima) e fluência (deformação plástica), à uma temperatura de 60° celsius. Os dados obtidos resultam em uma composição ideal de mistura asfáltica que proporciona a melhor combinação de estabilidade, fluência, densidade e volume de vazios.

2.4.7 Método Superpave

Criado nos Estados Unidos em 1990, o Método Superpave (Superior Performing Asphalt Pavements) foi concebido com o objetivo de suprir todas as necessidades e deficiências de outros métodos de dosagem já existentes criando assim um sistema mais robusto, executando pavimentos com desempenho superior, adaptados à grande parte das variações de temperaturas e condições de tráfego. O Método Superpave incorpora uma série de inovações e melhorias sobre os métodos tradicionais de dosagem de misturas asfálticas, como o Método Marshall.

Igualmente condicionado em etapas, o Método Superpave é regido pela norma DNIT 178/2018 – PRO e promove a seleção de agregados e ligantes asfálticos com base em critérios de desempenho mais rigorosos em comparação com o Método Marshall, considerando condições climáticas locais e cargas de tráfego. O método também enfatiza a importância da estrutura interna da mistura asfáltica, incluindo a proporção de vazios, a proporção de vazios preenchidos com asfalto e a proporção de vazios no agregado mineral. Além disso, o método classifica ligantes asfálticos com base na temperatura máxima e mínima esperada no local do pavimento, assegurando que o ligante mantenha a viscosidade adequada para resistir à deformação permanente em altas temperaturas e ao trincamento por fadiga em baixas temperaturas. Um dos diferenciais do método é o emprego de um compactador giratório o qual simula o processo de compactação no campo, promovendo uma compactação adequada e consequentemente uma densidade de mistura, mas representativa das condições reais de pavimentação.

Portanto, o Método Superpave visa melhorar a longevidade dos pavimentos asfálticos, minimizando a necessidade de manutenção e reparos frequentes, ao passo que se adapta a o tráfego e clima específico de cada local em que é aplicado.

2.5 Materiais das Camadas dos Pavimentos Asfálticos

Alguns materiais diversificados são utilizados nas camadas estruturais do pavimento com o objetivo de aumentar a durabilidade, vida útil, prevenir contra degradação estrutural, e reduzir custos.

2.5.1 Materiais granulares e solos coesivos

Os materiais granulares vastamente utilizados nas camadas de base e sub-base em virtude de não terem coesão, além de não resistirem à tração, sobrando apenas um trabalho em relação aos esforços de compressão. Como BERNUCCI et. al. (2022) cita, os materiais mais empregados em pavimentação da classe dos granulares e solos são: brita graduada simples (BGS) e bica ou brita corrida; macadame hidráulico; macadame a seco; misturas estabilizadas granulometricamente (estabilizadas por combinação de materiais para atender certos requisitos ou mecanicamente); solo-agregado; solo natural; solo melhorado com cimento ou cal.

Entretanto, o caso dos solos coesivos é um tanto quanto diferente, tendo em vista que tem alta plasticidade e capacidade de retenção de água como as argilas. Apesar de terem

tendência à compressão e expansão, podem ser melhorados com uso de cal ou cimento. A capacidade de reação química da cal e os minerais do solo estabelece uma camada mais estável e menos propensa à compressão. No caso do cimento, mesmo que em pequena quantidade, este auxilia a aumentar a rigidez e resistência do solo.

2.5.2 Geossintéticos

O uso de geossintéticos em pavimentações traz inúmeros benefícios, como a melhoria da capacidade de carga, a extensão da vida útil do pavimento, e a redução dos custos de manutenção. De acordo com a norma DNIT 175/2021 – ES, geotêxteis, por exemplo, são amplamente utilizados para funções como separação ou filtração com o objetivo de evitar a mistura de materiais granulares das camadas de base e sub-base com solos finos, o que evita o carregamento de finos e consequentemente a instabilidade da camada. Outro geossintético muito usado é a Geocélula, redes tridimensionais de células confinadas que podem ser preenchidas com diversos materiais, como solo, areia ou agregados. Em geral são utilizadas em reforços de subleito, estabilização de taludes e proteção contra erosão. Na pavimentação, as geocélulas podem ser empregadas para melhorar a resistência do subleito ou das camadas de base, fornecendo um confinamento lateral aos materiais de enchimento, o que aumenta consideravelmente a capacidade de carga.

2.6 Ensaios e Propriedades dos Materiais

Ensaiar pavimentos asfálticos é um componente crucial do controle de qualidade, da garantia da vida útil e do desempenho do pavimento. Esses ensaios têm como objetivo caracterizar materiais de misturas asfálticas, bem como a adequação destes. A importância destes ensaios reside não apenas no atendimento às especificações técnicas e normas regulamentadoras, mas também na otimização do desempenho do pavimento nas condições reais de uso.

2.6.1 Granulometria

Baseado nas normas DNIT 412/2019 - ME, DNIT 141/2022 – ES e DNER-ME 083/98, o ensaio de granulometria determina a distribuição de diferentes tamanhos e proporções de partículas presentes em uma amostra de solo ou agregado. Os ensaios são geralmente

realizados através de um processo de peneiramento a seco utilizando uma série de peneiras com aberturas de malha padronizadas por pelas normas DNIT 141/2022 – ES e DNER-ME 083/98 para solos, e, a norma DNIT 412/2019 – Me para agregados graúdos e miúdos de massa asfáltica. As peneiras são empilhadas em ordem decrescente de abertura, e a amostra é colocada na peneira superior. Após o peneiramento, o material retido em cada peneira é pesado, e a proporção de cada fração é calculada em relação ao peso total da amostra (conforme demonstra a figura 4).

Fotografias 1 e 2 - Alguns equipamentos utilizados no ensaio de granulometria
(Repartidor de Amostras e peneiras granulométricas)



Fonte: DNIT 412/2019 (2019)



Fonte: DNIT 412/2019 (2019)

2.6.2 Massa específica, densidade relativa e absorção de agregados graúdo e miúdos para misturas asfálticas

As normas DNIT 411/2021 - ME e DNIT 413/2021 – ME, definem os procedimentos para calcular a massa específica média (real ou aparente), a densidade relativa (real ou aparente) e a absorção de agregados graúdos, considerando as características específicas desses materiais. No caso da DNIT 411/2021 - ME, que trata sobre agregados miúdos, o procedimento é realizado com o uso do método dos picnômetros, enquanto a norma DNIT 413/2021 – ME, que trata sobre agregados graúdos, explica o procedimento por meio de imersão e pesagem hidrostática (demonstrado nas figuras 5 e 6).

Fotografia 3 - Amostra de agregado miúdo em picnômetro



Fonte: DNIT 411/2021 – ME (2021)

Fotografia 4 - Amostra de agregado graúdo em pesagem hidrostática



Fonte: DNIT 413/2021 – ME (2021)

2.6.3 Rice Test

A norma DNIT 427/2020 - ME define procedimentos técnicos para determinar a densidade relativa máxima medida e a massa específica máxima medida de misturas asfálticas não compactadas, utilizando o método Rice com o uso de picnômetros e bomba de vácuo (conforme mostra a figura 7). Essa abordagem inovadora substitui a densidade máxima teórica (DMT) tradicional, ajustando-se de acordo com a absorção dos agregados. A norma também determina fórmulas para calcular a densidade relativa máxima medida e a massa específica máxima medida da mistura asfáltica.

Fotografia 5 - Amostra de massa asfáltica em picnômetro à vácuo

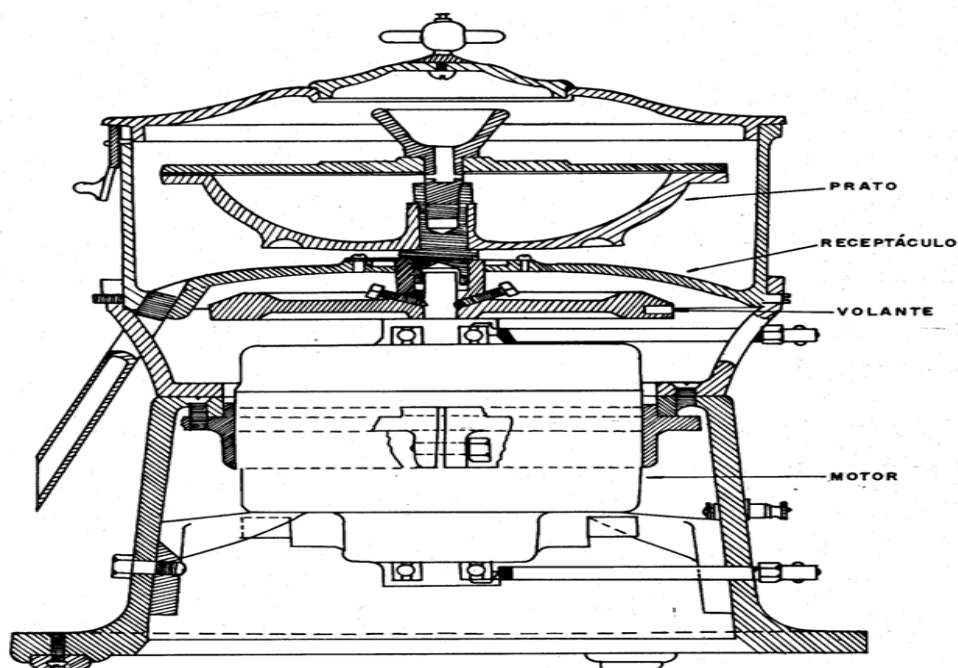


Fonte: DNIT 427/2020 - ME (2020)

2.6.4 Teor de Ligante por Extratora Rotativa Rotarex e Forno N-CAT

Para determinação de porcentagem de teor de ligante os ensaios de extratora rotativa (Rotarex) e Forno N-CAT são norteados pela norma DNER-ME 053/94 e PROC-IBR-ROD 105/2016 respectivamente. Onde, a primeira envolve o aquecimento da amostra de mistura asfáltica para desmanchá-la, a extração do ligante asfáltico por meio de centrifugações sucessivas com adição de solvente até que toda a mistura esteja livre de ligante, seguida da secagem e pesagem final da amostra para calcular a porcentagem de betume (figura 8). E, o segundo destaca a importância de manter os teores de ligante dentro das tolerâncias admitidas para evitar patologias e redução do desempenho e da vida útil das camadas asfálticas, atestando veracidade com a utilização do forno N-CAT.

Figura 5 - Esquema de Extratora Rotativa (Rotarex)



Fonte: DNER-ME 053/94 (1994)

2.6.5 Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração

As normas DNIT 447/2024 – ME e DNIT 136/2018-ME determinam procedimentos para ensaios de estabilidade e fluência, e, resistência à tração por compressão diametral respectivamente. A primeira especifica o uso de moldes de compressão, prensa eletromecânica, banho-maria para o tratamento térmico dos corpos de prova, e outros instrumentos essenciais para o ensaio descrevendo a importância de medir a estabilidade (resistência à compressão radial máxima) e a fluência (deformação total) das misturas asfálticas (Conforme demonstrado na figura 9).

Fotografia 6 - Prensa de ensaio de estabilidade e fluência



Fonte: DNIT 447/2024 – ME (2024)

A segunda estabelece o procedimento para determinar a resistência à tração indireta de misturas asfálticas em corpos de prova cilíndricos através do ensaio de compressão diametral. A norma descreve detalhadamente a aparelhagem necessária para o ensaio, a preparação da amostra, a execução do ensaio, incluindo a medição da altura e do diâmetro do corpo de prova, ajustes na prensa mecânica, e a aplicação progressiva de carga até a ruptura (de acordo com a figura 10).

Fotografia 7 - Prensa de ensaio de resistência à tração por compressão diametral



Fonte: DNIT 136/2018-ME (2018)

2.6.6 Compactação Marshall

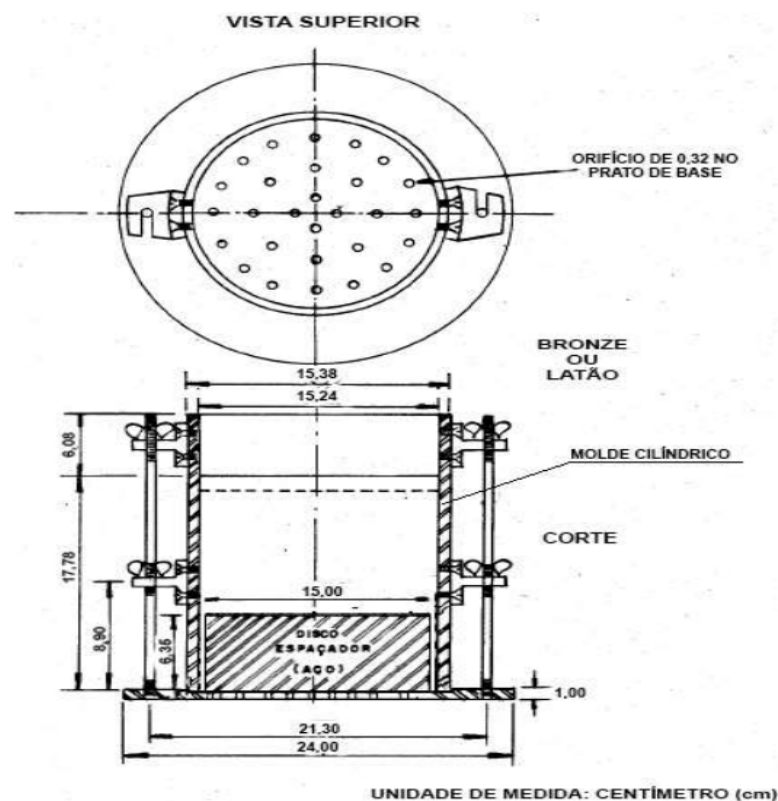
A norma DNER-ME 043/95 que estabelece o método de ensaio Marshall para misturas asfálticas quentes. Este método é amplamente utilizado para a caracterização de propriedades físicas de misturas asfálticas, como estabilidade, fluência e densidade. O processo inclui a preparação de corpos de prova cilíndricos de mistura asfáltica, que são compactados em um molde específico sob impactos padronizados. Após a compactação, os corpos de prova são submetidos a um teste de compressão para determinar sua estabilidade (uma medida da resistência máxima) e fluência (uma medida da deformação sob carga).

2.6.7 Ensaio de Compactação Proctor e CBR

Para determinação de teor de umidade do solo, grau de compactação e índice de suporte Califórnia, também chamado de CBR, faz se necessário lançar mão das normas DNIT 164/2013-ME e DNIT 172/2016 - ME, respectivamente. Onde, a primeira determina a relação entre o teor de umidade e a massa específica aparente seca do solo. A norma também especifica as energias de compactação (normal, intermediária e modificada) e fornece diretrizes para a

preparação de amostras, execução do ensaio, cálculos e interpretação dos resultados, o que é essencial na avaliação da compactação do solo para base, sub-base e outros componentes de pavimentação. Já a segunda norma, detalha os equipamentos requeridos, descreve o procedimento do teste, formula o cálculo do aumento de volume, estabelece os critérios para alcançar os resultados esperados e ilustra uma curva de compactação.

Figura 6 - Representação de molde utilizado no ensaio de compactação



Fonte: DNIT 164/2013-ME (2013)

2.6.8 Viscosidade Saybolt Furol

O ensaio de viscosidade Saybolt Furol é baseado na norma NBR 14950/03, onde viscosidade Saybolt Furol é medida em segundos e indica o tempo necessário para que um volume específico de ligante passe por um orifício calibrado sob condições controladas de temperatura. O resultado disso é a caracterização do ligante com a finalidade entender para qual tipo de massa asfáltica e requisitos ele é propenso.

2.7 O IBRAOP e seus procedimentos

O Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas (IBRAOP) é uma entidade de grande relevância no cenário nacional, especialmente para profissionais e estudantes da área de engenharia civil. Fundado com o propósito de promover a qualidade e a transparência nas obras públicas, o IBRAOP desempenha um papel crucial na auditoria dessas obras, garantindo que os recursos públicos sejam utilizados de maneira eficiente e ética. O IBRAOP é uma organização não governamental que reúne engenheiros, auditores e demais profissionais envolvidos na fiscalização e auditoria de obras públicas no Brasil. Sua principal missão, conforme é citado nas sua instituição IBRAOP (2000), é desenvolver e disseminar conhecimentos técnicos e metodológicos que aprimorem a execução e a gestão das obras públicas. Através de cursos, seminários e publicações, o IBRAOP busca capacitar profissionais e disseminar boas práticas no setor.

Os procedimentos do IBRAOP são amplamente utilizados por órgãos de controle, como tribunais de contas e controladorias, assim como por entidades de fiscalização interna de diversas esferas governamentais. Esses procedimentos incluem normas técnicas, roteiros de auditoria, manuais de boas práticas e metodologias de avaliação que são aplicados durante todo o ciclo de vida das obras públicas. Por exemplo, na execução de auditorias, os profissionais utilizam os roteiros de auditoria desenvolvidos pelo IBRAOP para verificar a conformidade dos projetos com as normas técnicas vigentes, a adequação dos custos e a qualidade dos materiais empregados. Essas auditorias podem identificar problemas como sobrepreços, desvios de qualidade e atrasos, permitindo a adoção de medidas corretivas em tempo hábil. Os procedimentos atuais e vigentes estarão anexados ao final deste trabalho.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos que foram empregados neste estudo, os quais são centrados na elaboração de Manuais de Ensaio de Pavimentação Asfáltica. O processo de pesquisa foi dividido em três fases interligadas. Na primeira etapa, realizou-se um levantamento bibliográfico abrangente, explorando não apenas o tema central do trabalho, mas também questões correlatas pertinentes para a investigação. Em seguida, na segunda fase, foi conduzido o Levantamento dos Ensaio Realizados no Laboratório, visando compreender os procedimentos em uso, os materiais utilizados e as práticas estabelecidas. Na terceira etapa constituiu-se na Elaboração dos Manuais de Ensaio de Pavimentação, onde as informações obtidas nas fases anteriores serão consolidadas em um formato claro e aplicável.

3.1 Levantamento Bibliográfico e Revisão de Literatura

Para a estruturação do referencial bibliográfico, foi realizado um levantamento inicial de normas e procedimentos contidos na base de dados de órgãos como o DNIT e o IBRAOP. Utilizando palavras-chave como "manual", "geotecnia", "ensaio" e "pavimentação", buscamos identificar fontes relevantes para o estudo.

Foram incluídos neste estudo para efeito de embasamento uma variedade de fontes, tais como livros, artigos científicos, monografias, trabalhos de conclusão de curso, manuais e cartilhas, nos idiomas português e inglês, que abordam especificamente ensaios laboratoriais na área de geotecnia e pavimentação asfáltica.

Por outro lado, foram excluídos textos como dissertações, teses, livros, artigos científicos, monografias e trabalhos de conclusão de curso publicados há mais de 5 anos, bem como manuais e cartilhas desatualizados que já possuem versões mais recentes. Além disso, foram descartados os textos que não abordaram diretamente os ensaios laboratoriais na área de geotecnia e pavimentação asfáltica, garantindo assim a relevância e pertinência das fontes selecionadas para o estudo.

3.2 Levantamento dos ensaios realizados no Laboratório

O levantamento dos ensaios, procedimentos e análises realizados no Laboratório de Pavimentação do IFTO Campus Palmas foi feito de forma minuciosa e abrangente. Primeiro, examinamos cuidadosamente os registros do próprio laboratório, como procedimentos

anteriores e documentos técnicos. Isso nos ajudou a entender quais ensaios são feitos regularmente, como são feitos e quais equipamentos são usados. Também conversamos com os professores e técnicos do laboratório para saber mais sobre como os ensaios são feitos na prática e quais desafios enfrentaram. Para complementar essas informações, buscamos em outras instituições e fontes acadêmicas, como estudos de caso e publicações científicas. Além disso, visitamos outros laboratórios que são referência nessa área, para ver de perto como eles fazem os ensaios. Com tudo isso, conseguimos entender bem como os ensaios são feitos no nosso laboratório e identificar o que precisa ser melhorado. Os resultados desse levantamento estão apresentados no Quadro 1 abaixo:

Quadro 1 – Lista de Ensaios

Norma	Descrição	Finalidade
NORMA DNER-ME 024/94	Pavimento - Determinação das deflexões pela Viga Benkelman	Este documento, que é uma norma técnica, trata da determinação de deflexões em pavimento rodoviário com aplicação da viga Benkelman, visando ao conhecimento da capacidade estrutural de pavimento Prescreve- como medir e calcular as deflexões; apresenta esquema da viga, da carga aplicada e o posicionamento dos equipamentos para as medições
NORMA DNIT 428/2022	Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados – Método de	Este documento estabelece a sistemática a ser empregada na determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova

	ensaio	compactados de misturas asfálticas, moldados em laboratório ou extraídos da pista.
NORMA DNIT 447/2024 – ME	Misturas asfálticas – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall – Método de ensaio	Esta Norma estabelece a metodologia de ensaio para a determinação da estabilidade e fluência Marshall de misturas asfálticas.
NORMA DNIT 136/2018-ME	Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio	Este método prescreve o modo pelo qual se determina a resistência à tração indireta de corpo de prova cilíndrico de mistura asfáltica, por meio do ensaio de compressão diametral com carregamento estático crescente até a ruptura (monotônico).
NORMA DNIT 427/2020 – ME	Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio	Esta norma estabelece o procedimento técnico para determinação da densidade relativa máxima medida, anteriormente denominada densidade máxima teórica, e da massa específica máxima medida de misturas asfálticas não compactadas, utilizando o método Rice.
NORMA DNER-ME 053/94	Misturas betuminosas - Teor de Ligante (Rotarex)	Este documento, que é uma norma técnica, contém um método para determinar a

		percentagem de betume em misturas betuminosas. Descreve a aparelhagem, os procedimentos para execução do ensaio e a fórmula para obtenção do resultado.
PROC-IBR-ROD 105/2016	Misturas betuminosas - Teor de Ligante (Forno N-CAT)	O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto ao cálculo do teor de ligante nos corpos de prova extraídos no concreto asfáltico executado.
NORMA DNIT 412/2019 - ME	(Granulometria de Massa Asfáltica) Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio.	Esta Norma descreve o procedimento de análise granulométrica para determinação da composição granulométrica por peneiramento de agregados graúdos e miúdos ou de mistura de agregados para misturas asfálticas. (Complementa as outras normas de pavimentação).
NORMA DNER – ME 081/98	Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio	Esta Norma estabelece os procedimentos para determinação da massa específica média de uma quantidade de partículas de agregado graúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), a

		densidade relativa e a absorção do agregado graúdo.
NORMA DNIT 411/2021	Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado miúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio	Esta norma apresenta o procedimento para determinação da massa específica de uma quantidade de partículas de agregado miúdo (não incluindo o volume de vazios entre as partículas), da densidade relativa e da absorção do agregado miúdo.
NORMA DNIT 141/2022 – ES	Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço	Esta norma estabelece a sistemática a ser empregada na execução de uma camada de base, quando empregado solo estabilizado granulometricamente.
NORMA DNER-ME 083/98	Agregados – Análise Granulométrica	Fixar o procedimento para a análise granulométrica de agregados miúdos e graúdos, por peneiramento.
NORMA DNIT 164/2013-ME	Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio	Determina o teor de umidade ótima do solo por meio da correlação de massas específicas aparentes do solo seco vs teores de umidade correspondentes.
NORMA DNIT 172/2016 -	Solos – Determinação do	Esta Norma tem por objetivo

ME	Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio	fixar as condições para determinação do Índice de Suporte Califórnia de solos, utilizando amostras não trabalhadas.
NBR 7185/86	Solo - Determinação da massa específica aparente “in situ” com emprego do frasco de areia	Esta norma prescreve o método de determinação da massa específica aparente do solo "in situ", com emprego do frasco de areia.
NBR 14950 / 03	Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol	Esta norma estabelece os procedimentos empíricos para a determinação da viscosidade de materiais betuminosos empregando o viscosímetro Saybolt Furol, sendo o procedimento A empregado para produtos com temperaturas de ensaio na faixa de 21°C a 99°C e o procedimento B empregado para produtos com temperatura de ensaio na faixa de 120°C 240°C.
NORMA NBR 6459/84	SOLO – Determinação do Limite de Liquidez	Esta norma prescreve o método para a determinação do limite de liquidez dos solos
NORMA NBR 7180/84	SOLO – Determinação do Limite de Plasticidade	Esta norma prescreve o método para a determinação

		do limite de plasticidade e para o cálculo do índice de plasticidade dos solos.
--	--	---

Fonte: Autor (2024)

3.3 Elaboração dos Manuais de Ensaio de Pavimentação

Cada manual foi elaborado com a função de orientar a execução dos ensaios apresentados no tópico 3.2 de maneira padronizada e precisa, sendo dividido em 6 (seis) partes: Introdução, Fundamentação Teórica, Objetivo do Ensaio, Procedimento Experimental contendo Lista de materiais e Metodologia aplicada, Atividade e Apresentação de Resultados, Referências Bibliográficas.

3.3.1 Introdução

A introdução pretende dar ao leitor uma ideia da importância e relevância deste manual. Explica a necessidade de medições precisas para avaliação de pavimentos, enfatizando o uso prático dos métodos discutidos. Além disso, a introdução estabelece a relevância dos ensaios para a engenharia de pavimentos, enfatizando a importância da manutenção preventiva e da detecção precoce de falhas estruturais. Ele fornece uma visão geral do que será abordado no manual e ajuda o leitor a compreender os procedimentos e métodos descritos nos capítulos subsequentes conforme está representada na figura 7 abaixo.

Figura 7 – Introdução padrão de um dos manuais

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de medir a deflexão de pavimentos flexíveis com precisão é fundamental para a engenharia de pavimentação. O ensaio de Viga Benkelman surgiu como uma solução prática para avaliar a integridade estrutural dos pavimentos, preenchendo uma lacuna crítica ao oferecer uma maneira precisa e econômica de medir a deflexão e, assim, identificar áreas que necessitam de manutenção preventiva. A precisão das medições e a facilidade de uso tornaram este método amplamente adotado em estudos e fiscalizações de pavimentos.

O equipamento utilizado no ensaio de Viga Benkelman consiste em uma viga de sustentação articulada, formando dois braços que seguem relações de 2:1, 3:1 ou 4:1. A ponta de prova está localizada na extremidade do braço maior, enquanto o braço menor aciona um extensômetro de alta precisão (0,01 mm). Este dispositivo é complementado por um vibrador para evitar bloqueios no ponteiro do extensômetro e uma trava de proteção para transporte. Quando não está em uso, a viga é revestida com isopor para evitar deformações térmicas, assegurando a precisão das medições.

A introdução da Viga Benkelman trouxe uma solução prática e confiável, permitindo a detecção precoce de falhas estruturais e garantindo a segurança e durabilidade das infraestruturas rodoviárias. Antes da sua introdução, os métodos disponíveis eram insuficientes para fornecer uma avaliação precisa e rápida da condição dos pavimentos. Este método inovador permite que engenheiros de pavimentação monitorem e mantenham as estradas de maneira eficiente, prolongando a vida útil das infraestruturas e otimizando os recursos destinados à manutenção.

Fonte: Autor (2024)

3.3.2 Fundamentação Teórica

A fundamentação teórica tem como objetivo fornecer o embasamento histórico e técnico necessário para a compreensão do método descrito no manual. Ela explica o desenvolvimento do método, suas origens e evolução, e estabelece as bases científicas que sustentam sua aplicação. Esta seção também menciona as normas técnicas relevantes, garantindo que o leitor compreenda os princípios e os critérios normativos que regem a consistência e a precisão do procedimento. Isso proporciona um contexto sólido para a aplicação prática do método para que ele seja realizado de acordo com os padrões estabelecidos (Figura 8).

Figura 8 – Fundamentação Teórica padrão de um dos manuais

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de Viga Benkelman foi desenvolvido por A.C. Benkelman durante o teste de rodovias da Western Association of State Highway Organizations (WASHO) em 1952. A.C. Benkelman criou este dispositivo simples para medir a deflexão de superfícies de pavimentos flexíveis, essencial para avaliar a necessidade de reforço em pavimentos existentes e novos.

A criação da Viga Benkelman foi impulsionada pela necessidade urgente de um método eficiente para avaliar a deflexão dos pavimentos, vital para a manutenção preventiva e a reabilitação eficaz das rodovias. Antes da sua introdução, os métodos disponíveis eram insuficientes para fornecer uma avaliação precisa e rápida da condição dos pavimentos. A Viga Benkelman trouxe uma solução prática e confiável, permitindo a detecção precoce de falhas estruturais e garantindo a segurança e durabilidade das infraestruturas rodoviárias.

O ensaio determinação das deflexões pela Viga Benkelman é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D4695, a norma AASHTO T256, e a norma DNER – ME 024/94. As duas primeiras são americanas, já esta última foi desenvolvida pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER). Essas normas estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

Fonte: Autor (2024)

3.3.3 Objetivo do Ensaio

O Objetivo do Ensaio tem como finalidade esclarecer ao leitor o propósito específico do teste descrito no manual. Ele define claramente o que se pretende alcançar com a realização do ensaio, explicando sua importância para a avaliação estrutural e funcional dos pavimentos. Essa seção orienta o leitor sobre os resultados esperados e como esses resultados podem ser utilizados para identificar problemas e planejar ações de manutenção e reabilitação. Além disso, destaca a aplicação do ensaio em auditorias e fiscalizações, para que os pavimentos atendam aos padrões de qualidade e segurança estabelecidos (Figura 9).

Figura 9 - Objetivo padrão de um dos manuais

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O objetivo do ensaio de Viga Benkelman é medir a deflexão de pavimentos flexíveis sob carga, avaliando sua capacidade estrutural e comportamento elástico. Através dessa medição, é possível identificar áreas com possíveis falhas ou insuficiências estruturais, ajudando no planejamento de manutenções e reabilitações.

Durante auditorias de obras de pavimentação, o ensaio de Viga Benkelman é utilizado para testar as deflexões no pavimento conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento.

Fonte: Autor (2024)

3.3.4 Procedimento Experimental

A parte de Procedimento Experimental tem como objetivo guiar o usuário através dos passos necessários para a execução do ensaio descrito no manual.

A lista de materiais detalha todos os equipamentos e materiais necessários para a realização do ensaio. Isso garante que os profissionais envolvidos estejam devidamente preparados com todos os recursos necessários para conduzir o ensaio corretamente, evitando imprevistos e ajudando a aumentar ainda mais a precisão do procedimento conforme a figura 10.

Figura 10 - Procedimento padrão de um dos manuais

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Caminhão eixo traseiro simples e roda dupla com 8,2 tf de carga distribuída de forma simétrica nesse eixo;
- Os pneus do caminhão devem ter dimensões de 1000x20mm ou 900x20mm, com 12 lonas, tipo “com câmara” e com frisos na faixa de rodagem, calibrados à pressão de 0,56 MPa (5,6 kgf/cm² ou 80 lb/pol²);
- Calibrador de pressão dos pneus;
- Viga Benkelman, constituída de um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa formando dois braços cujos comprimentos a e b obedecem às relações de 2/1, 3/1 ou de 4/1, conforme a figura 1 em anexada abaixo. A extremidade do braço maior contém a ponta de prova da viga. A extremidade do braço menor aciona um extensômetro com precisão de 0,01 mm. Possui um pequeno vibrador destinado a evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro e dispõe de uma trava de proteção a ser utilizada por ocasião do transporte. E inteiramente revestida com isopor, quando não em uso;
- Trenas de 50m e de 5m;
- Caneta, prancheta e planilha para registro de dados;
- Termômetro laser;
- Spray branco para demarcação dos pontos de leitura da Viga;
- EPI 's como coletes refletivos, cones, botas, chapéus, protetor solar.

Fonte: Autor (2024)

A metodologia aplicada fornece um guia passo a passo para a execução do ensaio. Ela descreve desde a preparação inicial da amostra ou local do procedimento até a coleta de dados e a execução das medições, ajudando para que o ensaio seja conduzido de forma sistemática e padronizada. Isso é essencial para garantir a consistência e a precisão dos resultados, permitindo uma comparação confiável dos dados obtidos em diferentes momentos e locais figura 11.

Figura 11 - Metodologia padrão de um dos manuais

4.2 METODOLOGIA

1. Deve-se escolher um caminhão de eixo traseiro simples e roda dupla, e carregá-lo com 8,2tf no eixo traseiro;

Figura 3 – Pesagem do eixo traseiro com carga



Fonte: AUTOR (2024)

2. Após pesagem, deve-se calibrar os pneus do caminhão, colocando 80lbs (os pneus devem ter dimensões de 1000x20mm ou 900x20mm);

Figura 4 – Calibração dos pneus



Fonte: AUTOR (2024)

Fonte: Autor (2024)

3.3.5 Atividade e Apresentação de Resultados

A parte de Atividades e Apresentação de Resultados tem como objetivo orientar o leitor sobre como processar e interpretar os dados coletados durante o teste. Ela descreve as etapas necessárias para calcular os resultados, bem como as fórmulas que serão utilizadas com base nas normas, garantindo que os dados sejam analisados de maneira precisa e consistente conforme a figura 12.

Figura 12 – Atividades e Resultados padrão de um dos manuais**5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS**

Após a realização do ensaio fazendo a execução de cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos das deflexões e do raio de curvatura de acordo com as figuras retratadas abaixo, contidas nas normas DNER-ME 024/094 – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman, e DNIT 133/2010 - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman.

Para calcular as deflexões:

Figura 13 – Fórmula para cálculo de Deflexões

$$L_0 * K * FC$$

Fonte: DNER – ME 024/94 (1994)

Onde:

L_0 = Leitura final do braço longo da Viga;

K = Constante da Viga (pode ser 2, 3 ou 4);

FC = Fator de Correção da Viga;

Para calcular a Bacia de Deformação (também chamada de Raio de Curvatura):

Figura 14 – Fórmula para cálculo de Bacia de Deformação

$$R = \frac{6250}{2 * K * (L_0 - L_{25})}$$

Fonte: DNER – ME 024/94 (1994)

Onde:

K = Constante da Viga (pode ser 2, 3 ou 4);

L_0 = Leitura final do braço longo da Viga;

L_{25} = Leitura final do braço curto da Viga;

Fonte: Autor (2024)

3.3.6 Referências Bibliográficas

A parte de Referências Bibliográficas tem como objetivo listar todas as normas e procedimentos que foram utilizados para embasar a elaboração do manual. Esta seção garante a credibilidade do conteúdo apresentado, permitindo que os leitores consultem as fontes originais para obter informações adicionais ou verificar a precisão dos dados. Além disso, as referências fornecem um suporte teórico e técnico robusto, fundamentando os procedimentos e metodologias descritos no manual conforme a figura 13.

Figura 13 - Referências padrão de um dos manuais

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T256**: Standard Method of Test for Pavement Deflection Measurements. Washington, D.C.: AASHTO, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4695**: Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements. West Conshohocken, PA: ASTM, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - ME 024/94**: Solos - Determinação da umidade do solo por secagem em estufa. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 175/94**: Procedimento para execução de ensaios em misturas betuminosas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 133/2010 - ME**: Pavimentação asfáltica - Determinação do teor de betume em misturas asfálticas pelo método de ignição. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.

Fonte: Autor (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Impacto dos Manuais na Qualidade dos Ensaios

Ao todo 12 manuais foram desenvolvidos e implementados para os ensaios de pavimentação no laboratório do IFTO, o que ocasionou em resultados significativos em termos de padronização e precisão dos procedimentos. Os manuais proporcionaram um recurso valioso para os estudantes, facilitando a aplicação prática dos conceitos teóricos aprendidos em sala de aula. A clareza e a estrutura detalhada dos manuais permitiram que os alunos se familiarizassem rapidamente com os procedimentos de ensaio, o que reduziu o tempo necessário para treinamento e aumentou a eficiência durante as aulas práticas. Como resultado, os estudantes puderam focar mais na análise e interpretação dos dados, ao invés de gastar tempo tentando entender os procedimentos conforme mostrado na figura 14 logo abaixo.

Figura 14 – Aula prática sobre ensaio de viscosidade Saybolt - Furol



Fonte: Autor (2024)

4.2 Acordo de Cooperação entre IFTO e TCE

Vigente desde 2020, o acordo de cooperação entre o IFTO e o Tribunal de Contas do Estado (TCE) para compartilhamento de laboratórios e equipamentos representa um marco significativo na utilização dos manuais desenvolvidos. Este acordo visa realizar ensaios para auditorias em obras públicas, aumentando a transparência e a qualidade das obras auditadas. A colaboração com o TCE não só fortalece a capacidade do laboratório do IFTO, mas também serve como exemplo para outros Tribunais de Contas, incentivando a formação de parcerias similares. Abaixo, um exemplo de uma visita técnica e ensaio realizado em uma obra de pavimentação (Figura 15).

Figura 15 – Aula prática Ensaio de Viga Benkelman



Fonte: Autor (2024)

Essa cooperação gerou e gera chances para a realização de projetos de pesquisa conjunta e o desenvolvimento de novas metodologias de ensaio, beneficiando diretamente os alunos do IFTO. Eles têm a oportunidade de participar de projetos reais, fazendo uso dos manuais e aplicando os conhecimentos adquiridos colocando-os em prática juntamente dos procedimentos de auditoria do IBRAOP e contribuindo para a melhoria das práticas de auditoria e controle de qualidade em obras públicas. Além disso, o networking resultante dessa parceria pode abrir portas para novas oportunidades acadêmicas e profissionais, ampliando o horizonte de possibilidades para os estudantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo abordou o desenvolvimento e uso de manuais de procedimentos de ensaios de laboratório para padronizar processos e potencializar aprendizado das pessoas que farão uso deles. Além disso, o estudo forneceu uma visão geral sobre planejamento e execução de ensaios, identificando seus principais objetivos e aplicações práticas.

Para o estudo aplicado, utilizamos como base o laboratório de solos e pavimentação do IFTO – Campus Palmas, que foi escolhido devido a gama de equipamentos e consequentemente a possibilidade de execução da maioria dos ensaios de solos e pavimentação. Essa escolha permitiu uma análise mais detalhada dos desafios e benefícios da implementação de manuais de ensaios nesse contexto específico.

Foram propostos procedimentos metodológicos baseados em 3 passos, com foco na confecção dos manuais de ensaios. Os passos são os seguintes:

1. **Levantamento Bibliográfico e Revisão de Literatura:** Foi realizado um levantamento inicial de normas e procedimentos nas bases de dados do DNIT e IBRAOP, utilizando palavras-chave como "manual", "geotecnia", "ensaios" e "pavimentação". Foram incluídas fontes relevantes como livros, artigos científicos, monografias, manuais e cartilhas, tanto em português quanto em inglês, abordando ensaios laboratoriais em geotecnia e pavimentação asfáltica.
2. **Levantamento dos ensaios realizados no Laboratório:** O levantamento dos ensaios no Laboratório de Pavimentação do IFTO Campus Palmas examinando registros laboratoriais, procedimentos anteriores e documentos técnicos.
3. **Elaboração dos Manuais de Ensaio de Pavimentação:** Cada manual foi elaborado para orientar a execução dos ensaios de maneira padronizada e precisa, dividido em seis partes: Introdução, Fundamentação Teórica, Objetivo do Ensaio, Procedimento Experimental (incluindo lista de materiais e metodologia aplicada), Atividade e Apresentação de Resultados, e Referências Bibliográficas.

Essa metodologia tem como objetivo embasar e guiar a confecção de manuais de forma eficiente e precisa através da utilização de normas e procedimentos criados por órgãos federais responsáveis pela infraestrutura rodoviária e de transportes.

Em conclusão, este estudo destacou os significativos benefícios da elaboração e utilização de Manuais de Ensaio de Pavimentação Asfáltica no Laboratório de Solos e

Pavimentação do IFTO. A padronização dos procedimentos reduz imprecisões e variações nos resultados, promovendo um apoio para uma formação acadêmica sólida para os alunos. Esses manuais guiaram e guiam os estudantes nas atividades práticas, proporcionando-lhes experiência valiosa para sua formação profissional. Além disso, a uniformidade nos procedimentos facilita a avaliação e comparação dos resultados, aumentando a confiabilidade dos dados obtidos e identificando áreas de melhoria nos métodos de ensino e nos próprios procedimentos laboratoriais. Em resumo, a aplicação desses manuais representa um avanço significativo na qualidade do ensino e na eficiência dos ensaios laboratoriais, alinhando-se com as exigências do mercado profissional de engenharia civil. E, portanto, para futuros trabalhos, recomenda-se que alunos desenvolvam manuais de procedimentos laboratoriais semelhantes aos elaborados neste TCC, mas voltados para outros laboratórios, tais como os de Solos, Materiais e Hidráulica. A padronização dos procedimentos nesses laboratórios pode proporcionar os mesmos benefícios observados nos ensaios de pavimentação asfáltica, como maior precisão nos resultados, eficiência nos processos de ensino e aprendizagem, e uniformidade nas práticas laboratoriais.

Além disso, a criação de manuais padronizados pode servir como referência para auditorias e inspeções, bem como facilitar a colaboração entre diferentes instituições de ensino e pesquisa. Dessa forma, os alunos estarão contribuindo significativamente para o avanço da qualidade dos ensaios laboratoriais e para a formação de uma base sólida de conhecimento técnico-científico na área de pavimentação asfáltica.

6 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14950/03**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6576/98**: Materiais betuminosos - Determinação da penetração. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7185/86**: SOLO - Determinação da massa específica aparente, "in situ", com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro, 1986.

BERNUCCI, Liede Bariani et al. **Pavimentação asfáltica**: formação básica para engenheiros. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 750 p.: il.

CAPUTO, Homero Pinto; CAPUTO, Armando Negreiros; RODRIGUES, J. Martinho de A. **Mecânica dos solos e suas aplicações**, volume I: fundamentos. 7. Ed. – [reimpor.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2016. p. 180.

DE MEDINA, Jacques; DA MOTTA, Laura Maria Goretti. **Mecânica dos pavimentos**. Editora Interciência, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **DNER-ME 083/98**: Agregados - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **DNER-ME 053/94**: Misturas betuminosas - percentagem de betume. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **DNER-ME 024/94**: Pavimento - determinação das deflexões pela viga Benkelman. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **DNER-ME 043/95**: Misturas betuminosas a quente - ensaio Marshall. Rio de Janeiro, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **DNIT 141/2022 – ES**: Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Brasília: DNIT, outubro 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. **DNIT 412/2019 - ME**. Brasília: DNIT, julho 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES:** Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 136/2018 - ME:** Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2022 – ES:** Pavimentação – Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço. Brasília, 2022.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 146/2012 - ES:** Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Simples - Especificação de Serviço. Rio de Janeiro, 2012.

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

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 148/2012:** Pavimentação asfáltica - Tratamento Superficial Triplo - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 164/2013-ME:** Solos – Compactação utilizando amostras não trabalhadas – Método de Ensaio. Rio de Janeiro, 2013.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 172/2016 - ME:** Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. Brasília, 2016.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 412/2019 - ME:** Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Brasília, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 413/2021 - ME:** Pavimentação – Massa específica, densidade relativa e absorção de agregado graúdo para misturas asfálticas – Método de ensaio. Brasília, 2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 427/2020 - ME:** Pavimentação – Misturas asfálticas – Determinação da densidade relativa máxima medida e da massa específica máxima medida em amostras não compactadas – Método de ensaio. Brasília, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 447/2024 – ME:** Misturas asfálticas – Ensaio de estabilidade e fluência Marshall – Método de ensaio. Brasília, 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 105/2016:** Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria. Brasília, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 101/2020**: Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria. Brasília, 2020.

NBR - 14756/2001 - Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade cinemática, ABNT, Rio de Janeiro, 2001.

SAUNIER, B.; DOLFUS, C.; GEFFROY, G. Histoire de la locomotion terrestre. v. II. **Paris: L'Illustration**, 1936.

APÊNDICES – MANUAIS DE ENSAIOS DE PAVIMENTAÇÃO



MANUAL DE ENSAIO DE DENSIDADE MÁXIMA APARENTE DE CORPOS DE PROVA ASFÁLTICOS

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balança Hidrostática.....	7
Figura 2 – Cesto e recipiente com água.....	7
Figura 3 – Amostra em estufa.....	7
Figura 4 – Aferição de temperatura da água.....	8
Figura 5 – Nível da balança.....	9
Figura 6 – Calibração da balança.....	9
Figura 7 – Pesagem do Corpo de Prova seco.....	10
Figura 8 – Pano para secagem do Corpo de Prova.....	10
Figura 9 – Cronômetro setado em 3 minutos.....	11
Figura 10 – Corpo de Prova submerso.....	11
Figura 11 – Secagem do Corpo de Prova.....	11
Figura 12 – Corpo de Prova superfície seca.....	11
Figura 13 – Fórmula para cálculo de Absorção.....	12
Figura 14 – Fórmula para cálculo de Densidade Aparente Corpo de prova.....	12
Figura 15 – Fórmula para cálculo de Densidade Máxima Aparente.....	13



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
4.1	Materiais	6
4.2	Metodologia	7
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	12
6	REFERÊNCIAS	14

1. INTRODUÇÃO

A compactação inadequada resulta em um pavimento com maior quantidade de vazios de ar, o que facilita a penetração de água e oxigênio. Esses elementos aceleram os processos de oxidação do ligante asfáltico e deterioração dos agregados, reduzindo significativamente a vida útil do pavimento. A presença de muitos vazios na mistura asfáltica favorece o aparecimento de rachaduras e fissuras. Essas falhas estruturais podem evoluir rapidamente devido à infiltração de água e às variações de temperatura, levando a uma deterioração acelerada do pavimento.

Devido à rápida deterioração e falhas prematuras, pavimentos mal compactados necessitam de frequentes reparos e manutenção, o que eleva significativamente os custos de manutenção a longo prazo. Além disso, intervenções frequentes podem causar interrupções no tráfego, afetando negativamente a mobilidade e a economia local.

O ensaio de densidade máxima aparente é essencial em várias etapas do ciclo de execução das obras de pavimentação asfáltica, desde periodicamente, enquanto a pavimentação está sendo realizada, para garantir que a compactação da mistura está adequada em toda a extensão da obra até quando surgem problemas como deformações, fissuras ou outros defeitos na pavimentação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de densidade aparente em corpos de prova asfálticos foi criado devido ao desenvolvimento da pavimentação asfáltica no início do século XX, especialmente nos Estados Unidos, onde houve um grande avanço nas técnicas de construção de estradas devido ao crescimento da indústria automotiva.

Foi nesse período que muitos dos métodos de ensaio, incluindo o de densidade aparente, começaram a ser formalizados. A American Society for Testing and Materials (ASTM) começou a publicar normas específicas para ensaios de materiais de pavimentação, incluindo a densidade máxima aparente.

Sua introdução trouxe benefícios significativos, como maior controle de qualidade, redução de custos e padronização das práticas de pavimentação, o que contribuiu para o avanço da engenharia rodoviária na época. Engenheiros como Thomas H. MacDonald, que foi o chefe do Bureau of Public Roads nos EUA, e outros pesquisadores das universidades americanas e

institutos de pesquisa, desempenharam papéis fundamentais no desenvolvimento e aplicação desses métodos de ensaio.

O ensaio Rice Test é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D2041, e a norma DNER 081/98 - ME, a primeira é americana, já esta última foi desenvolvida pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER). Essas normas estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de densidade máxima aparente em corpos de prova asfálticos é utilizado para determinar a densidade máxima que uma mistura asfáltica pode atingir sob condições específicas de compactação. Este ensaio é um componente chave para calcular a porcentagem de vazios na mistura compactada ajudando a fazer ajustes se necessário na compactação ou na granulometria do traço.

Durante auditorias de obras de pavimentação, o ensaio de densidade aparente é utilizado para testar os padrões da mistura asfáltica utilizada na obra conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento. O teste verifica se a mistura asfáltica foi devidamente compactada durante a execução da pavimentação, pois uma mistura bem compactada tem menos vazios, o que melhora a resistência à infiltração de água e, conseqüentemente, o desgaste prematuro do pavimento.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Estufa;
- Balança de pesagem hidrostática com precisão de 0,1g, deve conter dispositivo para manter suspenso na água, pelo centro do prato da balança, o recipiente que contém a amostra;
- Cesto para pôr corpo de prova;
- Toalha/Pano para secar o corpo de prova;
- Termômetro pra medir a temperatura da água;
- Cronômetro;
- Mesa/bancada para balança e pesagem hidrostática, recipiente grande para pôr a água da torneira.

Figura 1 – Balança Hidrostática



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Cesto e recipiente com água



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Colocar os corpos de prova na estufa durante a noite, mantendo a temperatura entre 50°C e 60°C;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

2. Manter a temperatura ambiente do laboratório em $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
3. Retirar os corpos de prova da estufa e deixar esfriarem até 25°C , com uma tolerância de $\pm 5^{\circ}\text{C}$;
4. Encher o recipiente da bancada com água da torneira e ajustar a temperatura para $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;

Figura 4 – Aferição de temperatura da água

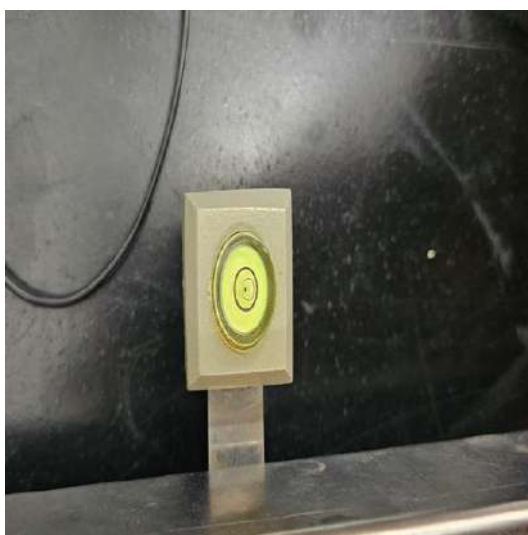


Fonte: AUTOR (2024)

- 4.1. Se a temperatura estiver abaixo de 24°C , aquecer um pouco de água e adicionar ao recipiente;
- 4.2. Se a temperatura estiver acima de 25°C , adicionar cubos de gelo para resfriá-la;

5. Verificar a precisão da balança eletrônica de precisão de 0,01g;
- 5.1. Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 5.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

6. Tarar a balança e pesar todos os corpos de prova secos (peso a);

Figura 7 – Pesagem do Corpo de Prova seco



Fonte: AUTOR (2024)

7. Colocar uma toalha seca na bancada, próxima à balança;

Figura 8 – Pano para secagem do Corpo de Prova



Fonte: AUTOR (2024)

8. Ajustar o cronômetro para 3 minutos, submergir o primeiro corpo de prova e ler seu peso após o tempo definido (peso b);

Figura 9 – Cronômetro setado em 3 minutos



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 10 – Corpo de Prova submerso



Fonte: AUTOR (2024)

9. Retirar o corpo de prova do cesto, secar com a toalha até que fique levemente umedecido, sem excesso de água visível;

Figura 11 – Secagem do Corpo de Prova



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 12 – Corpo de Prova superfície seca



Fonte: AUTOR (2024)

10. Pese o corpo de prova na condição umedecida (peso c);

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a pesagem de maneira correta em cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos Absorção, Densidade Máxima Aparente e Grau de Compactação de acordo com as figuras retratadas abaixo, DNER-ME 081/98 - Absorção, Densidade Aparente e Grau de Compactação.

Para calcular a Absorção:

Figura 13 – Fórmula para cálculo de Absorção

$$Absorção_{\%} = \frac{(c - a)}{(c - b)}$$

Fonte: DNER – ME 081/98 (1998)

Onde:

a = Peso corpo de prova seco;

b = Peso corpo de prova submerso;

c = Peso corpo de prova umedecido;

Para calcular a Densidade Aparente do corpo de prova

Figura 14 – Fórmula para cálculo de Densidade Aparente Corpo de prova

$$D_{ap} = \frac{a}{(c - b)}$$

Fonte: DNER – ME 081/98 (1998)

Onde:

a = Peso corpo de prova seco;

b = Peso corpo de prova submerso;

c = Peso corpo de prova umedecido;

Para calcular a Densidade Máxima Aparente do corpo de prova

Figura 15 – Fórmula para cálculo de Densidade Máxima Aparente

$$GC_{\%} = \frac{D_{ap}}{D_{máx}}$$

Fonte: DNER – ME 081/98 (1998)

Onde:

$D_{máx}$ = Densidade Máxima Aparente do CP informada no projeto da obra (traço);

D_{ap} = Densidade Aparente do CP no ensaio.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T209**: Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity (Gmm) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA). Washington, D.C.: AASHTO, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2041**: Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 081/98**: Agregados - determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro: DNER, 1998.



MANUAL DE ENSAIO DE DENSIDADE MÁXIMA TEÓRICA DE MASSA ASFÁLTICA - RICE TEST

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aparelho Rice Test.....	7
Figura 2 – Bomba de Vácuo.....	7
Figura 3 – Amostra em estufa.....	7
Figura 4 – Amostra destorroadada.....	8
Figura 5 – Amostra em temperatura de 25°C.....	8
Figura 6 – Nível da balança.....	9
Figura 7 – Calibração da bala.....	9
Figura 8 – Pesagem do recipiente vazio e seco.....	10
Figura 9 – Pesagem da amostra.....	10
Figura 10 – Amostra submersa em água destilada.....	11
Figura 11 – Amostra fixada e tampada na mesa agitadora.....	11
Figura 12 – Manômetro de pressão.....	12
Figura 13 – Pesagem da amostra com água destilada completada.....	13
Figura 14 – Recipiente cheio com água destilada.....	14
Figura 15 – Fórmula para cálculo de Teor de Ligante.....	14



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
FHWA	Federal Highway Administration
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
4.1	Materiais	6
4.2	Metodologia	7
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	14
6	REFERÊNCIAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

A compactação inadequada resulta em um pavimento com maior quantidade de vazios de ar, o que facilita a penetração de água e oxigênio. Esses elementos aceleram os processos de oxidação do ligante asfáltico e deterioração dos agregados, reduzindo significativamente a vida útil do pavimento. A presença de muitos vazios na mistura asfáltica favorece o aparecimento de rachaduras e fissuras. Essas falhas estruturais podem evoluir rapidamente devido à infiltração de água e às variações de temperatura, levando a uma deterioração acelerada do pavimento.

Devido à rápida deterioração e falhas prematuras, pavimentos mal compactados necessitam de frequentes reparos e manutenção, o que eleva significativamente os custos de manutenção a longo prazo. Além disso, intervenções frequentes podem causar interrupções no tráfego, afetando negativamente a mobilidade e a economia local.

O uso do Rice Test é imprescindível em várias etapas do ciclo de vida das misturas asfálticas, desde o desenvolvimento e produção até a aplicação e fiscalização. Ele fornece dados críticos que asseguram a qualidade, durabilidade e segurança dos pavimentos, alinhando-se às normas técnicas e contribuindo para a eficiência das obras de pavimentação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Rice Test foi desenvolvido nos Estados Unidos durante a década de 1940 por James Rice, um engenheiro que trabalhou com a Administração Federal de Rodovias dos EUA (FHWA). A necessidade do teste surgiu para melhorar a qualidade dos pavimentos asfálticos, especialmente devido ao aumento do uso de veículos pesados e ao crescimento das rodovias pavimentadas na época.

Antes do desenvolvimento do Rice Test, os métodos existentes não conseguiam garantir com precisão a densidade máxima teórica das misturas asfálticas. Isso resultava em pavimentos com variações na compactação, levando a uma durabilidade menor e a uma maior necessidade de manutenção. James Rice, trabalhando com a Administração Federal de Rodovias dos EUA (FHWA), identificou a necessidade de um método mais eficaz para medir a densidade teórica máxima, o que levou ao desenvolvimento do Rice Test.

Este teste permitiu calcular com precisão o teor de vazios na mistura asfáltica, fundamental para determinar a quantidade ideal de ligante asfáltico e assegurar uma

compactação uniforme. A implementação do Rice Test resultou em pavimentos mais resistentes e duradouros, capazes de suportar melhor o tráfego pesado e as condições climáticas adversas.

O ensaio Rice Test é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D2041, a AASHTO T209, a norma DNIT 427/2020 - ME, e o PROC-IBR-ROD 108/2018 as duas primeiras americanas, já estes dois últimos foram desenvolvidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e pelo Instituto Brasileiro de Obras Públicas (IBRAOP) respectivamente. Essas normas estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de densidade máxima teórica – Rice Test é utilizado para determinar o peso específico máximo de misturas betuminosas em condições de vácuo. Esse índice é crucial para avaliar a compactação das misturas asfálticas e garantir que a qualidade e a durabilidade do pavimento atendam às especificações técnicas necessárias.

Durante fiscalizações de obras de pavimentação, o Rice Test é utilizado para testar os padrões da mistura asfáltica utilizada na obra conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento. O teste verifica se a densidade obtida no campo alcança a densidade máxima teórica determinada em laboratório, o que é um indicativo da boa prática de compactação durante a construção.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

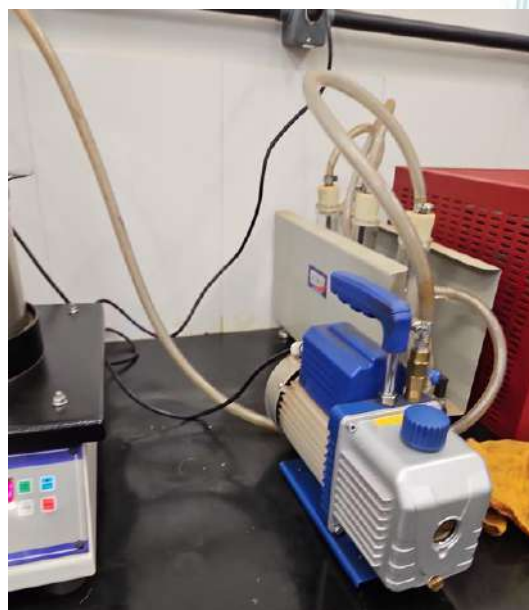
- Equipamento para Rice Test, composto de recipiente com vedação, mesa agitadora, bomba de vácuo e manômetro;
- Luvas de raspa de couro;
- Estufa;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Espátulas rígidas metálicas;
- Bandejas metálicas;
- Água destilada.

Figura 1 – Aparelho Rice Test



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Bomba de Vácuo



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Colocar o corpo de prova em uma bandeja;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

2. Levar a bandeja à estufa e deixar por aproximadamente 5 minutos a uma temperatura de 150°C, até que a amostra esteja amolecida;
3. Retirar a bandeja da estufa, apoiar em uma bancada e, com o auxílio de uma espátula, desagregar o corpo de prova o máximo possível, formando aglomerados de partículas finas com no máximo 6 mm;

Figura 4 – Amostra destorroada



Fonte: AUTOR (2024)

4. Deixar a amostra esfriar até atingir uma temperatura de 25°C ± 1°C;

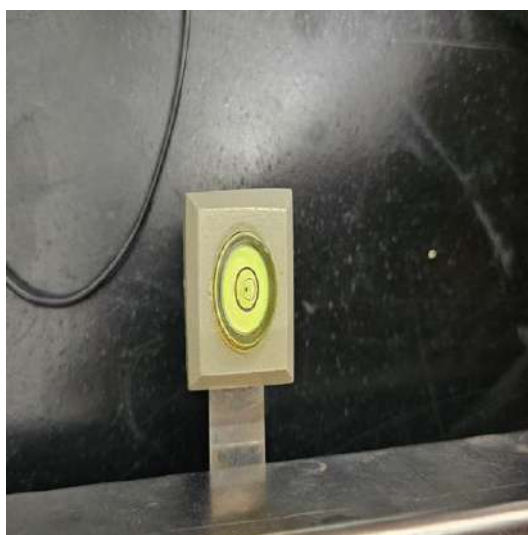
Figura 5 – Amostra em temperatura de 25°C



Fonte: AUTOR (2024)

5. Verificar a precisão da balança eletrônica de precisão de 0,01g;
 - 5.1. Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;

Figura 6 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 5.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 7 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

6. Pesar o recipiente vazio do Rice Test (peso a), com precisão de 0,1 g;

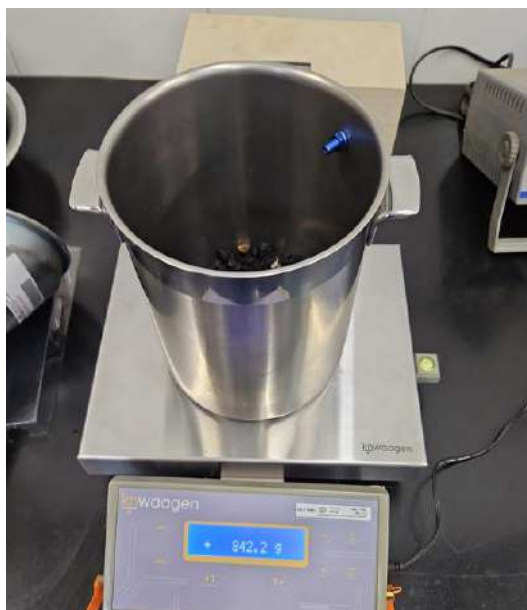
Figura 8 – Pesagem do recipiente vazio e seco



Fonte: AUTOR (2024)

7. Colocar toda a amostra desagregada no recipiente devidamente tarado e pesar (peso b), com precisão de 0,1 g;

Figura 9 – Pesagem da amostra



Fonte: AUTOR (2024)

8. Adicionar água destilada a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ no recipiente até cobrir completamente a amostra seca, deixando aproximadamente 3 a 5 cm de água acima do nível da amostra;

Figura 10 – Amostra submersa em água destilada



Fonte: AUTOR (2024)

9. Tampar bem o recipiente com a amostra, fixá-lo na mesa agitadora e conectar a mangueira à bomba de vácuo;

Figura 11 – Amostra fixada e tampada na mesa agitadora



Fonte: AUTOR (2024)

10. Fechar a válvula superior do recipiente (vertedouro de água) e ligar a bomba de vácuo.;
11. Ligar a agitação da mesa;
12. Observar a pressão no interior do recipiente no manômetro e mantê-la entre 25 e 30 mm de Hg, regulando a válvula de entrada de ar conforme necessário;

Figura 12 – Manômetro de pressão



Fonte: AUTOR (2024)

13. Manter a bomba e a agitação da mesa em funcionamento por 15 minutos;
14. Desligar a agitação da mesa, reduzir lentamente a pressão no interior do recipiente e, em seguida, desligar a bomba;
15. Remover o recipiente do Rice Test, abrir a tampa e completar o volume com água destilada cuidadosamente, evitando a formação de bolhas. Utilizar o funil superior e abrir a válvula do vertedouro até que a água adicionada transborde;
16. Levar o conjunto completo à balança e pesar com precisão de 0,1 g (peso c), juntamente com os mesmos acessórios utilizados nas pesagens anteriores;

Figura 13 – Pesagem da amostra com água destilada completada



Fonte: AUTOR (2024)

17. Esvaziar totalmente o recipiente, preservando toda a amostra com o auxílio de peneiras para ensaios subsequentes.
18. Etiquetar a amostra final para continuidade dos ensaios;
19. Encher completamente o recipiente com água destilada a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, cuidadosamente para evitar a formação de bolhas, tampar e finalizar a adição de água usando o funil superior (abrir a válvula do vertedouro até que a água adicionada transborde);
20. Pesar o conjunto completo com precisão de 0,1 g (peso d), juntamente com os mesmos acessórios utilizados nas pesagens anteriores;

Figura 14 – Recipiente cheio com água destilada



Fonte: AUTOR (2024)

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a pesagem de maneira correta em cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos de acordo com a figura retratada abaixo cuja foi retirada do PROC-IBR-ROD 108/2018 - Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

Figura 15 – Fórmula para cálculo de Densidade Máxima Teórica

$$D_{mm} = \frac{b - a}{(d - a) - (c - b)}$$

Fonte: PROC-IBR-ROD 108/2018 (2018)

Onde:

a = Peso recipiente Vazio;

b = Peso da Amostra destorroadada;

c = Peso Amostra + Água destilada + Peso do Recipiente;

d = Peso recipiente cheio de água destilada.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T209**: Standard Method of Test for Theoretical Maximum Specific Gravity (Gmm) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA). Washington, D.C.: AASHTO, 2019.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2041**: Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM, 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 427/2020 - ME**: Misturas betuminosas - determinação da densidade máxima teórica e medida de camadas. Rio de Janeiro: DNIT, 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 110/2018**: Procedimento de fiscalização de obras rodoviárias. Brasília: IBR, 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 108/2018**: Análise de densidade máxima teórica e medida de camadas de concreto asfáltico para fins de auditoria. Brasília: IBR, 2018.



MANUAL DE ENSAIO DE DENSIDADE REAL DE AGREGADO GRAÚDO

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Balança Hidrostática.....	7
Figura 2 – Cesto e amostra seca.....	7
Figura 3 – Amostra em estufa.....	7
Figura 4 – Aferição de temperatura da água.....	8
Figura 5 – Nível da balança.....	9
Figura 6 – Calibração da balança.....	9
Figura 7 – Pesagem do agregado gráúdo seco.....	10
Figura 8 – Pano para secagem do agregado gráúdo.....	10
Figura 9 – Cronômetro setado em 3 minutos.....	11
Figura 10 – Agregado gráúdo submerso.....	11
Figura 11 – Secagem do Agregado Gráúdo.....	11
Figura 12 – Pesagem do agregado gráúdo seco.....	11
Figura 13 – Fórmula para cálculo de Densidade Real de Agregado Gráúdo.....	12



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
4.1	Materiais	6
4.2	Metodologia	7
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	12
6	REFERÊNCIAS.....	13

1. INTRODUÇÃO

A compactação inadequada resulta em um pavimento com maior quantidade de vazios de ar, o que facilita a penetração de água e oxigênio. Esses elementos aceleram os processos de oxidação do ligante asfáltico e deterioração dos agregados, reduzindo significativamente a vida útil do pavimento. A presença de muitos vazios na mistura asfáltica favorece o aparecimento de rachaduras e fissuras. Essas falhas estruturais podem evoluir rapidamente devido à infiltração de água e às variações de temperatura, levando a uma deterioração acelerada do pavimento.

Devido à rápida deterioração e falhas prematuras, pavimentos mal compactados necessitam de frequentes reparos e manutenção, o que eleva significativamente os custos de manutenção a longo prazo. Além disso, intervenções frequentes podem causar interrupções no tráfego, afetando negativamente a mobilidade e a economia local.

O ensaio de densidade real é essencial em várias etapas do ciclo de execução das obras de pavimentação asfáltica, desde periodicamente, enquanto a pavimentação está sendo realizada, para garantir que a compactação da mistura está adequada em toda a extensão da obra até quando surgem problemas como deformações, fissuras ou outros defeitos na pavimentação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de densidade real em agregado graúdo foi criado devido ao desenvolvimento da pavimentação asfáltica no início do século XX, especialmente nos Estados Unidos, onde houve um grande avanço nas técnicas de construção de estradas devido ao crescimento da indústria automotiva.

Foi nesse período que muitos dos métodos de ensaio, incluindo o de densidade real, começaram a ser formalizados. A American Society for Testing and Materials (ASTM) começou a publicar normas específicas para ensaios de materiais de pavimentação, incluindo a densidade máxima aparente.

A criação e a evolução dessas normas técnicas são resultado de esforços contínuos de comitês técnicos compostos por especialistas da indústria, academia e governo. O ensaio Rice Test é regido por normas técnicas específicas, a ASTM C127, a norma AASHTO T 85, e a norma DNIT 413/2021. A primeira e a segunda são americanas, já esta última foi desenvolvida pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Essas normas

estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de densidade real de agregado graúdo é utilizado para determinar a densidade relativa do material, excluindo os poros permeáveis. Este ensaio fornece informações cruciais sobre a qualidade e as características dos agregados utilizados na confecção de massa asfáltica. Este ensaio é um componente chave para calcular a porcentagem de vazios na mistura compactada ajudando a fazer ajustes se necessário na compactação ou na granulometria do traço.

Durante auditorias de obras de pavimentação, o ensaio de densidade real é utilizado para testar os padrões da mistura asfáltica utilizada na obra conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento. O teste verifica se o agregado atende todos durante a execução da pavimentação, pois uma mistura bem compactada tem menos vazios, o que melhora a resistência à infiltração de água e, conseqüentemente, o desgaste prematuro do pavimento.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Estufa;
- Balança de pesagem hidrostática com precisão de 0,1g, deve conter dispositivo para manter suspenso na água, pelo centro do prato da balança, o recipiente que contém a amostra;
- Cesto para pôr corpo de prova;
- Toalha/Pano para secar o corpo de prova;
- Termômetro pra medir a temperatura da água;
- Cronômetro;
- Mesa/bancada para balança e pesagem hidrostática, recipiente grande para pôr a água da torneira.

Figura 1 – Balança Hidrostática



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Cesto e amostra seca



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Colocar os corpos de prova na estufa durante a noite, mantendo a temperatura 100°C;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

2. Manter a temperatura ambiente do laboratório em 25°C $\pm$ 1°C;
3. Retirar o agregado gráudo da estufa e deixar esfriarem até 25°C, com uma tolerância de $\pm$ 5°C;

4. Encher o recipiente da bancada com água da torneira e ajustar a temperatura para $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;

Figura 4 – Aferição de temperatura da água

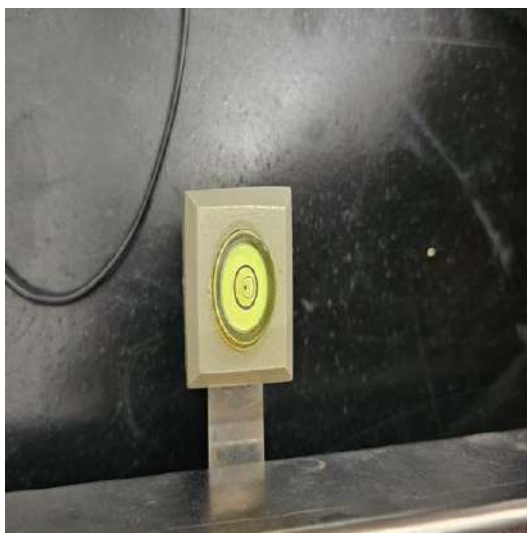


Fonte: AUTOR (2024)

- 4.1. Se a temperatura estiver abaixo de 24°C , aquecer um pouco de água e adicionar ao recipiente;
- 4.2. Se a temperatura estiver acima de 25°C , adicionar cubos de gelo para resfriá-la;

5. Verificar a precisão da balança eletrônica de precisão de 0,01g;
- 5.1. Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 5.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

6. Tarar a balança e pesar a amostra seca de agregado graúdo (peso a);

Figura 7 – Pesagem do agregado graúdo seco



Fonte: AUTOR (2024)

7. Colocar uma toalha seca na bancada, próxima à balança;

Figura 8 – Pano para secagem do agregado graúdo



Fonte: AUTOR (2024)

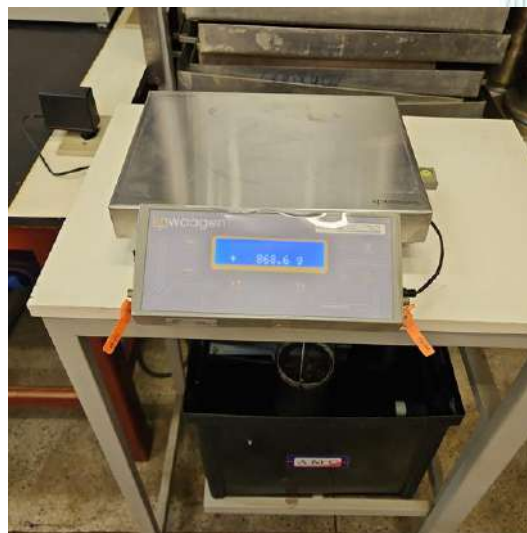
8. Ajustar o cronômetro para 3 minutos, submergir o agregado gráudo e ler seu peso após o tempo definido (peso b);

Figura 9 – Cronômetro setado em 3 minutos



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 10 – Agregado gráudo submerso



Fonte: AUTOR (2024)

9. Retirar o agregado gráudo do cesto, secar com a toalha até que fique levemente umedecido, sem excesso de água visível;

Figura 11 – Secagem do Agregado Graúdo



Fonte: AUTOR (2024)

10. Pese o agregado gráudo na condição umedecida (peso c);

Figura 12 – Pesagem do agregado gráudo seco



Fonte: AUTOR (2024)

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a pesagem de maneira correta em cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos de Densidade Real de Agregado Gráudo de acordo com a figura retratada abaixo, DNIT 413/2021.

Para calcular a densidade:

Figura 13 – Fórmula para cálculo de Densidade Real de Agregado Gráudo

$$D_{real} = \frac{a}{(c - b)}$$

Fonte: DNIT 413/2021 (2021)

Onde:

a = Peso do agregado seco;

b = Peso do agregado submerso;

c = Peso agregado com superfície umedecida;

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 85**: Standard Method of Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate. Washington, D.C.: AASHTO, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 53/2003**: Materiais betuminosos - Determinação de ponto de amolecimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16917/2021**: Pavimentação asfáltica - Misturas asfálticas mornas. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C127-15**: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken, PA: ASTM, 2015.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 081/98**: Agregados - Determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo. Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER ME 093/94**: Solos - Determinação do equivalente de areia. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.



MANUAL DE ENSAIO DE ESTABILIDADE E FLUÊNCIA MARSHALL

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prensa Automatizada.....	7
Figura 2 – Adaptador Ensaio Marshall.....	7
Figura 3 – Aferição de espessura do corpo de prova.....	8
Figura 4 – Aferição de diâmetro do corpo de prova.....	8
Figura 5 – Cabo VGA.....	8
Figura 6 – Botão de ligar a prensa.....	9
Figura 7 – Programa TESC.....	9
Figura 8 – Escolha do tipo de ensaio.....	9
Figura 9 – Nomear rodovia e trecho.....	10
Figura 10 – Dados em mm.....	10
Figura 11 – Ajuste de descida de adaptador.....	10
Figura 12 – Comandos da prensa.....	10
Figura 13 – Ajuste de subida de adaptador.....	11
Figura 14 – Comandos da prensa.....	11
Figura 15 – Imersão dos corpos de prova em banho maria.....	12
Figura 16 – Aferição de temperatura.....	12
Figura 17 – Retirada de corpos de prova do banho maria.....	12
Figura 18 – Posicionamento do corpo de prova na prensa.....	13
Figura 19 – Exibir indicador digital.....	13
Figura 20 – Indicador Digital.....	13
Figura 21 – Resultados do leitor.....	14
Figura 22 – Figura do relatório com resultados e gráficos.....	15
Figura 23 – Equações do fator y.....	16
Figura 24 – Fórmula da estabilidade em kN.....	16
Figura 25 – Fórmula para cálculo de relação estabilidade/fluência.....	17
Figura 26 – Parâmetros mínimos para estabilidade.....	17



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
WES	Waterways Experiment Station
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	15
6	REFERÊNCIAS.....	18

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de criar o ensaio de estabilidade e fluência surgiu da falta de métodos padronizados que pudessem avaliar a durabilidade e a resistência das misturas asfálticas de forma consistente. Antes da sua introdução, a falta de um procedimento confiável resultava frequentemente em pavimentos de baixa durabilidade e susceptíveis a falhas precoces. O ensaio de Marshall preencheu essa lacuna, oferecendo uma metodologia que não apenas determina a quantidade ideal de ligante asfáltico, mas também avalia a estabilidade das misturas e sua capacidade de resistir a deformações permanentes, elementos cruciais para a longevidade dos pavimentos.

Para assegurar a precisão e consistência dos resultados obtidos no ensaio de estabilidade e fluência, são utilizados diversos parâmetros de avaliação, como a relação entre a estabilidade e a fluência, a densidade aparente e a porcentagem de vazios na mistura asfáltica. Esses parâmetros são críticos para a avaliação da qualidade das misturas e para garantir que elas atendam aos requisitos de durabilidade e desempenho sob condições de tráfego intensas e variáveis. A análise detalhada desses parâmetros permite a otimização das misturas asfálticas, assegurando que os pavimentos possam resistir às exigências do tráfego.

O uso do ensaio de estabilidade e fluência é amplamente reconhecido e aplicado em várias etapas da construção e manutenção de rodovias. Desde a fase de projeto das misturas até a verificação da qualidade durante a construção e a análise de desempenho em auditorias e fiscalizações, este ensaio é uma ferramenta crucial para engenheiros de pavimentação. Ele garante que os materiais utilizados sejam de alta qualidade e que os pavimentos resultantes possuam a resistência necessária para suportar o uso contínuo e prolongado.

Portanto, o ensaio de estabilidade e fluência não é apenas uma questão de conformidade normativa, mas uma prática essencial que influencia diretamente a integridade estrutural e a funcionalidade de estradas e rodovias pavimentadas com CAUQ.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de estabilidade e fluência, conhecido como Método Marshall, foi desenvolvido por Bruce G. Marshall, um engenheiro do Mississippi State Highway Department, em 1939. Marshall concebeu este método para melhorar o design das misturas asfálticas utilizadas nas estradas, focando em garantir a resistência e a durabilidade dos pavimentos sob condições de tráfego.

Após sua criação, o ensaio foi aprimorado pela U.S. Army Corps of Engineers, especialmente pelo Waterways Experiment Station (WES) em 1948. O WES introduziu a medição da deformação plástica (fluência) além da resistência máxima (estabilidade), permitindo uma avaliação mais completa das propriedades mecânicas das misturas asfálticas.

O ensaio de estabilidade e fluência é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D6927, a AASHTO T245, e as normas DNIT 031/2006 - ES, e DNIT 447/2024 – ME. As duas primeiras americanas, já estas duas últimas foram desenvolvidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Essas normas e procedimentos estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados, além de segurança durante o processo.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O principal objetivo do ensaio de estabilidade e fluência é avaliar a resistência e a capacidade de deformação das misturas asfálticas sob cargas repetidas e permanentes. Esse ensaio permite determinar a capacidade da mistura de suportar as condições de tráfego e ambientais ao longo do tempo.

Durante fiscalizações de obras de pavimentação asfáltica, o ensaio de estabilidade e fluência é utilizado para verificar se as misturas asfálticas aplicadas atendem aos requisitos de projeto e normas técnicas.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Prensa Marshall automática ou manual com anel dinamométrico;
- Adaptador Marshall;
- Aparelho de Banho Maria;
- Pinça (pegador) para corpo de prova Marshall;
- Cronômetro;
- Paquímetro;
- Toalhas.

Figura 1 – Prensa Automatizada



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Adaptador Ensaio Marshall



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Verificar as medidas de espessura e diâmetro dos corpos de prova, onde, deve-se fazer a 4 (quatro) leituras de diâmetro, tirar a média, proceder da mesma forma com as espessuras. Utilizar essas medidas para execução do tópico 3.5;

Figura 3 – Aferição de espessura do corpo de prova



Fonte: AUTOR (2024)

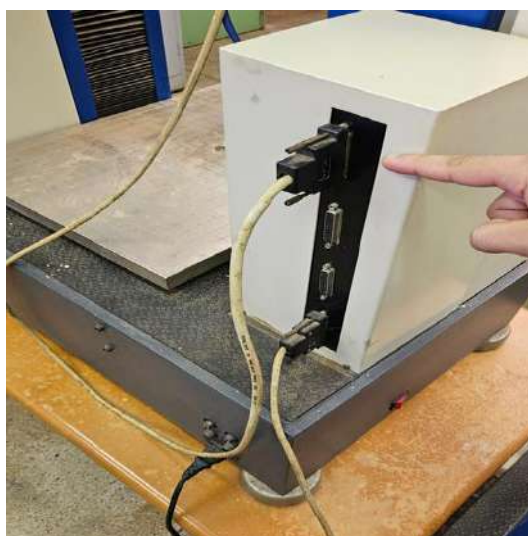
Figura 4 – Aferição de diâmetro do corpo de prova



Fonte: AUTOR (2024)

2. Ajustar o adaptador Marshall na prensa;
3. Ajustar a prensa para realizar o Ensaio Marshall utilizando seus controles internos;
- 3.1 Verificar se o cabo VGA está conectado à máquina;

Figura 5 – Cabo VGA



Fonte: AUTOR (2024)

3.2 Ligar o computador;

3.3 Ligar a máquina;

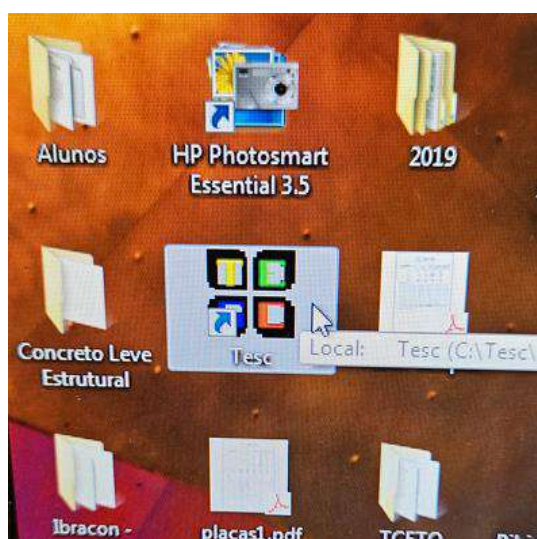
Figura 6 – Botão de ligar a prensa



Fonte: AUTOR (2024)

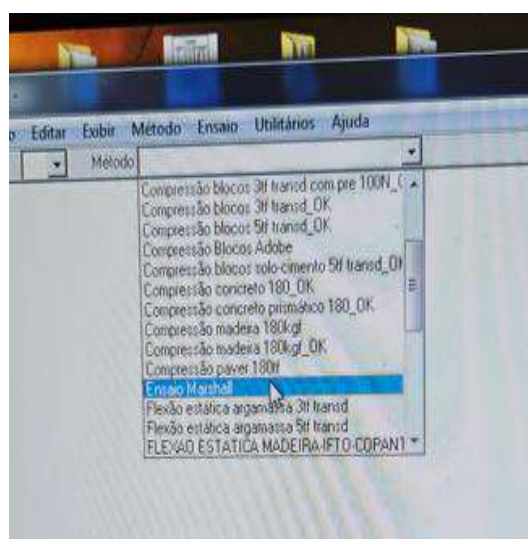
3.4 Abrir o TESC (Programa utilizado para realizar a comunicação entre prensa e computador) e escolher o método de entrada no TESC (Ensaio Marshall);

Figura 7 – Programa TESC



Fonte: AUTOR (2024)

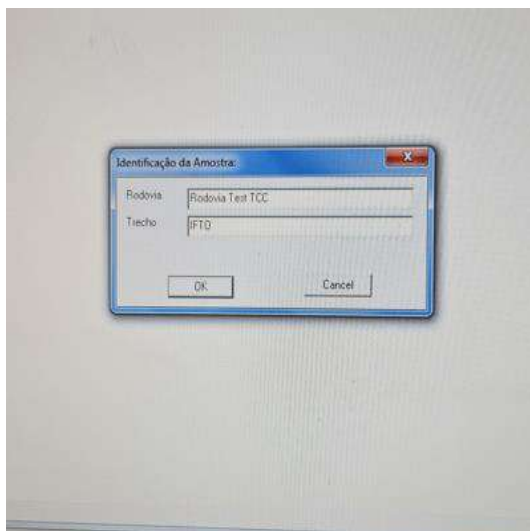
Figura 8 – Escolha do tipo de ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

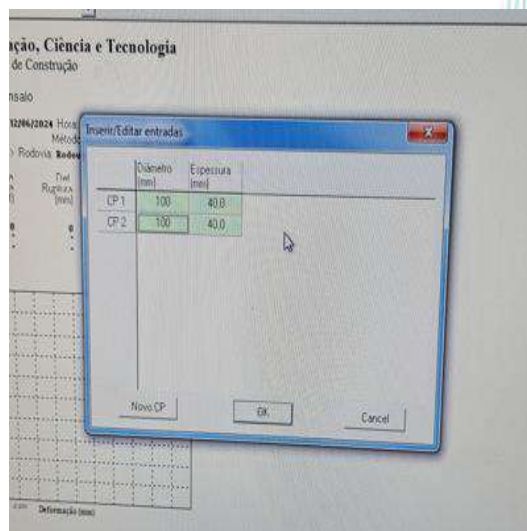
3.5 Colocar nome da Rodovia e trecho, e entrar com os dados de espessura e diâmetro do corpo de prova em mm;

Figura 9 – Nomear rodovia e trecho



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 10 – Dados em mm



Fonte: AUTOR (2024)

3.6 Colocar o adaptador de ensaio;

3.7 Gravar o fim de curso da decida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e desce a célula de carga até onde precisa;

Figura 11 – Ajuste de descida de adaptador



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 12 – Comandos da prensa



Fonte: AUTOR (2024)

3.8 Para confirmar a programação de descida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e averiguar se deu certo;

3.9 Gravar o fim de curso da subida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e sobe a célula de carga até onde precisa;

Figura 13 – Ajuste de subida de adaptador



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 14 – Comandos da prensa



Fonte: AUTOR (2024)

3.10 Para confirmar a programação de subida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e averiguar se deu certo;

4. Retirar o adaptador Marshall da prensa;
5. Colocar água no aparelho de banho-maria em quantidade suficiente para cobrir completamente os corpos de prova;
6. Ajustar o termostato para 60°C e aguardar a estabilização da temperatura;

7. Imergir os corpos de prova no banho-maria;

Figura 15 – Imersão dos corpos de prova em banho maria



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 16 – Aferição de temperatura



Fonte: AUTOR (2024)

8. Configurar o cronômetro para soar o alarme após 30 minutos;
9. Quando o alarme soar, configurar o cronômetro para um novo alarme em 10 minutos. Se não houver tempo suficiente para romper todos os corpos de prova, removê-los e resfriá-los para ensaiar no dia seguinte;
10. Utilizar uma pinça para retirar o primeiro corpo de prova do banho-maria e secá-lo rapidamente com uma toalha;

Figura 17 – Retirada de corpos de prova do banho maria



Fonte: AUTOR (2024)

11. Posicionar cuidadosamente o corpo de prova no adaptador Marshall, assegurando apoio completo;

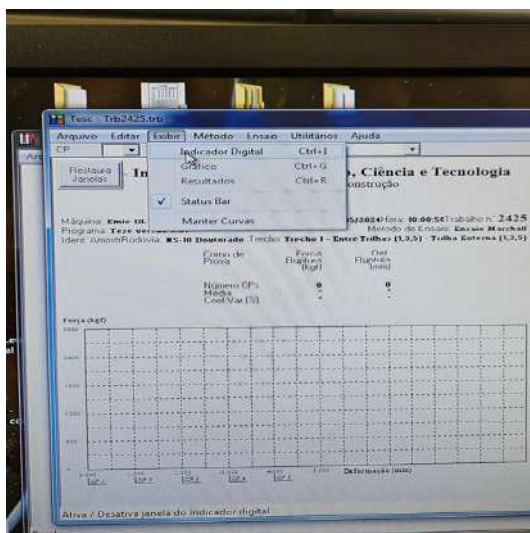
Figura 18 – Posicionamento do corpo de prova na prensa



Fonte: AUTOR (2024)

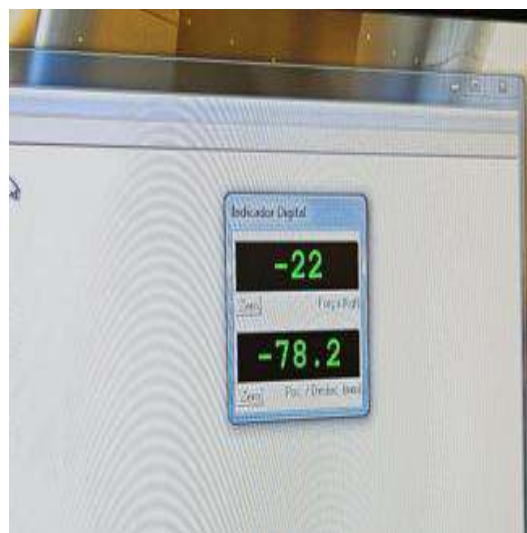
12. Levar o adaptador Marshall à prensa e fixá-lo bem no prato com o pino de apoio;
13. Descer célula de carga prensa até que o adaptador toque levemente o a célula de carga;
14. Configurar o medidor eletrônico de fluência para tocar o adaptador de deslize lateral do adaptador Marshall, fixando-o bem;

Figura 19 – Exibir indicador digital



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 20 – Indicador Digital



Fonte: AUTOR (2024)

15. Iniciar o ensaio apertando a tecla verde “ensaio”, utilizando o leitor auxiliar se necessário;
16. A prensa automaticamente para o ensaio quando a leitura de força diminuir, indicando a ruptura do corpo de prova;

17. Anotar os dados de força (Fr) e fluência (f) em milímetros no leitor;

Figura 21 – Resultados do leitor

Corpo de Prova	Força Ruptura (kgf)	Def. Ruptura (mm)
CP 1	308,9	-4,7
CP 2	373,9	-4,7
CP 3	13,7	-0,4
CP 4	381,3	-4,8
CP 5	409,4	-3,7
CP 6	410,7	-3,3
CP 7	308,9	-4,2
Número CPs	7	7
Média	315,3	-3,675
Coef. Var. (%)	44,26	-42,82

Fonte: AUTOR (2024)

18. Repetir os procedimentos de 10 a 17 para todos os corpos de prova. Se o alarme soar antes da conclusão, retirar e resfriar os corpos restantes para ensaiá-los no dia seguinte.

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Por ser um equipamento moderno, a Prensa automatizada se comunica em tempo real com um computador. Logo, os resultados de estabilidade e fluência juntamente com seus respectivos gráficos acabam saindo já prontos em um relatório gerado pelo programa TESC conforme a imagem abaixo.

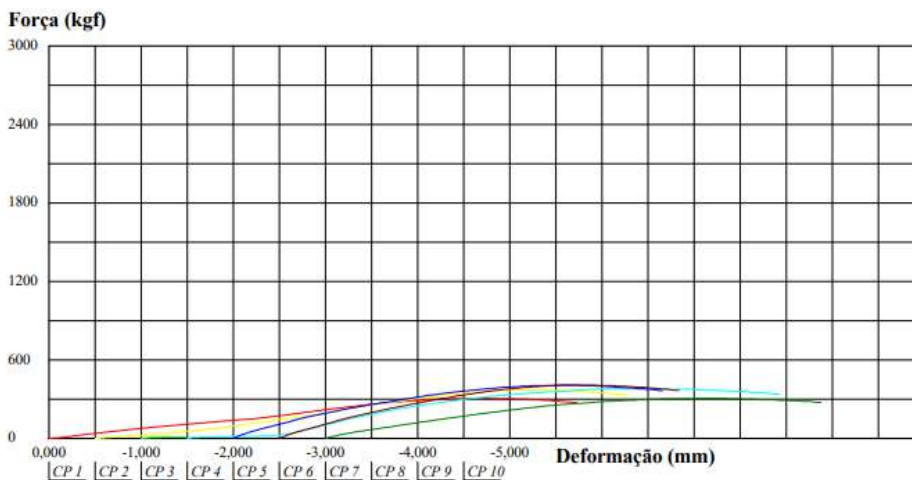
Figura 22 – Figura do relatório com resultados e gráficos

IFTO - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Laboratório de Materiais de Construção

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 27** Extensômetro: **-** Data: **14/05/2024** Hora: **10:00:50** Trabalho n° **2425**
Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Ensaio Marshall**
Ident. Amostra: **>>>>** Rodovia: **NS-10 Doutorado Elci** Trecho: **Trecho 1 - Entre Trilhas (1,3,5) - Trilha Externa (1,3,5)**

Corpo de Prova	Força Ruptura (kgf)	Def. Ruptura (mm)
CP 1	308,9	-4,7
CP 2	373,9	-4,7
CP 3	13,7	-0,4
CP 4	381,3	-4,8
CP 5	409,4	-3,7
CP 6	410,7	-3,3
CP 7	308,9	-4,2
Número CPs	7	7
Média	315,3	-3,675
Coef.Var.(%)	44,26	-42,82



Fonte: AUTOR (2024)

Entretanto, na ausência de uma prensa mecanizada, pode-se fazer uso da prensa manual com anel dinamométrico, onde deve-se anotar os dados de Força (F_r) e fluência em milímetros (f), lidos nos manômetros para utilizá-los nas formulas abaixo.

20. Utilizar a espessura do corpo de prova rompido para calcular o fator y adequado;

Figura 23 – Equações do fator y

Espessuras	Equação
de 25 a 35mm	$y = 1010,6.x^{-1,61}$
de 35 a 45mm	$y = 14904.x^{-2,361}$
de 45 a 55mm	$y = 2597,7.x^{-1,903}$
de 55 a 65mm	$y = 1094,6.x^{-1,686}$
de 65 a 76,2mm	$y = 515,81.x^{-1,506}$

Fonte: ORIENTAÇÕES GERAIS NEW ROADS (2024)

21. Determinar a estabilidade (E) do corpo de prova em kN;

Figura 24 – Fórmula da estabilidade em kN

$$E = F_r . y$$

Fonte: ORIENTAÇÕES GERAIS NEW ROADS (2024)

Onde:

E = Estabilidade

F_r = Força de ruptura

y = Fator y

22. Determinar a relação estabilidade/fluência ($R_{E/f}$) do corpo de prova em kN/mm;

Figura 25 – Fórmula para cálculo de relação estabilidade/fluência

$$R_{E/f} = \frac{E}{f}$$

Fonte: ORIENTAÇÕES GERAIS NEW ROADS (2024)

Onde:

$R_{E/f}$ = Relação Estabilidade/Fluência

E = Estabilidade

f = fluência em milímetros

Com relação a fluência, a fluência ideal deve estar entre 2,00 e 4,50. Conforme determinado em norma.

Após a obtenção dos resultados, deve-se comparar os mesmos com os parâmetros mínimos estabelecidos na norma DNIT 031/2006 – ES, conforme imagem abaixo.

Figura 26 – Parâmetros mínimos para estabilidade

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 031/2006 (2006)

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T245**: Standard Method of Test for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. Washington, D.C.: AASHTO, 2014.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D1559**: Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. West Conshohocken, PA: ASTM, 1989.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D6927**: Standard Test Method for Marshall Stability and Flow of Asphalt Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM, 2015.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DAER/RS-EL 217/01**: Normas de ensaio para materiais de pavimentação. Porto Alegre: DAER, 2001.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 447/2024**: Estabilidade e Fluência Marshall - Método de Ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 104/2021**: Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria: IBR, 2021.



MANUAL DE ENSAIO DE RESISTÊNCIA À TRAÇÃO POR COMPRESSÃO DIAMETRAL

Breno Aires Monteiro



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Prensa Automatizada.....	7
Figura 2 – Adaptador ensaio Tração.....	7
Figura 3 – Aferição de espessura do corpo de prova.....	8
Figura 4 – Aferição de diâmetro do corpo de prova.....	8
Figura 5 – Cabo VGA.....	8
Figura 6 – Botão de ligar a prensa.....	9
Figura 7 – Programa TESC.....	9
Figura 8 – Nomear rodovia e trecho.....	10
Figura 9 – Dados em cm.....	10
Figura 10 – Ajuste de descida de adaptador.....	10
Figura 11 – Comandos da prensa.....	10
Figura 12 – Ajuste de subida de adaptador.....	11
Figura 13 – Comandos da prensa.....	11
Figura 14 – Posicionamento do corpo de prova na prensa.....	11
Figura 15 – Posicionamento da célula no adaptador.....	12
Figura 16 – Exibir indicador digital.....	12
Figura 17 – Indicador Digital.....	12
Figura 18 – Resultados do leitor.....	13
Figura 19 – Figura do relatório com resultados e gráficos.....	14
Figura 20 – Fórmula da resistência à tração por compressão diametral em mPa.....	15
Figura 21 – Parâmetros mínimos para resistência à tração.....	15



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	14
6	REFERÊNCIAS.....	16

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de criar o ensaio de resistência à tração por compressão diametral surgiu da falta de métodos padronizados que pudessem avaliar a resistência à tração das misturas asfálticas de forma consistente. Antes da sua introdução, a falta de um procedimento confiável resultava frequentemente em pavimentos de baixa durabilidade e susceptíveis a falhas precoces. O ensaio de resistência à tração por compressão diametral preencheu essa lacuna, oferecendo uma metodologia que possibilita obter uma avaliação mais prática e precisa da resistência de materiais que constituem a massa asfáltica.

Historicamente, a criação do ensaio de resistência à tração por compressão diametral foi motivada pela necessidade de superar as dificuldades associadas aos métodos diretos. Os métodos tradicionais de medição da resistência à tração apresentavam limitações significativas, especialmente em termos de precisão, devido à concentração de tensões nos pontos de aplicação de carga. Em contrapartida, o método indireto permite a aplicação uniforme da carga ao longo do diâmetro do corpo de prova, resultando em uma distribuição de tensões mais realista. Esta abordagem é particularmente importante para materiais asfálticos, que estão sujeitos a tensões de tração induzidas pelo tráfego e variações térmicas.

Além de melhorar a precisão dos resultados, este ensaio tem aplicação prática em diversas áreas da engenharia de pavimentação. Por exemplo, ele é essencial na fase de projeto para a seleção da composição ótima da mistura asfáltica. Durante a produção e aplicação das misturas, o ensaio é utilizado para controle de qualidade, garantindo que os materiais aplicados atendam às especificações projetadas. Além disso, na manutenção de pavimentos existentes, este ensaio permite avaliar a condição estrutural dos pavimentos, ajudando a planejar intervenções preventivas e corretivas de maneira mais eficaz.

Portanto, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral não é apenas uma questão de conformidade normativa, mas uma prática essencial que influencia diretamente a integridade estrutural e a funcionalidade de estradas e rodovias pavimentadas com CAUQ.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral, também conhecido como "ensaio brasileiro" ou "Brazilian Test", foi desenvolvido inicialmente por volta da década de 1940. A invenção é frequentemente atribuída ao engenheiro civil brasileiro Leonardo da Vinci Carneiro, que o introduziu como um método simples e eficiente para medir a resistência à tração de materiais frágeis, como concreto e rochas, de forma indireta. Este método foi posteriormente adaptado e utilizado para misturas asfálticas.

O principal objetivo ao criar este ensaio foi superar as dificuldades associadas aos métodos diretos de medição da resistência à tração. Os testes diretos muitas vezes resultavam em falhas nos pontos de aplicação de carga, dificultando a obtenção de resultados precisos. O método indireto ofereceu uma solução prática e confiável, permitindo a aplicação uniforme da carga ao longo do diâmetro do corpo de prova, resultando em uma distribuição de tensões que simula melhor as condições reais encontradas em pavimentos asfálticos e outros materiais frágeis.

Hoje, o ensaio de resistência à tração por compressão diametral é amplamente utilizado em laboratórios de engenharia civil para avaliar a qualidade e a durabilidade de misturas asfálticas. O ensaio de estabilidade e fluência é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D6931, a AASHTO T286, e as normas DNIT 136/2018 - ES, e NBR 7222:2011. As duas primeiras americanas, já estas duas últimas foram desenvolvidas em solo brasileiro. Essas normas e procedimentos estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados, além de segurança durante o processo.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de resistência à tração por compressão diametral tem como principal objetivo avaliar a resistência à tração indireta de misturas asfálticas. Este ensaio é fundamental para verificar a coesão interna e a capacidade do material asfáltico de resistir às tensões de tração induzidas pelo tráfego e pelas variações térmicas, garantindo a durabilidade e a vida útil do pavimento.

Durante fiscalizações, na execução das obras, amostras são coletadas e ensaiadas para garantir que o material aplicado corresponde às especificações do projeto. Os resultados dos ensaios auxiliam na definição de estratégias de manutenção e reabilitação, priorizando intervenções em áreas críticas.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Prensa automatizada ou manual com anel dinamométrico;
- Paquímetro;
- Adaptador ensaio de tração por compressão diametral;

Figura 1 – Prensa Automatizada



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Adaptador ensaio Tração



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Verificar as medidas de espessura e diâmetro dos corpos de prova, onde, deve-se fazer a 4 (quatro) leituras de diâmetro, tirar a média, proceder da mesma forma com as espessuras. Utilizar essas medidas para execução do tópico 3.5;

Figura 3 – Aferição de espessura do corpo de prova



Fonte: AUTOR (2024)

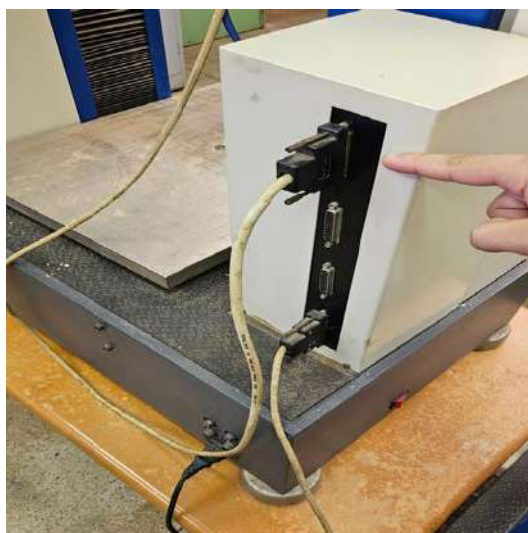
Figura 4 – Aferição de diâmetro do corpo de prova



Fonte: AUTOR (2024)

2. Ajustar o adaptador ensaio de tração na prensa;
 3. Ajustar a prensa para realizar o ensaio de resistência à tração por compressão diametral utilizando seus controles internos;
- 3.1 Verificar se o cabo VGA está conectado à máquina;

Figura 5 – Cabo VGA



Fonte: AUTOR (2024)

- 3.2 Ligar o computador;
- 3.3 Ligar a máquina;

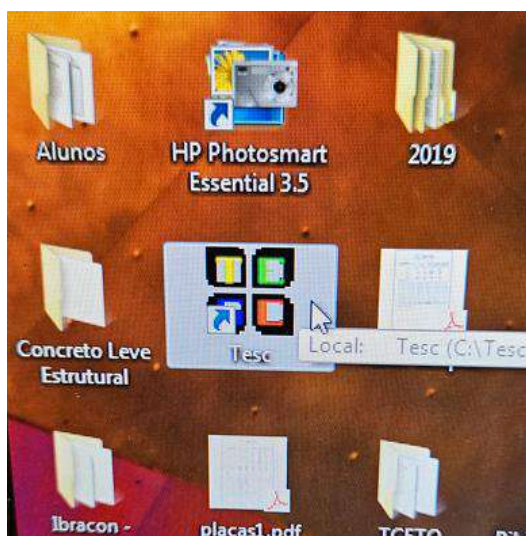
Figura 6 – Botão de ligar a prensa



Fonte: AUTOR (2024)

- 3.4 Abrir o TESC (Programa utilizado para realizar a comunicação entre prensa e computador) e escolher o método de entrada no TESC (Ensaio de Tração por compressão diametral);

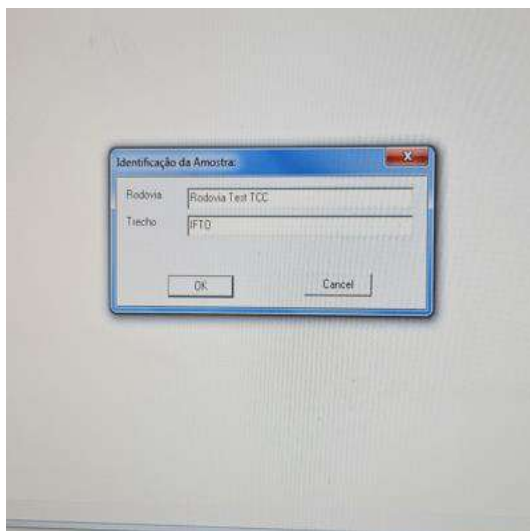
Figura 7 – Programa TESC



Fonte: AUTOR (2024)

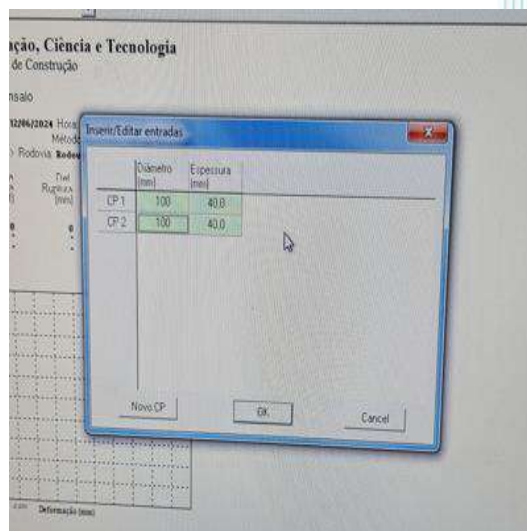
3.5 Colocar nome da Rodovia e trecho, e entrar com os dados de espessura e diâmetro do corpo de prova em mm;

Figura 8 – Nomear rodovia e trecho



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 9 – Dados em cm



Fonte: AUTOR (2024)

3.6 Colocar o adaptador de ensaio;

3.7 Gravar o fim de curso da decida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e desce a célula de carga até onde precisa;

Figura 10 – Ajuste de descida de adaptador



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 11 – Comandos da prensa



Fonte: AUTOR (2024)

3.8 Para confirmar a programação de descida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e averiguar se deu certo;

3.9 Gravar o fim de curso da subida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e sobe a célula de carga até onde precisa;

Figura 12 – Ajuste de subida de adaptador



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 13 – Comandos da prensa



Fonte: AUTOR (2024)

3.10 Para confirmar a programação de subida (Botão 2ª função + botão Retorno - Fim de curso + Tecla verde ensaio) e averiguar se deu certo;

4. Retirar o adaptador de ensaio de tração diametral da prensa;
5. Posicionar cuidadosamente o corpo de prova no adaptador ensaio de tração diametral, assegurando apoio completo;

Figura 14 – Posicionamento do corpo de prova na prensa



Fonte: AUTOR (2024)

6. Levar o adaptador de ensaio de tração diametral à prensa e fixá-lo bem no prato com o pino de apoio;
7. Descer célula de carga prensa até que o adaptador toque levemente o a célula de carga;

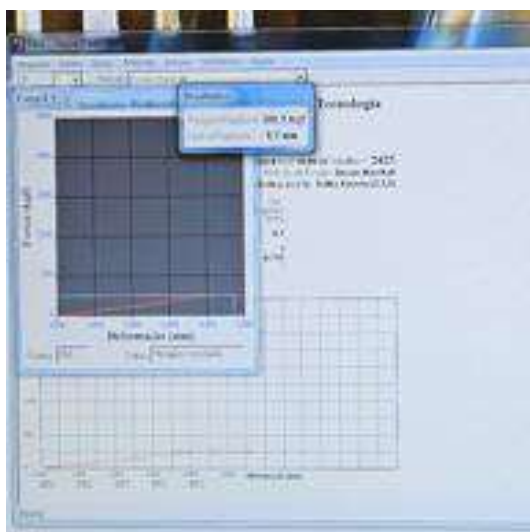
Figura 15 – Posicionamento da célula no adaptador



Fonte: AUTOR (2024)

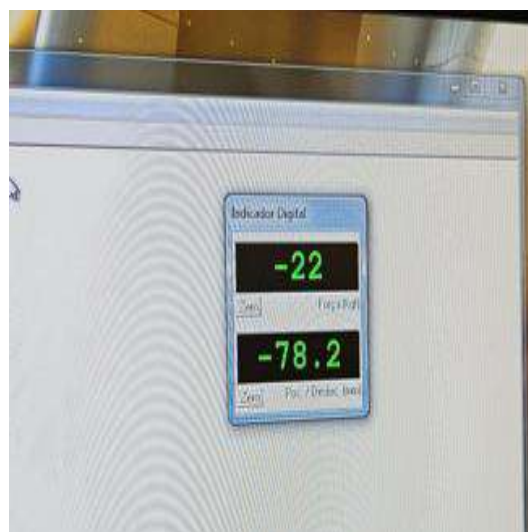
8. Configurar o medidor eletrônico de tração para tocar o adaptador de deslize lateral do adaptador de ensaio de tração diametral, fixando-o bem;

Figura 16 – Exibir indicador digital



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 17 – Indicador Digital



Fonte: AUTOR (2024)

9. Iniciar o ensaio apertando a tecla verde “ensaio”, utilizando o leitor auxiliar se necessário;
10. A prensa automaticamente para o ensaio quando a leitura de força diminuir, indicando a ruptura do corpo de prova;
11. Anotar os dados de Carga de ruptura (em N) no leitor;

Figura 18 – Resultados do leitor

Corpo de Prova	Diâmetro (cm)	Espessura (cm)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à Compressão Diametral (MPa)
CP 1	9,8	4,81	11968,83	1,61
CP 2	9,8	5,13	10642,64	1,34
CP 3	9,9	5,02	11126,00	1,43
CP 4	9,9	5,19	10606,00	1,32
CP 5	9,8	5,25	10518,75	1,30
CP 6	9,9	5,18	9632,30	1,20
Número CPs	6	6	6	6
Média	9,847	5,097	10750	1,367
Desv.Padrão	0,02338	0,1602	769,7	0,1417
Coef.Var.(%)	0,2375	3,143	7,160	10,37
Mínimo	9,820	4,810	9632	1,199
Máximo	9,870	5,250	11970	1,613

Fonte: AUTOR (2024)

12. Repetir os procedimentos de 5 a 10 para todos os corpos de prova.

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

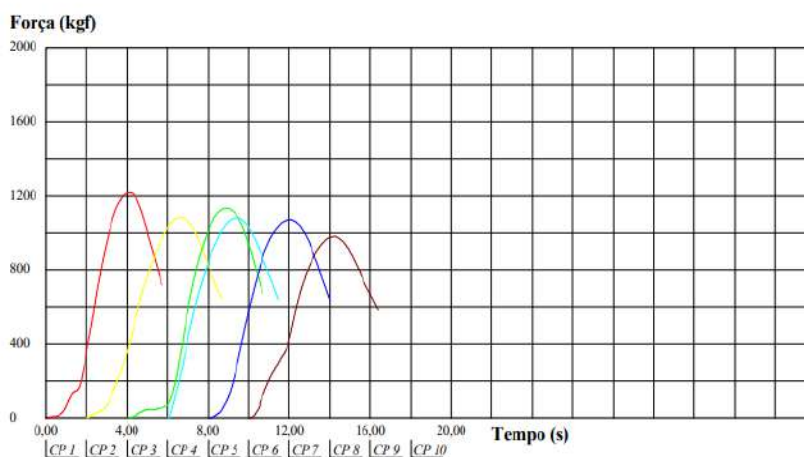
Por ser um equipamento moderno, a Prensa automatizada se comunica em tempo real com um computador. Logo, os resultados de resistência à tração por compressão diametral juntamente com seus respectivos gráficos acabam saindo já prontos em um relatório gerado pelo programa TESC conforme a imagem abaixo.

Figura 19 – Figura do relatório com resultados e gráficos

Relatório de Ensaio

Máquina: **Emic DL10000** Célula: **Trd 27** Extensômetro: - Data: **14/05/2024** Hora: **10:32:56** Trabalho n° **2426**
 Programa: **Tesc versão 3.01** Método de Ensaio: **Tração compressão diametral asfalto**
 Ident. Amostra: >>>>>>> Rodovia: **NS-10 Doutorado Elci** Estaca: **Trecho 1 Entre Trilhas (2,4,6) Trilha Externa (2,4,6)**

Corpo de Prova	Diâmetro (cm)	Espessura (cm)	Carga de Ruptura (N)	Resistência à Compressão Diametral (MPa)
CP 1	9,8	4,81	11968,83	1,61
CP 2	9,8	5,13	10642,64	1,34
CP 3	9,9	5,02	11126,00	1,43
CP 4	9,9	5,19	10606,00	1,32
CP 5	9,8	5,25	10518,75	1,30
CP 6	9,9	5,18	9632,30	1,20
Número CPs	6	6	6	6
Média	9,847	5,097	10750	1,367
Desv.Padrão	0,02338	0,1602	769,7	0,1417
Coef.Var.(%)	0,2375	3,143	7,160	10,37
Mínimo	9,820	4,810	9632	1,199
Máximo	9,870	5,250	11970	1,613



Fonte: AUTOR (2024)

Entretanto, na ausência de uma prensa mecanizada, pode-se fazer uso da prensa manual com anel dinamométrico, onde deve-se anotar os dados carga de ruptura (em N), lidos nos manômetros para utilizá-los na fórmula abaixo, que foi retirada da norma DNIT 136/2018 - ME.

13. Determinar a resistência à tração por compressão diametral (σ_R), em MPa;

Figura 20 – Fórmula da resistência à tração por compressão diametral em MPa

$$\sigma_R = \frac{2F}{\pi \cdot D \cdot H}$$

Fonte: DNIT 136/2018 (2018)

Onde:

σ_R = Resistência à tração, à temperatura do ensaio, em

MPa;

F = Carga de ruptura, em N;

D = Diâmetro de corpo de prova, em mm;

H = Altura do corpo de prova (espessura), em mm;

Após a obtenção dos resultados, deve-se comparar os mesmos com os parâmetros mínimos estabelecidos na norma DNIT 031/2006 – ES, conforme imagem abaixo.

Figura 21 – Parâmetros mínimos para resistência à tração

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 031/2006 (2006)

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T283**: Standard Method of Test for Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage. Washington, D.C.: AASHTO, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7222**: Argamassa e concreto - Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D6931**: Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 136/2018**: Pavimentação asfáltica - Determinação da resistência à tração por compressão diametral. Rio de Janeiro: DNIT, 2018.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 104/2021**: Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria: IBR, 2021.



MANUAL DE ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DAS DEFLEXÕES DE PAVIMENTO – VIGA BENKELMAN

Breno Aires Monteiro



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Viga Benkelman.....	7
Figura 2 – Caminhão eixo simples roda dupla.....	7
Figura 3 – Pesagem do eixo traseiro com carga.....	8
Figura 4 – Calibração dos pneus.....	8
Figura 5 – Planejamento de pontos de leitura.....	9
Figura 6 – Posicionamento do caminhão no ponto de leitura.....	10
Figura 7 – Posicionamento de viga.....	10
Figura 8 – Travas dos braços da Viga.....	10
Figura 9 – Ajuste do pé traseiro da Viga.....	11
Figura 10 – Leitura dos inicial extensômetros.....	11
Figura 11 – Deslocamento do caminhão.....	12
Figura 12 – Leitura final dos extensômetros.....	12
Figura 13 – Fórmula para cálculo de Deflexões.....	13
Figura 14 – Fórmula para cálculo de Bacia de Deformação.....	13



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Localização dos pontos.....	9
---	---



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	13
6	REFERÊNCIAS	14

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de medir a deflexão de pavimentos flexíveis com precisão é fundamental para a engenharia de pavimentação. O ensaio de Viga Benkelman surgiu como uma solução prática para avaliar a integridade estrutural dos pavimentos, preenchendo uma lacuna crítica ao oferecer uma maneira precisa e econômica de medir a deflexão e, assim, identificar áreas que necessitam de manutenção preventiva. A precisão das medições e a facilidade de uso tornaram este método amplamente adotado em estudos e fiscalizações de pavimentos.

O equipamento utilizado no ensaio de Viga Benkelman consiste em uma viga de sustentação articulada, formando dois braços que seguem relações de 2:1, 3:1 ou 4:1. A ponta de prova está localizada na extremidade do braço maior, enquanto o braço menor aciona um extensômetro de alta precisão (0,01 mm). Este dispositivo é complementado por um vibrador para evitar bloqueios no ponteiro do extensômetro e uma trava de proteção para transporte. Quando não está em uso, a viga é revestida com isopor para evitar deformações térmicas, assegurando a precisão das medições.

A introdução da Viga Benkelman trouxe uma solução prática e confiável, permitindo a detecção precoce de falhas estruturais e garantindo a segurança e durabilidade das infraestruturas rodoviárias. Antes da sua introdução, os métodos disponíveis eram insuficientes para fornecer uma avaliação precisa e rápida da condição dos pavimentos. Este método inovador permite que engenheiros de pavimentação monitorem e mantenham as estradas de maneira eficiente, prolongando a vida útil das infraestruturas e otimizando os recursos destinados à manutenção.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de Viga Benkelman foi desenvolvido por A.C. Benkelman durante o teste de rodovias da Western Association of State Highway Organizations (WASHO) em 1952. A.C. Benkelman criou este dispositivo simples para medir a deflexão de superfícies de pavimentos flexíveis, essencial para avaliar a necessidade de reforço em pavimentos existentes e novos.

A criação da Viga Benkelman foi impulsionada pela necessidade urgente de um método eficiente para avaliar a deflexão dos pavimentos, vital para a manutenção preventiva e a reabilitação eficaz das rodovias. Antes da sua introdução, os métodos disponíveis eram insuficientes para fornecer uma avaliação precisa e rápida da condição dos pavimentos. A Viga Benkelman trouxe uma solução prática e confiável, permitindo a detecção precoce de falhas estruturais e garantindo a segurança e durabilidade das infraestruturas rodoviárias.

O ensaio determinação das deflexões pela Viga Benkelman é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D4695, a norma AASHTO T256, e a norma DNER – ME 024/94. As duas primeiras são americanas, já esta última foi desenvolvida pelo Departamento Nacional de Estradas e Rodagem (DNER). Essas normas estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O objetivo do ensaio de Viga Benkelman é medir a deflexão de pavimentos flexíveis sob carga, avaliando sua capacidade estrutural e comportamento elástico. Através dessa medição, é possível identificar áreas com possíveis falhas ou insuficiências estruturais, ajudando no planejamento de manutenções e reabilitações.

Durante auditorias de obras de pavimentação, o ensaio de Viga Benkelman é utilizado para testar as deflexões no pavimento conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Caminhão eixo traseiro simples e roda dupla com 8,2 tf de carga distribuída de forma simétrica nesse eixo;
- Os pneus do caminhão devem ter dimensões de 1000x20mm ou 900x20mm, com 12 lonas, tipo “com câmara” e com frisos na faixa de rodagem, calibrados à pressão de 0,56 MPa (5,6 kgf/cm² ou 80 lb/pol²);
- Calibrador de pressão dos pneus;
- Viga Benkelman, constituída de um conjunto de sustentação em que se articula uma alavanca interfixa formando dois braços cujos comprimentos a e b obedecem às relações de 2/1, 3/1 ou de 4/1, conforme a figura 1 em anexada abaixo. A extremidade do braço maior contém a ponta de prova da viga. A extremidade do braço menor aciona um extensômetro com precisão de 0,01 mm. Possui um pequeno vibrador destinado a evitar eventuais inibições do ponteiro do extensômetro e dispõe de uma trava de proteção a ser utilizada por ocasião do transporte. E inteiramente revestida com isopor, quando não em uso;
- Trenas de 50m e de 5m;
- Caneta, prancheta e planilha para registro de dados;
- Termômetro laser;
- Spray branco para demarcação dos pontos de leitura da Viga;
- EPI 's como coletes refletivos, cones, botas, chapéus, protetor solar.

Figura 1 – Viga Benkelman



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Caminhão eixo simples roda dupla



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Deve-se escolher um caminhão de eixo traseiro simples e roda dupla, e carregá-lo com 8,2tf no eixo traseiro;

Figura 3 – Pesagem do eixo traseiro com carga



Fonte: AUTOR (2024)

2. Após pesagem, deve-se calibrar os pneus do caminhão, colocando 80lbs (os pneus devem ter dimensões de 1000x20mm ou 900x20mm);

Figura 4 – Calibração dos pneus



Fonte: AUTOR (2024)

3. Para realização do ensaio deve-se identificar a largura da faixa de tráfego para que se possa saber a distância da borda do pavimento conforme demonstrado na tabela retirada da norma DNIT 133/2010;

Tabela 1 – Localização dos pontos

Largura da Faixa de Tráfego	Distância à Borda do Revestimento
Unidade (m)	Unidade (m)
2,70	0,45
3,00	0,60
3,30	0,75
3,50 ou mais	0,90

Fonte: DNIT 133/2010 (2010)

4. Após isso, demarcar o local da realização do ensaio utilizando trenas e spray;

Figura 5 – Planejamento de pontos de leitura



Fonte: AUTOR (2024)

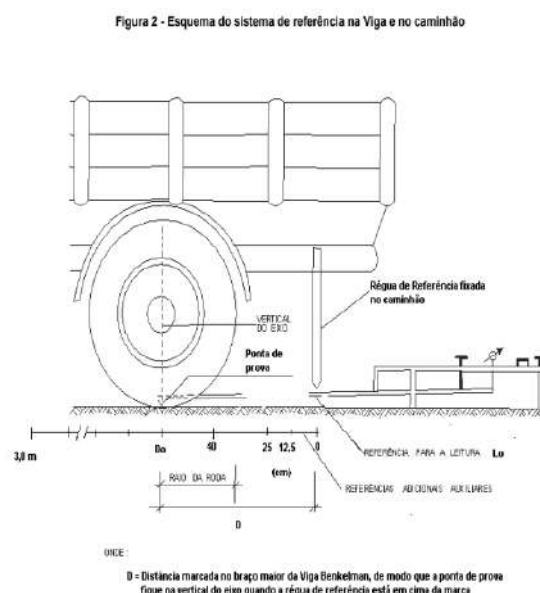
5. Centralizar uma das rodas duplas do caminhão sobre o ponto de leitura selecionado na trilha externa, com o eixo de carga perpendicular à pista de rolamento e inserir a ponta maior da viga (L0) da Viga Benkelman entre as rodas duplas do caminhão (na metade do diâmetro da roda), posicionando-a sobre o ponto selecionado;

Figura 6 – Posicionamento do caminhão no ponto de leitura



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 7 – Posicionamento de viga



Fonte: DNIT 133/2010 (2010)

6. Soltar as travas dos braços (L0 e L25) da Viga;

Figura 8 – Travas dos braços da Viga



Fonte: AUTOR (2024)

7. Ajustar o pé traseiro da Viga, de modo que o extensômetro fique, aproximadamente, na metade de seu curso, e, após isso ligar o vibrador da Viga;

Figura 9 – Ajuste do pé traseiro da Viga



Fonte: AUTOR (2024)

8. Fazer as leituras iniciais (L_i) dos extensômetros dos dois braços da Viga (L_0 e L_{25}) quando esses apresentarem movimento igual ou menor que $0,01\text{mm/min}$, ou após decorridos 3 (três) minutos;

Figura 10 – Leitura dos inicial extensômetros



Fonte: AUTOR (2024)

9. Deslocar o caminhão para o próximo ponto de leitura de forma que o eixo simples de roda dupla pare no próximo ponto de leitura (10m a frente), e, enquanto isso, fazer a leitura final (Lf) dos extensômetros quando esses indicarem movimento menor ou igual que 0,01 mm/min ou após decorridos 3 (três) minutos.

Figura 11 – Deslocamento do caminhão



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 12 – Leitura final dos extensômetros



Fonte: AUTOR (2024)

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a execução de cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos das deflexões e do raio de curvatura de acordo com as figuras retratadas abaixo, contidas nas normas DNER-ME 024/094 – Determinação das deflexões pela Viga Benkelman, e DNIT 133/2010 - Delineamento da linha de influência longitudinal da bacia de deformação por intermédio da Viga Benkelman.

Para calcular as deflexões:

Figura 13 – Fórmula para cálculo de Deflexões

$$L_0 * K * FC$$

Fonte: DNER – ME 024/94 (1994)

Onde:

L_0 = Leitura final do braço longo da Viga;

K = Constante da Viga (pode ser 2, 3 ou 4);

FC = Fator de Correção da Viga;

Para calcular a Bacia de Deformação (também chamada de Raio de Curvatura):

Figura 14 – Fórmula para cálculo de Bacia de Deformação

$$R = \frac{6250}{2 * K * (L_0 - L_{25})}$$

Fonte: DNER – ME 024/94 (1994)

Onde:

K = Constante da Viga (pode ser 2, 3 ou 4);

L_0 = Leitura final do braço longo da Viga;

L_{25} = Leitura final do braço curto da Viga;

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T256**: Standard Method of Test for Pavement Deflection Measurements. Washington, D.C.: AASHTO, 2004.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4695**: Standard Guide for General Pavement Deflection Measurements. West Conshohocken, PA: ASTM, 2003.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER - ME 024/94**: Solos - Determinação da umidade do solo por secagem em estufa. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-PRO 175/94**: Procedimento para execução de ensaios em misturas betuminosas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 133/2010 - ME**: Pavimentação asfáltica - Determinação do teor de betume em misturas asfálticas pelo método de ignição. Rio de Janeiro: DNIT, 2010.



MANUAL DE ENSAIO DE VISCOSIDADE SAYBOLT-FUROL

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Frasco receptor de 60 mL.....	7
Figura 2 – Viscosímetro Saybolt - Furol.....	7
Figura 3 – Aquecimento da amostra.....	8
Figura 4 – Pré-aquecimento do viscosímetro Saybolt - Furol.....	9
Figura 5 – Ajustes Pré-ensaio.....	9
Figura 6 – Início do ensaio.....	10
Figura 7 – Execução do ensaio.....	10
Figura 8 – Leitura final do cronômetro.....	11
Figura 9 – Gráfico Tempo de escoamento vs Temperatura.....	12
Figura 10 – Resultado final do ensaio.....	12



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CAP	Cimento Asfáltico De Petróleo
NCAT	National Center for Asphalt Technology
ASTM	American Society for Testing and Materials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	12
6	REFERÊNCIAS.....	13

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer a viscosidade de materiais betuminosos, como asfalto e emulsões de betume, é fundamental para a engenharia de pavimentação. Historicamente, a medição precisa da viscosidade foi reconhecida como essencial para garantir a qualidade e a consistência dos produtos utilizados em pavimentação asfáltica. O ensaio de viscosidade Saybolt-Furol foi desenvolvido para atender a essa necessidade, proporcionando um método padronizado e confiável para a medição de viscosidade em líquidos viscosos.

O ensaio de viscosidade Saybolt-Furol tem como objetivo principal fornecer uma medida precisa da resistência ao fluxo de materiais betuminosos sob condições controladas. Este método foi introduzido para resolver problemas de inconsistência nos testes de viscosidade, que dificultavam a comparação de resultados entre diferentes laboratórios e amostras. A introdução de um método padronizado ajudou a garantir a confiabilidade e a repetibilidade dos resultados, aspectos cruciais para o controle de qualidade.

O procedimento do ensaio Saybolt-Furol envolve a medição do tempo necessário para que 60 mL de uma amostra escoe através de um orifício calibrado a uma temperatura específica. Este tempo é então convertido em segundos Saybolt-Furol (SFS), uma unidade de viscosidade que reflete a resistência ao fluxo do fluido. A padronização do equipamento e das condições de teste é essencial para assegurar que os resultados sejam consistentes e comparáveis.

Além de sua importância na pavimentação, o ensaio Saybolt-Furol é amplamente utilizado em outras indústrias que lidam com produtos petrolíferos, como a fabricação de lubrificantes e combustíveis. A capacidade de medir com precisão a viscosidade ajuda a garantir que esses produtos desempenhem adequadamente sob diversas condições de operação, aumentando sua eficácia e segurança.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de viscosidade Saybolt-Furol foi desenvolvido por George M. Saybolt, um químico norte-americano, no final do século XIX e início do século XX. Saybolt foi um pioneiro na padronização de métodos de teste para produtos petrolíferos, com o objetivo de melhorar a consistência e a confiabilidade dos resultados de testes de viscosidade.

O ensaio Saybolt-Furol foi criado para atender à necessidade de um método padronizado e confiável para medir a viscosidade de líquidos mais viscosos, como combustíveis e óleos de estrada (daí o nome Furol, uma combinação de "fuel" e "road oil"). Antes do desenvolvimento desse método, havia uma falta de uniformidade nos testes de viscosidade, o que resultava em inconsistências nos dados e dificultava a comparação entre diferentes amostras e laboratórios. O propósito principal do teste era fornecer uma medida precisa e repetível da viscosidade, essencial para o controle de qualidade e a padronização de produtos petrolíferos, especialmente em aplicações onde a consistência do produto é crítica, como na pavimentação e no desempenho de combustíveis.

O método Saybolt-Furol rapidamente se tornou um padrão industrial, amplamente adotado por laboratórios e fabricantes de produtos petrolíferos. Sua criação permitiu a padronização dos testes de viscosidade, melhorando a consistência e a precisão dos resultados, o que foi crucial para a evolução da indústria de pavimentação e outras indústrias dependentes de produtos petrolíferos. Além de seu uso inicial em combustíveis e óleos de estrada, o método Saybolt-Furol é hoje aplicado em uma ampla variedade de materiais betuminosos e é uma ferramenta essencial em auditorias e fiscalizações para garantir a qualidade e a conformidade dos materiais utilizados em obras de infraestrutura.

Para regulamentar a execução do ensaio Saybolt-Furol, várias normas técnicas foram elaboradas. No âmbito internacional, destacam-se as normas ASTM D88 e ASTM E102/E102M-93, que especificam os procedimentos para medir a viscosidade de produtos petrolíferos e materiais betuminosos. No Brasil, a norma NBR 14950/2003 estabelece os critérios para a realização deste ensaio, assegurando que os produtos utilizados em pavimentação atendam aos requisitos de desempenho necessários.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de viscosidade Saybolt-Furol tem como objetivo principal determinar a viscosidade de materiais betuminosos, tais como emulsões de asfalto, óleos residuais e outros produtos petrolíferos. A viscosidade é uma medida crítica que indica a resistência ao fluxo do material, o que pode afetar diretamente sua aplicabilidade e desempenho em várias aplicações.

O ensaio Saybolt-Furol é frequentemente utilizado em fiscalizações e auditorias para garantir a conformidade e a qualidade dos materiais utilizados em projetos de infraestrutura, como pavimentação de estradas.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Luvas de raspa de couro;
- Becker para aquecimento de ligante;
- Solvente para diluição de ligante (tricloretileno);
- Pano para limpeza do viscosímetro.

Figura 1 – Frasco receptor de 60 mL



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Viscosímetro Saybolt - Furol



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Aquecer a amostra em um recipiente metálico sob agitação na temperatura de 10 a 15°C acima da temperatura do ensaio;

Figura 3 – Aquecimento da amostra



Fonte: AUTOR (2024)

2. Ligar o aquecimento do Viscosímetro e limpar com solvente secando o tubo de viscosidade. Após isso, inserir a rolha na extremidade inferior do tubo de viscosidade;

Figura 4 – Pré-aquecimento do viscosímetro Saybolt - Furol



Fonte: AUTOR (2024)

3. Verter a amostra quente ao tubo de viscosidade até transbordar na galeria;
4. Colocar o termostato do viscosímetro na temperatura do ensaio e ligar o agitador;

Figura 5 – Ajustes Pré-ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

5. Colocar o frasco receptor de 60mL em posição de ensaio e esperar a amostra (ligante) atingir a temperatura de ensaio e estabilizar essa temperatura;
6. Retirar a rolha e disparar o cronômetro simultaneamente;

Figura 6 – Início do ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 7 – Execução do ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

7. Quando o nível da amostra no frasco atingir a marca de 60mL, travar o cronômetro e anotar o tempo depois;

Figura 8 – Leitura final do cronômetro



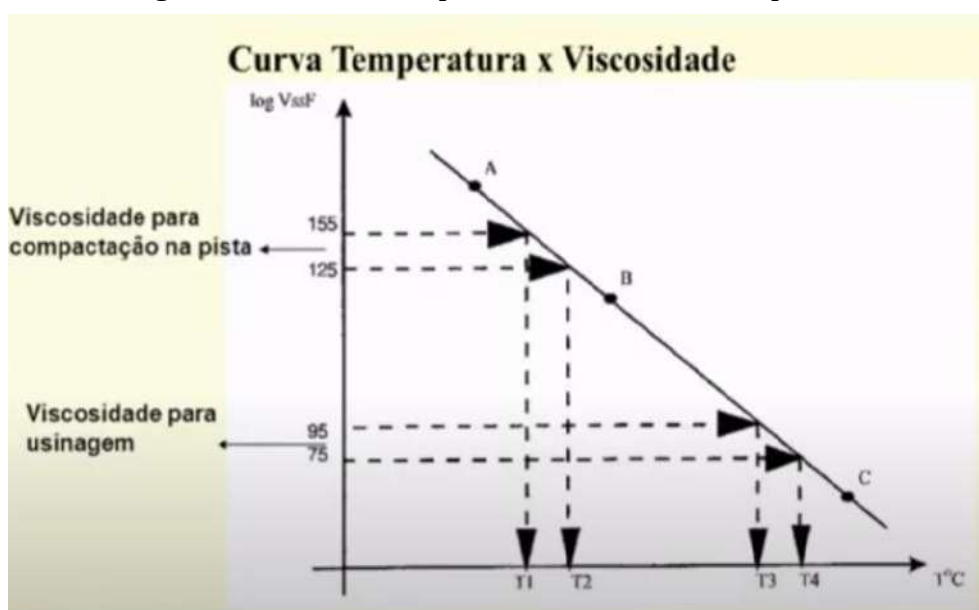
Fonte: AUTOR (2024)

8. Retirar com solvente depois do ensaio todo resíduo de amostra do viscosímetro;

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

De acordo com a norma NBR 14950/2003, o ensaio deve ser repetido duas vezes para cada temperatura listada na mesma (121°C, 135°C, 149°C, 163°C, 177°C, 204°C, 232°C). O ensaio é realizado de forma empírica, ou seja, baseado na experiência e na observação. Lançado mão disso, é montado um gráfico relacionando Tempo de escoamento vs Temperatura podendo assim determinar a temperatura ideal de usinagem do traço e a temperatura ideal de compactação da massa asfáltica na pista, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 9 – Gráfico Tempo de escoamento vs Temperatura



Fonte: THIVES (2016)

A norma DNIT 095/2006 – EM, determina os parâmetros/limites de cada tipo de CAP utilizado nas massas asfálticas, e um dos métodos é o próprio ensaio Saybolt-Furol.

Figura 10 – Resultado final do ensaio

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, min		192	141	110	80			
a 150 °C, min		90	50	43	36			
a 177 °C		40 - 150	30 - 150	15 - 60	15 - 60			

Fonte: Adaptado de DNIT 095/2006 (2006)

6. REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D88: Standard Test Method for Saybolt Viscosity. West Conshohocken, PA: ASTM, 2011.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM E102/E102M-93: Standard Practice for Preparing and Testing Specimens from Synthetic Elastomeric Sheets. West Conshohocken, PA: ASTM, 2004.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM D7496: Standard Test Method for Saybolt Viscosity. West Conshohocken, PA: ASTM, 2009.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS. IS 3117/1965: Specification for the manufacture and use of pre-stressed concrete poles. New Delhi: BIS, 1965.

BUREAU OF INDIAN STANDARDS. IS 8887/2004: Specification for high strength deformed steel bars and wires for concrete reinforcement. New Delhi: BIS, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14370: Concreto - Determinação do módulo de elasticidade estático e do coeficiente de Poisson à compressão. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. DNIT 095/2006: Pavimentação - Solos - Determinação da massa específica in situ com emprego do frasco de areia. Rio de Janeiro: DNIT, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14950: Materiais betuminosos - Determinação de viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.



MANUAL DE ENSAIO DE DENSIDADE REAL DE AGREGADO MIÚDO PELO MÉTODO RICE TEST

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aparelho Rice Test e bomba de Vácuo.....	7
Figura 2 – Amostra seca.....	7
Figura 3 – Amostra em estufa.....	8
Figura 4 – Amostra em temperatura de 25°C.....	8
Figura 5 – Nível da balança.....	9
Figura 6 – Calibração da balança.....	9
Figura 7 – Pesagem do recipiente vazio e seco.....	10
Figura 8 – Pesagem da amostra seca.....	10
Figura 9 – Amostra coberta de água destilada.....	11
Figura 10 – Amostra fixada e tampada na mesa agitadora.....	11
Figura 11 – Manômetro de pressão.....	12
Figura 12 – Pesagem da amostra com água destilada completada.....	13
Figura 13 – Recipiente cheio com água destilada.....	13
Figura 14 – Fórmula para cálculo de Densidade Real.....	14



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
FHWA	Federal Highway Administration
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	14
6	REFERÊNCIAS.....	15

1. INTRODUÇÃO

A compactação inadequada resulta em um pavimento com maior quantidade de vazios de ar, o que facilita a penetração de água e oxigênio. Esses elementos aceleram os processos de oxidação do ligante asfáltico e deterioração dos agregados, reduzindo significativamente a vida útil do pavimento. A presença de muitos vazios na mistura asfáltica favorece o aparecimento de rachaduras e fissuras. Essas falhas estruturais podem evoluir rapidamente devido à infiltração de água e às variações de temperatura, levando a uma deterioração acelerada do pavimento.

Devido à rápida deterioração e falhas prematuras, pavimentos mal compactados necessitam de frequentes reparos e manutenção, o que eleva significativamente os custos de manutenção a longo prazo. Além disso, intervenções frequentes podem causar interrupções no tráfego, afetando negativamente a mobilidade e a economia local.

O uso do Rice Test é imprescindível em várias etapas do ciclo de vida das misturas asfálticas, desde o desenvolvimento e produção até a aplicação e fiscalização. Ele fornece dados críticos que asseguram a qualidade, durabilidade e segurança dos pavimentos, alinhando-se às normas técnicas e contribuindo para a eficiência das obras de pavimentação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Rice Test foi desenvolvido nos Estados Unidos durante a década de 1940 por James Rice, um engenheiro que trabalhou com a Administração Federal de Rodovias dos EUA (FHWA). A necessidade do teste surgiu para melhorar a qualidade dos pavimentos asfálticos, especialmente devido ao aumento do uso de veículos pesados e ao crescimento das rodovias pavimentadas na época.

Antes do desenvolvimento do Rice Test, os métodos existentes não conseguiam garantir com precisão a densidade máxima teórica das misturas asfálticas. Isso resultava em pavimentos com variações na compactação, levando a uma durabilidade menor e a uma maior necessidade de manutenção. James Rice, trabalhando com a Administração Federal de Rodovias dos EUA (FHWA), identificou a necessidade de um método mais eficaz para medir a densidade teórica máxima, o que levou ao desenvolvimento do Rice Test.

Este teste permitiu calcular com precisão o teor de vazios na mistura asfáltica, fundamental para determinar a quantidade ideal de ligante asfáltico e assegurar uma

compactação uniforme. A implementação do Rice Test resultou em pavimentos mais resistentes e duradouros, capazes de suportar melhor o tráfego pesado e as condições climáticas adversas.

O ensaio Rice Test é regido por normas técnicas específicas, a AASHTO T84, a ASTM C128, a norma DNIT ME 086/94, e o PROC-IBR-ROD 108/2018 as duas primeiras americanas, já estes dois últimos foram desenvolvidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e pelo Instituto Brasileiro de Obras Públicas (IBRAOP) respectivamente. Essas normas estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de densidade máxima teórica – Rice Test é utilizado para determinar o peso específico máximo de misturas betuminosas (no caso desse manual, será executado em agregados miúdos para determinar a densidade real do mesmo) em condições de vácuo. Esse índice é crucial para avaliar a compactação das misturas asfálticas e garantir que a qualidade e a durabilidade do pavimento atendam às especificações técnicas necessárias.

Logo, o ensaio de Densidade Real do Agregado Miúdo usando o Rice Test realizado somente no agregado miúdo, permite que juntamente ao ensaio de Densidade Real Agregado Graúdo seja determinada a Densidade Máxima Teórica por intermédio de equações. Esta alternativa é executada quando o ensaio de Densidade Máxima Teórica não é realizado na massa asfáltica.

Durante fiscalizações de obras de pavimentação, o Rice Test é utilizado para testar os padrões da mistura asfáltica utilizada na obra conforme os padrões de qualidade estabelecidos, garantindo a integridade e a durabilidade do pavimento. O teste verifica se a densidade obtida no campo alcança a densidade máxima teórica determinada em laboratório, o que é um indicativo da boa prática de compactação durante a construção.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Equipamento para Rice Test, composto de recipiente com vedação, mesa agitadora, bomba de vácuo e manômetro;
- Estufa;
- Balança com precisão de 0,1g;
- Termômetro;
- Bandeja/bacia metálica;
- Água destilada.

Figura 1 – Aparelho Rice Test e Bomba de Vácuo



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Amostra seca



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Após a realização da granulometria do Agregado colocar a parte da amostra que seja passante na peneira de nº 4 em uma bandeja/bacia;
2. Levar a bandeja à estufa e deixar por aproximadamente 24 horas à uma temperatura de 50°C, até que a amostra esteja livre de umidade;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

3. Deixar a amostra esfriar até atingir uma temperatura de 25°C ± 1°C;

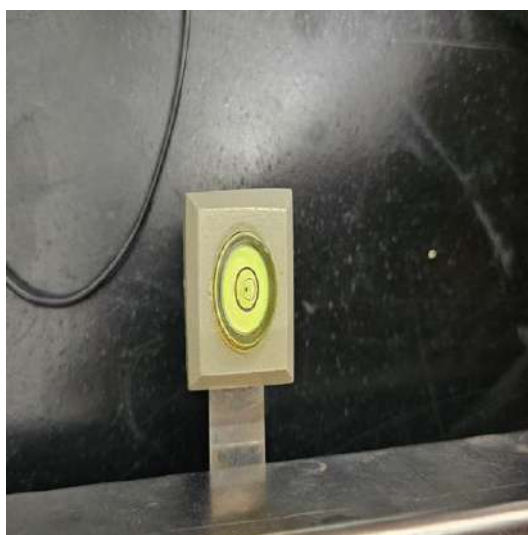
Figura 4 – Amostra em temperatura de 25°C



Fonte: AUTOR (2024)

4. Verificar a precisão da balança eletrônica de precisão de 0,01g;
- 4.1. Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 4.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

5. Pesar o recipiente vazio do Rice Test (peso a), com precisão de 0,1 g;

Figura 7 – Pesagem do recipiente vazio e seco



Fonte: AUTOR (2024)

6. Colocar toda a amostra no recipiente devidamente tarado e pesar (peso b), com precisão de 0,1 g;

Figura 8 – Pesagem da amostra seca



Fonte: AUTOR (2024)

7. Adicionar água destilada a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ no recipiente até cobrir completamente a amostra seca, deixando aproximadamente 3 a 5 cm de água acima do nível da amostra;

Figura 9 – Amostra coberta de água destilada



Fonte: AUTOR (2024)

8. Tampar bem o recipiente com a amostra, fixá-lo na mesa agitadora e conectar a mangueira à bomba de vácuo;

Figura 10 – Amostra fixada e tampada na mesa agitadora



Fonte: AUTOR (2024)

9. Fechar a válvula superior do recipiente (vertedouro de água) e ligar a bomba de vácuo;
10. Ligar a agitação da mesa;
11. Observar a pressão no interior do recipiente no manômetro e mantê-la entre 25 e 30 mm de Hg, regulando a válvula de entrada de ar conforme necessário;

Figura 11 – Manômetro de pressão



Fonte: AUTOR (2024)

12. Manter a bomba e a agitação da mesa em funcionamento por 15 minutos;
13. Desligar a agitação da mesa, reduzir lentamente a pressão no interior do recipiente e, em seguida, desligar a bomba;
14. Remover o recipiente do Rice Test, abrir a tampa e completar o volume com água destilada cuidadosamente, evitando a formação de bolhas. Utilizar o funil superior e abrir a válvula do vertedouro até que a água adicionada transborde;
15. Levar o conjunto completo à balança e pesar com precisão de 0,1 g (peso c), juntamente com os mesmos acessórios utilizados nas pesagens anteriores;

Figura 12 – Pesagem da amostra com água destilada completada



Fonte: AUTOR (2024)

16. Esvaziar totalmente o recipiente, preservando toda a amostra com o auxílio de peneiras para ensaios subsequentes.
17. Etiquetar a amostra final para continuidade dos ensaios;
18. Encher completamente o recipiente com água destilada a uma temperatura de $25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, cuidadosamente para evitar a formação de bolhas, tampar e finalizar a adição de água usando o funil superior (abrir a válvula do vertedouro até que a água adicionada transborde);
19. Pesar o conjunto completo com precisão de 0,1 g (peso d), juntamente com os mesmos acessórios utilizados nas pesagens anteriores;

Figura 13 – Recipiente cheio com água destilada



Fonte: AUTOR (2024)

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a pesagem de maneira correta em cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos de acordo com a figura retratada abaixo cuja foi retirada do PROC-IBR-ROD 108/2018 - Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

Figura 14 – Fórmula para cálculo de Densidade Real

$$D_{real} = \frac{b}{(b + d - c)}$$

Fonte: PROC-IBR-ROD 108/2018 (2018)

Onde:

a = Peso recipiente Vazio;

b = Peso da Amostra seca;

c = Peso Amostra + Água destilada + Peso do Recipiente;

d = Peso recipiente cheio de água destilada.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T84**: Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate. Washington, D.C.: AASHTO, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 9776**: Agregado miúdo - Determinação da massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C128**: Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken, PA: ASTM, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 81/98**: Agregados - Determinação da abrasão "Los Angeles". Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 84/95**: Agregados - Determinação da resistência à fragmentação. Rio de Janeiro: DNER, 1995.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 85/94**: Agregados - Determinação do teor de partículas friáveis e argilosas. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT ME 086/94**: Agregados - Determinação da massa específica e da absorção de água de agregados miúdos. Rio de Janeiro: DNIT, 1994.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 110/2018**: Procedimento de fiscalização de obras rodoviárias. Brasília: IBR, 2018.



MANUAL DE ENSAIO FORNO NCAT

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Forno NCAT.....	7
Figura 2 – Pré-aquecimento da Amostra.....	7
Figura 3 – Pré-aquecimento da Amostra.....	7
Figura 4 – Ajuste da estufa à 150°	8
Figura 5 – Nível da balança.....	8
Figura 6 – Calibração da balança.....	9
Figura 7 – Pesagem da Amostra.....	9
Figura 8 – Posicionamento da Amostra no forno.....	10
Figura 9 – Posicionamento da Amostra no forno.....	10
Figura 10 – Leitura final do ensaio.....	11
Figura 11 – Amostra sem ligante.....	11
Figura 12 – Resultado final do ensaio.....	11



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CAP	Cimento Asfáltico De Petróleo
NCAT	National Center for Asphalt Technology
ASTM	American Society for Testing and Materials
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
4.1	Materiais	6
4.2	Metodologia	7
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	11
6	REFERÊNCIAS.....	12

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer o teor de ligante em uma massa asfáltica do tipo CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) tem fundamentos técnicos e práticos profundamente enraizados na engenharia de pavimentação. Historicamente, o controle preciso do teor de ligante em misturas asfálticas foi reconhecido como essencial para garantir a qualidade, durabilidade e desempenho adequado do pavimento. O teor de ligante afeta diretamente propriedades como a resistência ao desgaste, impermeabilização e flexibilidade do pavimento, sendo fundamental para evitar problemas como rachaduras, formação de buracos e desgaste prematuro do pavimento asfáltico.

O teor de ligante em um CAUQ é indispensável porque o ligante serve como o "cimento" que une os agregados, criando uma matriz coesa que resiste às cargas do tráfego e às variações climáticas. Uma proporção inadequada de ligante pode levar a um pavimento que é tanto excessivamente rígido ocorrendo segregação dos agregados, aumentando o risco de rachaduras e separação dos mesmos, quanto excessivamente maleável (borrachudo), o que pode resultar em deformações permanentes e exsudação. Assim, a determinação precisa do teor de ligante é vital para balancear essas características, otimizando a mistura para o desempenho esperado e a vida útil do pavimento.

O ligante asfáltico, geralmente o cimento asfáltico de petróleo (CAP), é um dos componentes mais caros de uma mistura asfáltica, e seu custo pode representar uma proporção significativa do valor total da mistura. Podendo representar entre 20% a 40% do custo total de uma mistura asfáltica. Este valor é influenciado principalmente pelo preço atual do petróleo, já que o asfalto é um derivado do petróleo. Alguns fatores de variação como a flutuação no preço do petróleo, o tipo de ligante e custo de transporte até a usina de mistura asfáltica também podem influenciar no valor do final da mistura asfáltica.

Portanto, a análise do teor de ligante não é apenas uma questão de conformidade normativa, mas uma prática essencial que influencia diretamente a integridade estrutural e a funcionalidade de estradas e rodovias pavimentadas com CAUQ. Ao garantir que o teor de ligante esteja dentro dos limites ideais, pode-se assegurar que o pavimento atende ou excede as expectativas de desempenho ao longo de sua vida útil projetada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O NCAT Asphalt Content Furnace, ou forno de conteúdo de asfalto NCAT, foi desenvolvido em colaboração com o National Center for Asphalt Technology (NCAT) na Auburn University. Este equipamento foi projetado por uma equipe de engenheiros da Barnstead International, em conjunto com o NCAT, para atender às necessidades específicas da indústria de pavimentação asfáltica. O forno é usado para determinar o conteúdo de asfalto em misturas pavimentadas através do método de ignição, que se tornou um padrão na indústria devido à sua eficácia e precisão.

Ainda que inovador no Brasil, o método foi criado em meados dos anos 1990, em resposta à necessidade de um método mais seguro, eficiente e ambientalmente responsável para determinar o conteúdo de ligante em misturas asfálticas sem a utilização de solventes químicos nocivos como o caso do tricloroetileno.

O forno NCAT opera com base no método de ignição, que determina o teor de ligante ao queimar o asfalto, deixando para trás os agregados que compõem a mistura. O processo começa com a pesagem da amostra de mistura asfáltica, que é então aquecida em uma câmara de ignição a temperaturas em torno de 538°C (1000°F). O forno monitora continuamente a perda de peso da amostra, que corresponde ao conteúdo de ligante.

O ensaio de teor de ligante com forno NCAT é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D6307, a AASHTO T308, e o PROC-IBR-ROD 105/2016, as duas primeiras americanas, já este último foi desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Obras Públicas. Essas normas e procedimentos estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados, além de segurança durante o processo.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio em si tem como objetivo principal determinar a quantidade de ligante asfáltico em misturas de asfálticas usinadas à quente de forma precisa, rápida e ambientalmente segura.

O uso do ensaio de teor de ligante com o forno NCAT em uma auditoria ou fiscalização de obra de pavimentação asfáltica ocorre em circunstâncias específicas como por exemplo: quando é necessário verificar se a mistura asfáltica usada na obra atende às especificações de projeto estabelecidas. O ensaio pode confirmar se o teor de ligante está dentro dos limites

especificados, o que é crucial para a durabilidade e o desempenho esperado do pavimento. Se ocorrerem falhas prematuras no pavimento, como rachaduras, buracos ou depressões, o ensaio pode ser usado para determinar se esses problemas foram causados por um teor inadequado de ligante. A análise dos resultados ajuda a identificar se a mistura foi preparada corretamente ou se desvios nos componentes contribuíram para o problema.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Luvas de raspa de couro;
- Luvas de altas temperaturas;
- Máscara de proteção de acrílico;
- Estufa;
- Bandejas metálicas;
- Balança com precisão de 0,01g;
- Forno NCAT;
- Cestos perfurados em aço inox;
- Pegador para cestos;
- Gaiola para cestos;
- Escova de aço e pincel trincha para limpeza dos cestos.

Figura 1 – Forno NCAT



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Acionar o forno NCAT com duas horas de antecedência ao primeiro teste para que se inicie o pré-aquecimento do mesmo;
2. Pré-aquecer a amostra de massa asfáltica em um forno a uma temperatura de cerca de 150 °C, em uma bandeja;

Figura 2 – Pré-aquecimento da Amostra



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 3 – Pré-aquecimento da Amostra



Fonte: AUTOR (2024)

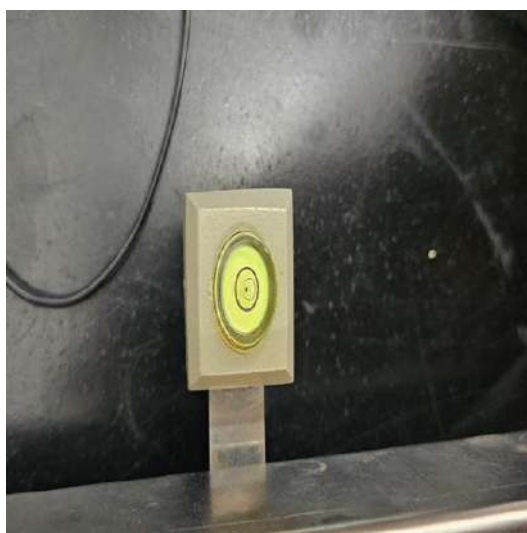
Figura 4 – Ajuste da estufa à 150° C



Fonte: AUTOR (2024)

3. Realizar os procedimentos de verificação da balança eletrônica de alta precisão, com sensibilidade de 0,01g;
 - 3.1. Conferir o nível da balança e ajustar se necessário;

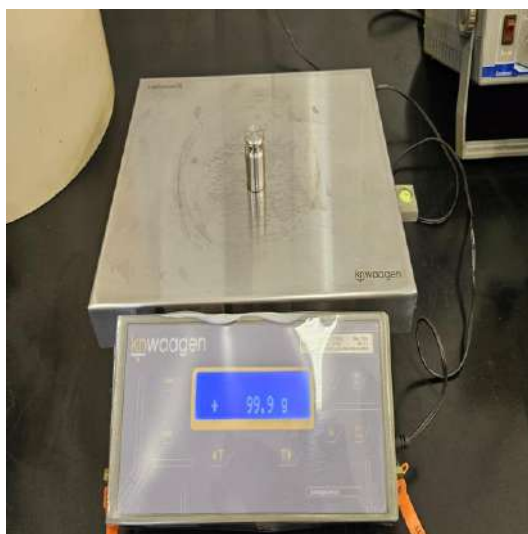
Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 3.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

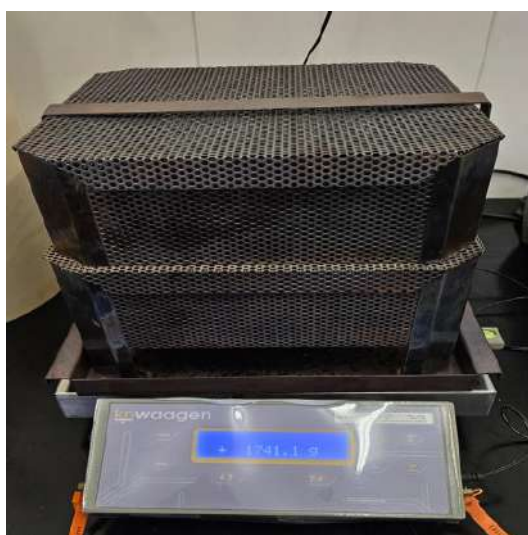
Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

4. Transportar a amostra para o conjunto de cestos do forno NCAT, que deve estar previamente tarado, (deve-se dividir a amostra em duas e colocá-la nos dois “andares” do cesto espalhando-a bem mantendo a distância de um dedo das paredes do cesto de forma que facilite a passagem do ar quente) e pesar na balança de alta precisão de 0,01g;

Figura 7 – Pesagem da Amostra



Fonte: AUTOR (2024)

5. Usar luvas resistentes a altas temperaturas e uma máscara de proteção facial de acrílico, e usar o pegador longo (acessório do forno NCAT) para pegar o cesto;

6. Um assistente deve abrir a porta do forno somente quando o conjunto de cestos estiver pronto para ser inserido. Posicionar o conjunto de cestos na balança interna do forno com cuidado, evitando movimentos horizontais uma vez que o cesto esteja apoiado;

Figura 8 – Posicionamento da Amostra no forno



Fonte: AUTOR (2024)

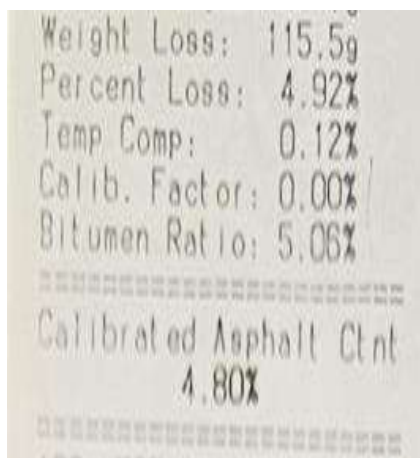
Figura 9 – Posicionamento da Amostra no forno



Fonte: AUTOR (2024)

7. Fechar a tampa do forno e inserir no teclado o peso da amostra (deve-se utilizar a tecla “Weight” para inserir o peso da amostra, e a tecla “Temp” para setar a temperatura de atuação do forno);
8. Pressionar “Start” para iniciar o teste;
9. O forno fará leituras de quanto de porcentagem de ligante está sendo perdido a cada minuto e quando ele fizer duas leituras iguais significará que o ensaio terminou;
10. Um sinal sonoro será emitido pelo forno ao final do ensaio;
11. Um assistente deve abrir a porta do forno quando já houver alguém preparado para remover a amostra (usando luvas e máscara de acrílico e segurando o pegador longo);
12. Remover o conjunto de cestos com cuidado, evitando movimentos horizontais enquanto ainda estiver sobre a balança interna;
13. Registrar o resultado do teste impresso pelo forno NCAT;

Figura 10 – Leitura final do ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 11 – Amostra sem ligante



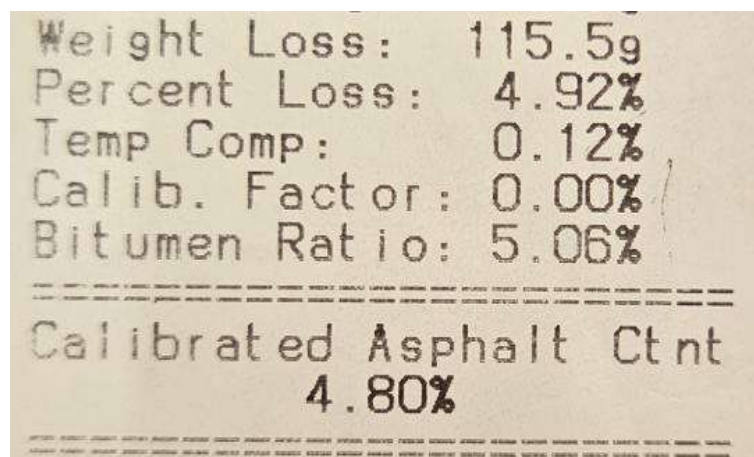
Fonte: AUTOR (2024)

14. Despejar todo o conteúdo da amostra (agregados sem CAP) para esfriar em uma bandeja antes de transferi-lo para um saco plástico. Após a remoção do forno, a amostra deve ser mantida etiquetada em todos os momentos.
15. Após o resfriamento e a retirada da amostra do cesto, deve-se ser realizada a limpeza deste recipiente com auxílio da escova de aço e trincha.

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Diferente do ensaio de extração de betume por método Rotarex, o ensaio do forno NCAT é mais moderno, tendo em vista que o forno já calcula a porcentagem de perda de ligante e já fornece o resultado por meio de relatório gerado pelo próprio.

Figura 12 – Resultado final do ensaio



Fonte: AUTOR (2024)

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14950/03**: Materiais betuminosos - Determinação da viscosidade Saybolt Furol. Rio de Janeiro, 2003.

BERNUCCI, Liede Bariani et al. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros**. 2. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2022. 750 p.: il.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM DIRETORIA DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO - IPR DIVISÃO DE CAPACITAÇÃO TECNOLÓGICA. **DNER-ME 053/94**: Misturas betuminosas - percentagem de betume. Rio de Janeiro, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 105/2016**: Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria. Brasília, 2016.



MANUAL DE ENSAIO GRANULOMETRIA DE MASSA ASFÁLTICA

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conjunto de Peneiras.....	6
Figura 2 – Agitador de Peneiras.....	6
Figura 3 – Amostra em estufa.....	7
Figura 4 – Estufa a 100° C.....	7
Figura 5 – Nível da balança.....	7
Figura 6 – Calibração da balança.....	8
Figura 7 – Pesagem de Tara de cada peneira.....	8
Figura 8 – Transferência de amostra para conjunto de peneiras.....	9
Figura 9 – Posicionamento da Amostra no agitador mecânico.....	9
Figura 10 – Pesagem do conteúdo retido em cada peneira.....	10
Figura 11 – Parte da amostra retida na peneira.....	10
Figura 12 – Gráfico das Faixas de norma e projeto.....	11
Figura 13 – Resultado final do ensaio.....	11



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos retidos e passantes.....	10
--	----



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	6
4.1	Materiais	6
4.2	Metodologia	7
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	11
6	REFERÊNCIAS.....	12

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de realizar o ensaio de granulometria em uma massa asfáltica do tipo CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) origina-se da importância crítica da distribuição do tamanho dos agregados na composição da mistura asfáltica.

Uma distribuição ideal dos tamanhos de agregados ajuda a potencializar o encaixe entre as partículas, minimizando os vazios no pavimento acabado e proporcionando uma estrutura mais compacta e durável. Além disso, a correta proporção de agregados finos e grossos influencia a viscosidade da mistura, facilitando a aplicação e compactação durante a construção do pavimento.

A superfície total dos agregados, que é diretamente influenciada pela granulometria, determina a quantidade de ligante necessário para cobrir adequadamente os agregados. Uma granulometria otimizada pode reduzir a quantidade de ligante necessária, economizando custos sem comprometer a qualidade.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O ensaio de granulometria de massa asfáltica, uma prática estabelecida para analisar a distribuição do tamanho dos agregados em misturas asfálticas como o Concreto Asfáltico Usinado a Quente (CAUQ), desempenha um papel crucial na engenharia de pavimentos. As primeiras formas de pavimento asfáltico surgiram no início do século XIX, mas foi em 1870 que Edmund J. DeSmedt, um engenheiro belga, pavimentou a primeira rua com asfalto moderno na América, na Fifth Avenue em Nova York. Este projeto utilizou materiais e técnicas que demandavam um entendimento rudimentar da granulometria.

À medida que os automóveis se tornaram mais comuns no início do século XX, cresceu a necessidade de estradas melhores e mais duráveis. Isso levou o desenvolvimento da teoria da mistura asfáltica, incluindo a importância do tamanho das partículas agregadas. Nesse período, começaram a ser desenvolvidos os primeiros padrões para proporções e tamanhos de agregados em misturas asfálticas.

Nas décadas de 1920 e 1930, com o surgimento da engenharia rodoviária como campo de pesquisa científica, os métodos de teste de tamanho de agregados começaram a ser padronizados. Agências como ASTM (Sociedade Americana de Testes e Materiais) e AASHTO

(Associação Americana de Oficiais de Rodovias e Transportes Estaduais) começaram a desenvolver e publicar normas técnicos para testes de tamanho de partículas.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de granulometria serve para garantir que a mistura asfáltica tenha a proporção correta de diferentes tamanhos de agregados, o que é essencial para o desempenho ótimo do pavimento. A distribuição adequada dos tamanhos dos agregados afeta diretamente a densidade, a durabilidade, a resistência ao tráfego e a impermeabilidade do pavimento.

Durante fiscalizações de obras de pavimentação asfáltica, o ensaio de granulometria é aplicado quando há falhas no pavimento, a análise granulométrica pode identificar se a causa está relacionada a uma distribuição inadequada dos tamanhos dos agregados.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Agitador de peneiras;
- Jogo de peneiras (com as malhas requeridas na norma técnica DNIT 031/2006 - ES regulamentadora dos parâmetros de aceitabilidade para a mistura asfáltica);
- Estufa;
- Balança com precisão de 0,01g.

Figura 1 – Conjunto de Peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Agitador de Peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Secar a amostra em uma estufa após a extração do teor de ligante;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 4 – Estufa a 100° C



Fonte: AUTOR (2024)

2. Realizar os procedimentos de verificação da balança eletrônica de precisão, com sensibilidade de 0,01g;
 - 2.1. Conferir o nível da balança e ajustar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 2.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

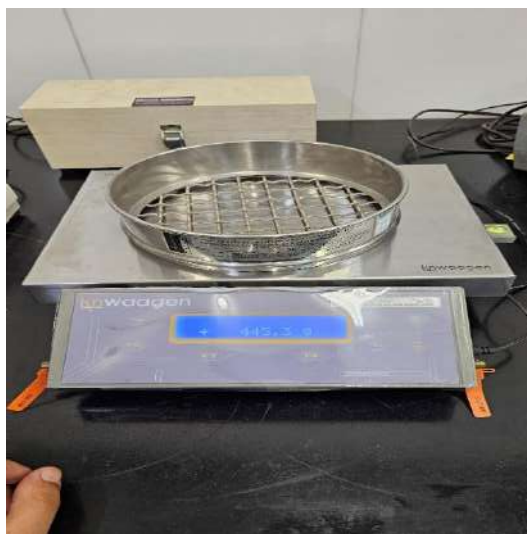
Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

3. Pesar, em balança com precisão de 0,01g, as taras de cada peneira a ser utilizada, conforme definido na norma técnica aplicável, e o fundo – para isso, limpar previamente as peneiras com pincéis adequados a cada malha, evitando danos;

Figura 7 – Pesagem de Tara de cada peneira



Fonte: AUTOR (2024)

4. Transferir a amostra para o conjunto de peneiras previamente montado da peneira mais aberta (superior) para a mais fechada (inferior) e o fundo;

Figura 8 – Transferência de amostra para conjunto de peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

5. Colocar o conjunto de peneiras, com tampa, no agitador mecânico e programar para agitar automaticamente por 15 minutos;

Figura 9 – Posicionamento da Amostra no agitador mecânico



Fonte: AUTOR (2024)

6. Pesar (com precisão de 0,01g) e calcular os conteúdos retidos em cada peneira (e no fundo) – subtrair a tara de cada peneira de seus respectivos pesos brutos (peneira mais material retido);

Figura 10 – Pesagem do conteúdo retido em cada peneira



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 11 – Parte da amostra retida na peneira



Fonte: AUTOR (2024)

7. Somar todos os pesos retidos nas peneiras (e no fundo) para obter o peso total da amostra ensaiada;
8. Calcular os pesos dos conteúdos que passam por cada peneira. Para isso, subtrair o peso retido na peneira de maior malha do peso total da amostra (obtendo-se, assim, o peso que passa nessa peneira). Em seguida, subtrair deste peso o conteúdo retido na peneira seguinte; repetir sucessivamente o procedimento até a peneira nº 200;

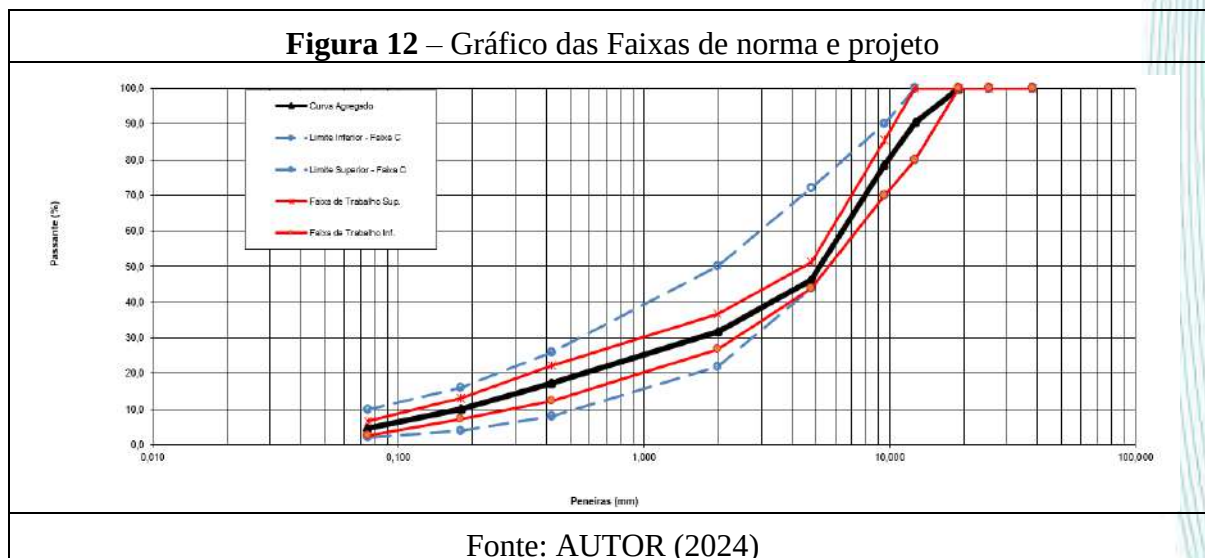
Tabela 1 – Pesos retidos e passantes

Malha		2"	1.1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº80	Nº200	Fundo
Pesos	Retido												
	Passando												
% Passando													
Peso Total da Amostra:													

Fonte: AUTOR (2024)

9. Dividir os pesos passando em cada peneira pelo peso total da amostra, obtendo-se, assim, os respectivos percentuais passando;

10. Plotar os pontos em um gráfico, dispondo na abcissa (em escala logarítmica) as malhas das peneiras (em mm) e na ordenada (em escala aritmética) os percentuais passando;



5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A constituição do concreto asfáltico deve satisfazer granulometricamente os respectivos parâmetros definidos pela norma DNIT 031/2006 e aos percentuais de ligante asfáltico determinados em projeto.

Para isso a composição deve estar parametrizada pelo seguinte quadro:

Figura 13 – Resultado final do ensaio

Peneira de malha quadrada		% em massa, passando			
Série ASTM	Abertura (mm)	A	B	C	Tolerâncias
2"	50,8	100	-	-	-
1 1/2"	38,1	95 - 100	100	-	± 7%
1"	25,4	75 - 100	95 - 100	-	± 7%
3/4"	19,1	60 - 90	80 - 100	100	± 7%
1/2"	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%

Fonte: DNIT 031/2006 (2006)

Quadro este que define qual deve ser os limites mínimos e máximos de diâmetro de agregado para cada faixa que for escolhida para ser executada. A faixa de granulométrica definida por projeto deve ser seguida e deve estar “contida” (ou seja, não deve ultrapassar os limites da faixa escolhida) na faixa escolhida para ser executada.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Mechanical analysis of extracted aggregate. **AASHTO T 30**. Washington, D.C.: AASHTO, 2010.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. Standard method of test for sieve analysis of fine and coarse aggregates. **AASHTO T 27**. Washington, D.C.: AASHTO, 2010.

ASTM INTERNATIONAL. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. **ASTM C 136**. West Conshohocken, PA: ASTM, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 083/98**: Agregados - análise granulométrica. Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 412/2019 - ME**: Pavimentação - Misturas asfálticas – Análise granulométrica de agregados graúdos e miúdos e misturas de agregados por peneiramento – Método de ensaio. Rio de Janeiro: DNIT, 2019.



MANUAL DE ENSAIO GRANULOMETRIA DE SOLOS DE BASE E SUB-BASE

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Conjunto de Peneiras.....	8
Figura 2 – Agitador de Peneiras.....	8
Figura 3 – Solo de base ainda não estabilizado.....	9
Figura 4 – Quarteamento de 20 kgs de amostra.....	9
Figura 5 – Nível da balança.....	10
Figura 6 – Calibração da balança.....	10
Figura 7 – Quarteamento de 5 kg de amostra.....	11
Figura 8 – Pesagem de 5 kg de amostra.....	11
Figura 9 – Pesagem de Tara de cada peneira.....	12
Figura 10 – Transferência de amostra para conjunto de peneiras.....	12
Figura 11 – Posicionamento da Amostra no agitador mecânico.....	13
Figura 12 – Parte da amostra retida na peneira.....	14
Figura 13 – Gráfico das Faixas de norma e projeto.....	15
Figura 14 – Resultado final do ensaio.....	16



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pesos retidos e passantes.....	14
--	----



TRIBUNAL DE CONTAS DO
ESTADO DO TOCANTINS



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	7
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	8
4.1	Materiais	8
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	16
6	REFERÊNCIAS.....	17

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de realizar o ensaio de granulometria em solos de base e sub-base origina-se da importância crítica da distribuição do tamanho dos agregados na composição destas camadas com o propósito de averiguar a resistência das mesmas.

O ensaio de granulometria é crucial para avaliar a adequação de solos utilizados como base em pavimentos asfálticos. Este ensaio determina a distribuição dos tamanhos das partículas no solo, um fator essencial para garantir a estabilidade e a capacidade de suporte do pavimento. A granulometria do solo influencia diretamente suas propriedades mecânicas, como compactação e permeabilidade, que são vitais para a durabilidade do pavimento.

O ensaio de granulometria pode ser realizado por peneiramento. No método de peneiramento, uma amostra seca de solo é passada por uma série de peneiras com aberturas padronizadas, começando da maior para a menor. Cada fração retida em cada peneira é pesada, e os resultados são expressos como uma porcentagem da massa total da amostra.

A análise granulométrica fornece dados essenciais para a classificação do solo e a determinação de sua adequação para diferentes camadas de pavimentação. Solos com uma boa distribuição de tamanhos de partículas, conhecidos como bem graduados, apresentam melhor compactação e estabilidade estrutural.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O desenvolvimento do ensaio começou no início do século XX, sendo que a versão inicial foi publicada em 1935. A norma foi resultado de extensivas pesquisas e colaborações entre engenheiros civis e cientistas do solo, que buscavam uma maneira eficiente e confiável de categorizar solos para uso em construção e outras aplicações. Richard Ladd, um renomado engenheiro geotécnico, foi uma figura chave na evolução deste método. Ele contribuiu significativamente para a padronização e a precisão do ensaio, influenciando as práticas de engenharia civil em todo o mundo.

A motivação por trás da criação da ASTM D422 era resolver as discrepâncias nos resultados de análise de solo que variavam significativamente entre diferentes laboratórios devido à falta de um procedimento uniformizado. Com a introdução desta norma, tornou-se possível assegurar que os solos utilizados em obras de infraestrutura, como pavimentos, tivessem características mecânicas adequadas, contribuindo para a durabilidade e segurança das construções. A precisão na determinação da distribuição granulométrica ajuda a prever e mitigar problemas como a compactação inadequada e a permeabilidade do solo, que podem afetar negativamente a performance estrutural dos pavimentos. primeiros padrões para proporções e tamanhos de agregados em misturas asfálticas.

Ao longo dos anos, a ASTM D422 foi revisada e melhorada, sendo eventualmente substituída pelas normas ASTM D6913 e ASTM D7928, ambas americanas, que oferecem métodos mais detalhados e precisos para a análise de solos. As normas nacionais que regem este ensaio são DNER-ME 083/98 e DNIT 141/2022.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de granulometria tem como objetivo principal determinar a distribuição de tamanhos das partículas de uma amostra de solo. Esse ensaio é fundamental para avaliar as propriedades físicas do solo, como permeabilidade, resistência ao cisalhamento e capacidade de suporte, que são essenciais para projetos de engenharia civil, especialmente na construção de pavimentos asfálticos. A granulometria do solo influencia diretamente a compactação e a estabilidade da estrutura do pavimento, sendo um fator crítico para garantir a durabilidade e a eficiência das obras de infraestrutura.

Em fiscalizações e auditorias de obras públicas e privadas, o ensaio de granulometria é aplicado para verificar a conformidade dos materiais utilizados com as especificações técnicas e normas vigentes, onde, amostras de solo são coletadas no local da obra e enviadas para ensaio em laboratório.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Agitador de peneiras;
- Jogo de peneiras (com as malhas requeridas na norma técnica DNIT 141/2022 - ES Base estabilizada granulometricamente – Especificação de serviço);
- Quarteador de amostra;
- Enxada;
- Pá;
- Bandejas;
- Balança com precisão de 0,01g.

Figura 1 – Conjunto de Peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Agitador de Peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Coletar 60kg de amostra na obra auditada ou na jazida abastecerá tal obra;

Figura 3 – Solo de base ainda não estabilizado



Fonte: AUTOR (2024)

2. Esticar uma lona em local aberto e espalhar a amostra para que seque por 24 horas ao ar;
3. Quartear a amostra dividindo-a em 4 partes e pegando as 2 partes diagonais usando enxada e pá totalizando 20kg de amostra;

Figura 4 – Quarteamento de 20 kgs de amostra



Fonte: AUTOR (2024)

4. Realizar os procedimentos de verificação da balança eletrônica de precisão, com sensibilidade de 0,01g;
 - 4.1. Conferir o nível da balança e ajustar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 4.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

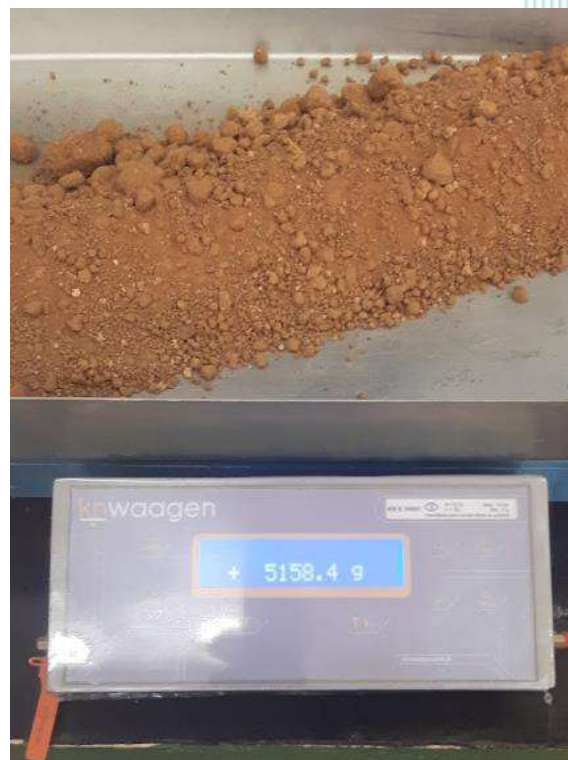
5. Separar 5 kg de amostra utilizando o quarteador (não precisa ser exatamente 5 kg, pode ser aproximado, desde que não destoe muito dos 5kg);

Figura 7 – Quarteamento de 5 kg de amostra



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 8 – Pesagem de 5 kg de amostra



Fonte: AUTOR (2024)

6. Pesar, em balança com precisão de 0,01g, as taras de cada peneira a ser utilizada, conforme definido na norma técnica aplicável, e o fundo – para isso, limpar previamente as peneiras com pincéis adequados a cada malha, evitando danos;

Figura 9 – Pesagem de Tara de cada peneira



Fonte: AUTOR (2024)

7. Transferir a amostra para o conjunto de peneiras previamente montado da peneira mais aberta (superior) para a mais fechada (inferior) e o fundo;

Figura 10 – Transferência de amostra para conjunto de peneiras



Fonte: AUTOR (2024)

8. Colocar o conjunto de peneiras, com tampa, no agitador mecânico e programar para agitar automaticamente por 15 minutos;

Figura 11 – Posicionamento da Amostra no agitador mecânico



Fonte: AUTOR (2024)

9. Pesar (com precisão de 0,01g) e calcular os conteúdos retidos em cada peneira (e no fundo) – subtrair a tara de cada peneira de seus respectivos pesos brutos (peneira mais material retido);

Figura 12 – Parte da amostra retida na peneira



Fonte: AUTOR (2024)

10. Somar todos os pesos retidos nas peneiras (e no fundo) para obter o peso total da amostra ensaiada;
11. Calcular os pesos dos conteúdos que passam por cada peneira. Para isso, subtrair o peso retido na peneira de maior malha do peso total da amostra (obtendo-se, assim, o peso que passa nessa peneira). Em seguida, subtrair deste peso o conteúdo retido na peneira seguinte; repetir sucessivamente o procedimento até a peneira nº 200;

Tabela 1 – Pesos retidos e passantes

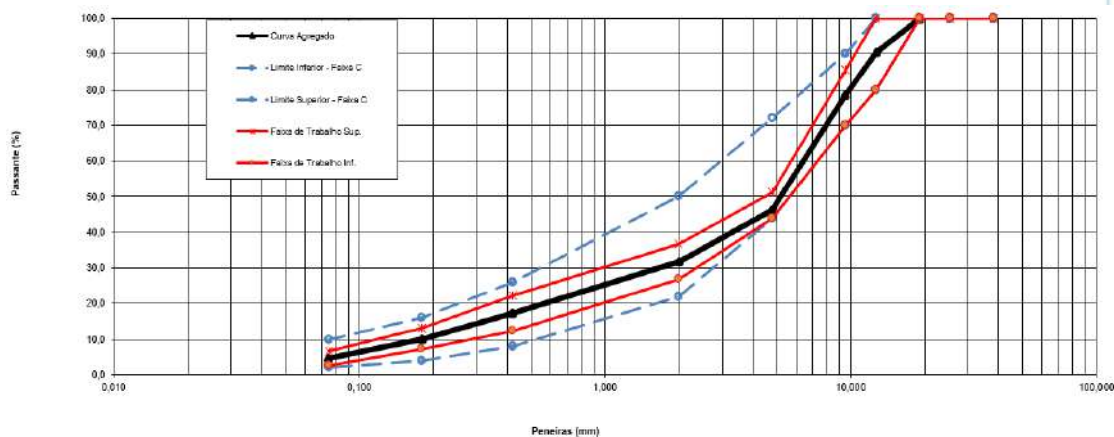
Malha		2"	1"	3/8"	Nº4	Nº10	Nº40	Nº200	Fundo
Pesos	Retido								
	Passando								
% Passando									
Peso Total da Amostra:									

Fonte: AUTOR (2024)

12. Dividir os pesos passando em cada peneira pelo peso total da amostra, obtendo-se, assim, os respectivos percentuais passando;

13. Plotar os pontos em um gráfico, dispondo na abcissa (em escala logarítmica) as malhas das peneiras (em mm) e na ordenada (em escala aritmética) os percentuais passando levando em consideração a faixa que granulométrica que foi especificada no projeto embasado na norma (demonstrado no tópico de resultados);

Figura 13– Gráfico das Faixas de norma e projeto



Fonte: AUTOR (2024)

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

A constituição da camada de base deve satisfazer granulometricamente os respectivos parâmetros definidos pela norma DNIT 141/2022 e aos parâmetros especificados em projeto.

Para isso a composição deve estar parametrizada pelo seguinte quadro:

Figura 14 – Resultado final do ensaio

Peneiras		Faixas						Tolerâncias da faixa de projeto
		Para N > 5 x 10 ⁶				Para N < 5 x 10 ⁶		
Pol./número	mm	A	B	C	D	E	F	
2"	50,8	100	100	-	-	-	-	± 7
1"	25,4	-	75 - 90	100	100	100	100	± 7
3/8"	9,5	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100	-	-	± 7
Nº4	4,8	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85	55 - 100	70 - 100	± 5
Nº10	2,0	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70	40 - 100	55 - 100	± 5
Nº40	0,42	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45	20 - 50	30 - 70	± 2
Nº200	0,074	2 - 8	5 - 15	5 - 15	10 - 25	6 - 20	8 - 25	± 2

Fonte: DNIT 141/2022 (2022)

Quadro este que define qual deve ser os limites mínimos e máximos de diâmetro de agregado para cada faixa que for escolhida para ser executada. A faixa de granulométrica definida por projeto deve ser seguida e deve estar “contida” (ou seja, não deve ultrapassar os limites da faixa escolhida) na faixa escolhida para ser executada.

6. REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D422**: Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soils. West Conshohocken, PA: ASTM, 2007.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D6913**: Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis. West Conshohocken, PA: ASTM, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D7928**: Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis. West Conshohocken, PA: ASTM, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. **ASTM C 136**. West Conshohocken, PA: ASTM, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 083/98**: Agregados - análise granulométrica. Rio de Janeiro: DNER, 1998.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 141/2022**: Pavimentação asfáltica - Determinação da viscosidade absoluta por meio do viscosímetro Brookfield. Rio de Janeiro: DNIT, 2022.



MANUAL DE ENSAIO DE TEOR DE LIGANTE - ROTAREX

Breno Aires Monteiro

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Aparelho Rotarex.....	7
Figura 2 – Solvente Tricloroetileno.....	7
Figura 3 – Amostra em estufa.....	8
Figura 4 – Estufa a 60° C.....	8
Figura 5 – Nível da balança.....	8
Figura 6 – Calibração da balança.....	9
Figura 7 – Pesagem da amostra.....	9
Figura 8 – Pesagem do filtro.....	10
Figura 9 – Peso do prato sem amostra.....	11
Figura 10 – Peso do prato com amostra.....	11
Figura 11 – Secagem da amostra e do filtro.....	12
Figura 12 – Fórmula para cálculo de Teor de Ligante.....	13



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAUQ	Concreto Asfáltico Usinado à Quente
CAP	Concreto Asfáltico de Petróleo
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Obras Públicas
ASTM	American Society for Testing and Materials
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes
DNER	Departamento Nacional De Estradas De Rodagem



SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3	OBJETIVO DO ENSAIO.....	6
4	PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	7
4.1	Materiais	7
4.2	Metodologia	8
5	ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	13
6	REFERÊNCIAS	14

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de conhecer o teor de ligante em uma massa asfáltica do tipo CAUQ (Concreto Asfáltico Usinado a Quente) tem fundamentos técnicos e práticos profundamente enraizados na engenharia de pavimentação. Historicamente, o controle preciso do teor de ligante em misturas asfálticas foi reconhecido como essencial para garantir a qualidade, durabilidade e desempenho adequado do pavimento. O teor de ligante afeta diretamente propriedades como a resistência ao desgaste, impermeabilização e flexibilidade do pavimento, sendo fundamental para evitar problemas como rachaduras, formação de buracos e desgaste prematuro do pavimento asfáltico.

O teor de ligante em um CAUQ é indispensável porque o ligante serve como o "cimento" que une os agregados, criando uma matriz coesa que resiste às cargas do tráfego e às variações climáticas. Uma proporção inadequada de ligante pode levar a um pavimento que é tanto excessivamente rígido ocorrendo segregação dos agregados, aumentando o risco de rachaduras e separação dos mesmos, quanto excessivamente maleável (borrachudo), o que pode resultar em deformações permanentes e exsudação. Assim, a determinação precisa do teor de ligante é vital para balancear essas características, otimizando a mistura para o desempenho esperado e a vida útil do pavimento.

O ligante asfáltico, geralmente o cimento asfáltico de petróleo (CAP), é um dos componentes mais caros de uma mistura asfáltica, e seu custo pode representar uma proporção significativa do valor total da mistura. Podendo representar entre 20% a 40% do custo total de uma mistura asfáltica. Este valor é influenciado principalmente pelo preço atual do petróleo, já que o asfalto é um derivado do petróleo. Alguns fatores de variação como a flutuação no preço do petróleo, o tipo de ligante e custo de transporte até a usina de mistura asfáltica também podem influenciar no valor do final da mistura asfáltica.

Portanto, a análise do teor de ligante não é apenas uma questão de conformidade normativa, mas uma prática essencial que influencia diretamente a integridade estrutural e a funcionalidade de estradas e rodovias pavimentadas com CAUQ. Ao garantir que o teor de ligante esteja dentro dos limites ideais, pode-se assegurar que o pavimento atende ou excede as expectativas de desempenho ao longo de sua vida útil projetada.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O aparelho Rotarex foi desenvolvido como uma solução inovadora para a extração de ligante asfáltico de misturas de pavimentação. A empresa Rotarex, fundada em 1922 por Auguste Théodore Schmitz, iniciou suas operações no Luxemburgo como uma fabricante de dióxido de carbono. Com o tempo, a empresa diversificou suas atividades, incluindo a fabricação de válvulas e dispositivos para controle de gases, e eventualmente expandiu sua expertise para o desenvolvimento de equipamentos de extração de ligantes asfálticos.

Na década de 1980, houve uma crescente necessidade de métodos mais precisos e seguros para a análise de misturas asfálticas, especialmente considerando as preocupações ambientais e de segurança associadas ao uso de solventes químicos. O Rotarex foi introduzido para atender a essa demanda, oferecendo um método de extração de ligante que utiliza solventes como tricloroetileno ou percloroetileno. Este método visava substituir métodos anteriores menos seguros e menos precisos, proporcionando resultados mais confiáveis e replicáveis.

O ensaio de teor de ligante com Rotarex é regido por normas técnicas específicas, a ASTM D2172, a AASHTO T164, e o PROC-IBR-ROD 105/2016, as duas primeiras americanas, já este último foi desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Obras Públicas. Essas normas e procedimentos estabelecem as diretrizes detalhadas para a condução do ensaio, garantindo consistência e precisão nos resultados, além de segurança durante o processo.

3. OBJETIVO DO ENSAIO

O ensaio de teor de ligante com o aparelho Rotarex é utilizado para determinar a quantidade de ligante asfáltico em misturas de concreto asfáltico usinado a quente (CAUQ). Este método é essencial para garantir que a mistura asfáltica esteja conforme as especificações de projeto, influenciando diretamente a qualidade, durabilidade e desempenho do pavimento.

Durante fiscalizações de obras de pavimentação asfáltica, o ensaio de teor de ligante Rotarex é aplicado quando se deseja assegurar que o teor de ligante está dentro dos limites especificados, ou em casos de falhas prematuras no pavimento, para identificar se a causa está relacionada a uma dosagem inadequada de ligante.

4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

4.1 MATERIAIS

- Luvas de raspa de couro;
- Luvas de borracha;
- Estufa e/ou chapa aquecedora;
- Balança com precisão de 0,01g;
- Óculos de proteção;
- Espátulas rígidas metálicas;
- Bandejas metálicas;
- Rotarex;
- Solvente Tricloretileno;

Figura 1 – Aparelho Rotarex



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 2 – Solvente Tricloroetileno



Fonte: AUTOR (2024)

4.2 METODOLOGIA

1. Secar a amostra em uma estufa a uma temperatura de cerca de 60°C durante uma noite inteira;

Figura 3 – Amostra em estufa



Fonte: AUTOR (2024)

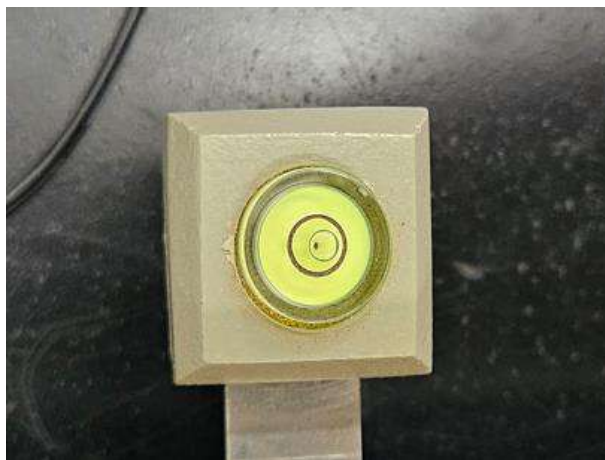
Figura 4 – Estufa a 60° C



Fonte: AUTOR (2024)

2. Verificar a precisão da balança eletrônica de precisão de 0,01g;
 - 2.1. Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;

Figura 5 – Nível da balança



Fonte: AUTOR (2024)

- 2.2. Executar as pesagens sequenciais dos pesos de calibração, iniciando com o peso de 1g (utilizando o pano para limpeza dos pesos) e verificar a exatidão das leituras da balança. Se os erros de leitura forem iguais ou superiores a 0,05g, proceder com a recalibração da balança;

Figura 6 – Calibração da balança



Fonte: AUTOR (2024)

3. Pesar a amostra usando a balança de precisão de 0,01g;

Figura 7 – Pesagem da amostra



Fonte: AUTOR (2024)

4. Determinar o peso da umidade nos filtros (duas vezes ao dia);
 - 4.1 Conferir a bolha do nível da balança e nivelar se necessário;
 - 4.2 Pesar o filtro disco de papel;

Figura 8 – Pesagem do filtro



Fonte: AUTOR (2024)

- 4.3 Colocá-lo na estufa;
 - 4.4 Pesar novamente após a estufa;
 - 4.5 A diferença entre os pesos fornece o valor de umidade presente nos filtros;
 - 4.6 Registrar esse peso de água para ajustar nas pesagens iniciais de outros filtros;
 - 4.7 Descartar o filtro após este teste;
5. Pesar o filtro que será usado e descontar o peso de água nele contido (conforme descrito no item 4.5);

6. Colocar a amostra no prato do extrator (Rotarex), adicionar o filtro e introduzir solvente (tricloroetileno ou percloroetileno). Deixar o solvente agir brevemente sobre a amostra;

Figura 9 – Peso do prato sem amostra



Fonte: AUTOR (2024)

Figura 10 – Peso do prato com amostra



Fonte: AUTOR (2024)

7. Tampar o extrator (Rotarex) e acioná-lo para drenar o solvente;
8. Repetir os passos 6 e 7 até que o solvente drenado esteja claro (sem resíduos de ligante);
9. Remover o prato do extrator e retirar o agregado que ficou retido no filtro, devolvendo-o ao prato;

Secar a amostra dentro da estufa ou na chapa aquecedora juntamente com o filtro;

Figura 11 – Secagem da amostra e do filtro



Fonte: AUTOR (2024)

10. Pesar o filtro seco;
11. Calcular o agregado retido na textura do filtro (peso no passo 12 menos o peso no passo 4);
12. Pesar a amostra seca no prato e adicionar a este o peso calculado no passo 13;
13. Subtrair do peso inicial (passo 2) o peso obtido no passo 14 – este é o peso do CAP;
14. Calcular a porcentagem do CAP dividindo o peso do CAP (passo 15) pelo peso inicial da amostra (passo 2).

5. ATIVIDADES E APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Após a realização do ensaio fazendo a pesagem de maneira correta em cada etapa do mesmo, deve-se realizar os cálculos de acordo com a figura retratada abaixo cuja foi retirada do PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Figura 12 – Fórmula para cálculo de Teor de Ligante

$$T_L = \frac{P_{bi} - [P_{bf} + (P_{fd} - P_{fa})]}{P_{bi} - T} \times 100$$

Fonte: PROC-IBR-ROD 105/2016 (2016)

Onde:

T_L = Teor de Ligante

P_{bi} = Peso Bruto Inicial da amostra

P_{bf} = Peso Bruto Final da amostra

P_{fd} = Peso Final do filtro com amostra

P_{fa} = Perda de umidade do filtro

T = Tara do prato

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO T 164**: Standard Method of Test for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures. Washington, D.C.: AASHTO, 2017.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D2172**: Standard Test Methods for Quantitative Extraction of Bitumen from Bituminous Paving Mixtures. West Conshohocken, PA: ASTM, 2017.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **DNER-ME 053/94**: Misturas betuminosas - determinação da viscosidade. Rio de Janeiro: DNER, 1994.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **DNIT 031/2006 - ES**: Pavimentos flexíveis - Concreto asfáltico - Especificação de serviço. Rio de Janeiro, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS. **PROC-IBR-ROD 105/2016**: Procedimento de fiscalização de teor de ligante em misturas asfálticas. Brasília: IBR, 2016.

ANEXOS – PROCEDIMENTOS DE OBRAS RODOVIÁRIAS – IBRAOP

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 100/2017
Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar quanto à utilização dos procedimentos referentes à auditoria da camada de concreto asfáltico para obras concluídas ou em andamento.

A auditoria da camada de concreto asfáltico pode envolver a verificação da sua espessura, das suas propriedades (densidade aparente, teor de ligante, grau de compactação, granulometria dos agregados, resistência à tração, estabilidade, fluência, percentual de vazios na mistura, relação betume/vazios e percentual de vazios do agregado mineral), dos quantitativos (de concreto asfáltico e de ligante), a comparação entre o serviço especificado e o executado, bem como a avaliação do controle tecnológico da obra e da qualidade do pavimento.

Diante da ampla gama de possibilidades, há a necessidade de a Equipe de Auditoria definir o escopo dos trabalhos, considerando os aspectos de relevância, materialidade, risco e oportunidade, bem como as informações, os recursos e os prazos disponíveis.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

O procedimento foi desenvolvido considerando construções e restaurações de pavimentos de concreto asfáltico usinado à quente. Observando as adaptações necessárias, inclusive quanto à existência de normas específicas, a Equipe de Auditoria também poderá utilizá-lo na auditoria de pavimentos de outros tipos de camadas asfálticas.

Inicialmente, a Equipe de Auditoria deve verificar se houve algum trabalho anterior, do próprio órgão ou de terceiros, cujas conclusões tragam algo de relevante para a auditoria.

Sugere-se, conforme o caso, a requisição dos seguintes documentos e informações, sem prejuízo da utilização de outros meios de evidências, em formato eletrônico editável (aberto, sem senhas, com fórmulas visíveis, etc.) a ser definido pela Equipe de Auditoria:

- a. edital e seus anexos;
- b. projeto básico/executivo;
- c. critérios de medição;
- d. planilha orçamentária e composições de preços unitários da empresa contratada;
- e. cronograma da obra e histograma dos equipamentos e mão de obra da empresa contratada, e eventuais atualizações;
- f. contrato e eventuais termos aditivos com respectivas justificativas e demais documentos anexos;
- g. garantias de execução da obra e posteriores reforços e prorrogações;
- h. ordens de início de serviço, paralisação e termos de reinício de obra;
- i. nivelamentos topográficos relacionados com a camada asfáltica;
- j. traço do concreto asfáltico;
- k. local de produção do concreto asfáltico, bem como localização das pedreiras e areais utilizados;
- l. informações sobre a operação da usina, se própria ou de terceiros;
- m. controles tecnológicos dos materiais e serviços (obtido preferencialmente *in loco*);
- n. boletins de medição, com as respectivas memórias de cálculo;
- o. notas fiscais de aquisição de materiais e serviços, nos termos do inciso II, § 1º, do art. 198 do Código Tributário Nacional;
- p. ordens de pagamentos;
- q. estudos técnicos complementares;
- r. relatórios do andamento dos serviços;

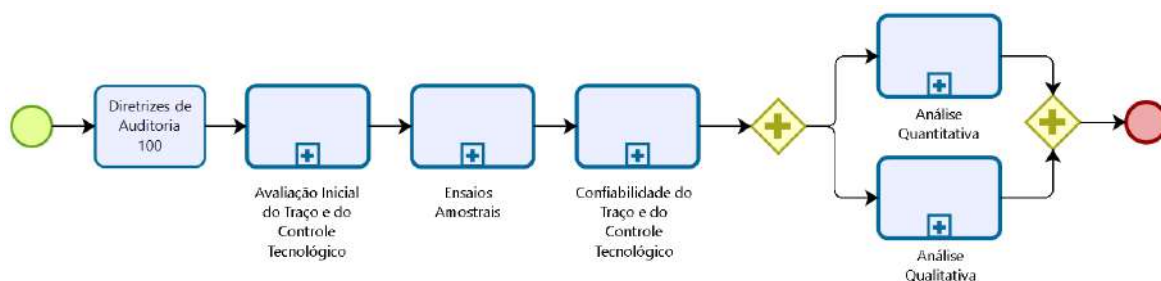
- s. livro de ordem (diário de obra);
- t. dados da execução de trecho experimentais;
- u. desenhos do *as built*;
- v. data de liberação ao tráfego;
- w. termos de recebimento provisório/definitivo.

De posse dos dados obtidos, a Equipe de Auditoria poderá verificar:

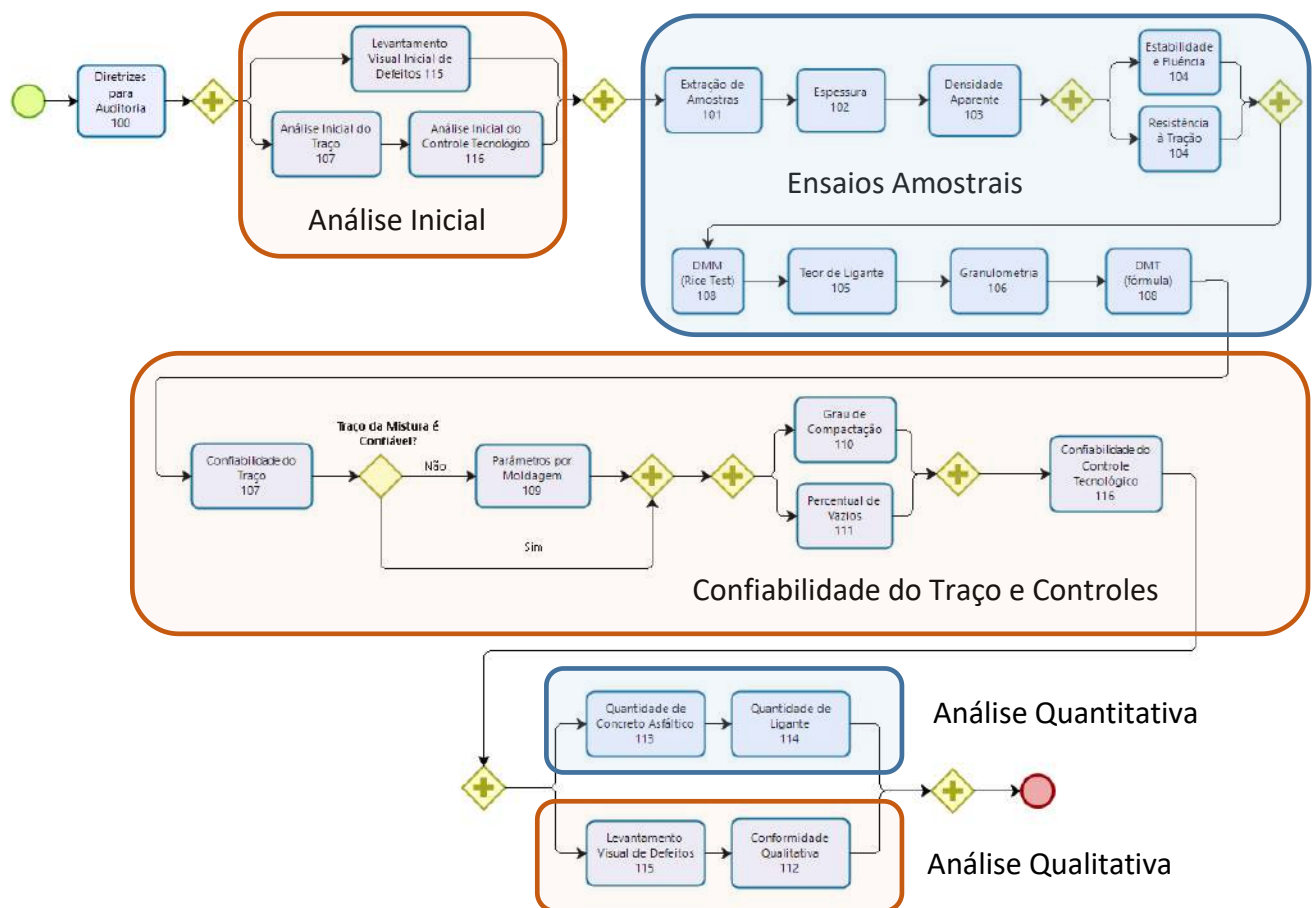
- as normas de execução dos serviços de pavimentação asfáltica que se aplicam aos serviços que estão sendo auditados;
- no Projeto Básico/Executivo da obra, os principais dados geométricos do trecho de pavimentação asfáltica que será auditado, tais como, espessura, largura e extensão;
- no traço, os parâmetros de referência definidos;
- a coerência das memórias de cálculo das medições em si e quando comparadas com o projeto/traço e outros documentos;
- a consistência do controle tecnológico (plano de amostragem indicando o número e a frequência de ensaios em cada lote de controle, mapeamento dos furos, tratamentos estatísticos dos dados e correção dos cálculos) e a conformidade dos seus resultados em relação aos parâmetros definidos no traço e projeto;
- a necessidade de vistoria preliminar na obra.

Em função dessa análise preliminar, a Equipe de Auditoria deverá definir o escopo inicial do seu trabalho e selecionar os procedimentos que serão utilizados na auditoria.

A visão global dos procedimentos referentes à auditoria das camadas asfálticas pode ser visualizada pela seguinte figura:



O detalhamento dos procedimentos constantes dos tópicos “Avaliação Inicial”, “Ensaio Amostras”, “Confiabilidade do Traço e Controles”, “Análise Quantitativa” e “Análise Qualitativa” pode ser visualizado a seguir:



A sequência apresentada foi idealizada de maneira a serem abordados os parâmetros mais relevantes de avaliação das camadas asfálticas. No entanto, cabe à Equipe de Auditoria, diante dos recursos disponíveis e do caso concreto, estabelecer quais procedimentos serão utilizados.

Vale ressaltar que deixar de realizar um procedimento não impede, necessariamente, a continuidade da execução daqueles subsequentes, uma vez que os resultados dos procedimentos não realizados podem não ser necessários ou podem ser substituídos por dados que a Equipe de Auditoria entender pertinentes.

Estabelecido o escopo, a Equipe de Auditoria deverá selecionar o procedimento correspondente nas LINHAS do quadro abaixo. Dessa forma, a Equipe poderá identificar, nas COLUNAS indicadas nas células em cor verde (ou símbolo R – recebe dados), os procedimentos que podem subsidiar aquele selecionado na linha. A Equipe também poderá visualizar, nas colunas indicadas nas células em cor azul (ou símbolo F – fornece dados), as possibilidades de uso da informação obtida pelo procedimento selecionado.

Procedimento	100 - Diretrizes para Auditoria	101 - Extração de Amostras	102 - Análise de Espessura	103 - Análise de Densidade Aparente	104 - Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração	105 - Análise de Teor de Ligante	106 - Análise de Granulometria	107 - Análise de Confiabilidade do Traço	108 - Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida	109 - Obtenção dos Parâmetros	110 - Análise de Grau de Compactação	111 - Análise de Percentual de Vazios	112 - Análise de Conformidade Qualitativa	113 - Análise de Quantitativo Executado	114 - Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado	115 - Levantamento Visual de Defeitos	116 - Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico
100 - Diretrizes para Auditoria		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
101 - Extração de Amostras	R		F	F	F	F	F		F	F							R
102 - Análise de Espessura	R	R											F	F			R/F
103 - Análise de Densidade Aparente	R	R						F			F			F			R/F
104 - Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração	R	R						F					F				R/F
105 - Análise de Teor de Ligante	R	R					F	F	F				F		F		R/F
106 - Análise de Granulometria	R	R				R		F	F				F				R/F
107 - Análise de Confiabilidade do Traço	R			R	R	R	R		R/F	F	F			F			R/F
108 - Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida	R	R				R	R	R/F		F	F						R/F
109 - Obtenção dos Parâmetros	R	R						R	R			F		F			
110 - Análise de Grau de Compactação	R			R				R	R	R		F	F				R/F
111 - Análise de Percentual de Vazios	R										R		F				
112 - Análise de Conformidade Qualitativa	R		R		R	R	R			R	R	R		F	F	R	
113 - Análise de Quantitativo Executado	R		R	R				R					R		F		
114 - Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado	R					R							R	R			
115 - Levantamento Visual de Defeitos	R												F				
116 - Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico	R	F	R/F	R/F	R/F	R/F	R/F	R/F	R/F		R/F						

legenda:	R - pode receber de
	F - pode fornecer para
	R/F - pode receber e fornecer

A título de exemplo, no caso em que a Equipe de Auditoria decidir abordar apenas a espessura e a densidade da camada asfáltica, poderá também avaliar aspectos de qualidade e quantidade da camada do concreto asfáltico executado. Nesse caso, a Equipe de Auditoria poderá utilizar os procedimentos PROC-IBR-ROD 101/2016, 102/2016, 103/2016, 112/2019 e 113/2016, conforme demonstrado na figura seguinte:

Procedimento	100 - Diretrizes para Auditoria	101 - Extração de Amostras	102 - Análise de Espessura	103 - Análise de Densidade Aparente	104 - Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração	105 - Análise de Teor de Ligante	106 - Análise de Granulometria	107 - Análise de Confiabilidade do Traço	108 - Análise de Densidade Máxima Teórica	109 - Obtenção dos Parâmetros	110 - Análise de Grau de Compactação	111 - Análise de Percentual de Vazios	112 - Análise de Conformidade Qualidade	113 - Análise de Quantitativo Executado	114 - Análise de Quantitativo de Ligante A	115 - Levantamento Visual de Defeitos	116 - Análise de Confiabilidade do Controle
100 - Diretrizes para Auditoria		F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
101 - Extração de Amostras	R		F	F	F	F	F		F	F							R
102 - Análise de Espessura	R	R											F	F			R/F
103 - Análise de Densidade Aparente	R	R						F			F			F			R/F

Procedimentos selecionados

Procedimentos que podem subsidiar

A Equipe de Auditoria deverá verificar os equipamentos e instrumentos necessários para realizar os trabalhos de campo, listados no texto de cada procedimento selecionado.

Caso o escopo da auditoria contemple a avaliação de outros serviços, deve ser observado o impacto desses na abrangência e na sequência da auditoria da camada asfáltica.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

-

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

-

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 102/2016 – Análise de Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 103/2016 – Análise de Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 104/2017 – Análise de Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

- PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise de Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 114/2017 – Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 115/2019 – Levantamento Visual de Defeitos sobre a Camada Asfáltica para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 108/2018
**Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas
de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria**

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar o cálculo da densidade máxima teórica e da densidade máxima medida do concreto asfáltico executado.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da compatibilidade entre o concreto executado e o traço apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- b) do grau de compactação (PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria); e
- c) do percentual de vazios (PROC-IBR-ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância dessa aferição está também na possibilidade de identificar trechos homogêneos em relação ao traço da camada de concreto asfáltico em auditoria.

Este procedimento abordará a aferição da densidade máxima teórica e da densidade máxima medida de camadas de concreto asfáltico, seja pela coleta dos insumos na usina, seja pela coleta de concreto asfáltico na usina ou na acabadora, seja pela utilização do material proveniente dos corpos de prova extraídos conforme o PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

Para a determinação da densidade máxima teórica, os equipamentos e instrumentos necessários são:

- Balança com resolução máxima de 20.000 g, sensível a 1 g e com dispositivo (gancho) que permita pesagem hidrostática;
- Balança com resolução máxima de 2.000 g, sensível a 0,01 g;
- Estufa com capacidade de manter a temperatura entre 105 e 110°C;
- Placa aquecedora ou outra fonte de calor ou bomba de vácuo;
- Frasco de Le Chatelier;
- Picnômetro com capacidade de 500 ml;
- Cesto de pesagem hidrostática;
- Termômetro capaz de medir a temperatura da água do banho térmico entre 20 e 30°C, com resolução de 0,1°C;
- Recipiente para controle térmico; e
- Água destilada.

Para a determinação da densidade máxima medida, os equipamentos e instrumentos necessários são:

- Balança com resolução máxima de 10.000 g, sensível a 0,1 g e com dispositivo (gancho) que permita pesagem hidrostática;
- Termômetro capaz de medir a temperatura da água do banho térmico entre 20 e 30°C, com resolução de 0,1°C;
- Estufa com capacidade de aquecimento de até 200°C e de manutenção da temperatura na faixa de $\pm 3^\circ\text{C}$; e
- RICE TEST, composto de:
 - o Bomba de vácuo capaz de aplicar uma pressão residual de 4,0 kPa (30 mm de Hg) ou menos;

- Frasco de vidro ou metálico tipo Kitazato ou recipiente cilíndrico metálico com capacidade de pelo menos 4.000 ml, resistente à pressão de vácuo, com tampão de borracha e conexão para a linha de vácuo;
- Mesa de agitação orbital de bancada com controlador de velocidade e garras de fixação;
- Recipiente para controle térmico;
- Placa de vidro com dimensões suficientes para cobrir inteiramente a abertura do recipiente ou tampa (opcional).

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, avaliar qual o parâmetro foi utilizado no traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado, se a densidade máxima teórica (*DMT*) ou a densidade máxima medida (*DMM*). No caso de ter sido utilizada a *DMT*, a Equipe de Auditoria deve tomar nota das densidades e das proporções dos materiais constituintes da massa asfáltica.

Caso a Equipe de Auditoria não opte pelo mesmo método adotado na definição do traço, deve ser verificado, por meio de ensaios laboratoriais, eventual fator de correção entre as medidas *DMT* e *DMM* aplicável ao traço em análise.

Devem ser observados os relatórios de controle tecnológico emitidos pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, com a especificação dos parâmetros de referência considerados.

A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

A Equipe de Auditoria pode extrair e preparar os corpos de prova conforme PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

Caso a densidade máxima seja obtida por meio do RICE TEST, a Equipe de Auditoria deve tomar o cuidado de preservar a amostra, realizando esse ensaio antes da elaboração dos procedimentos PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A seguir são detalhados os processos de obtenção da *DMT* por meio do método teórico e da *DMM* por meio do RICE TEST.

3.1. MÉTODO TEÓRICO

Caso a opção seja pela *DMT*, a densidade máxima pode ser obtida agrupando-se o material de corpos de prova, preferencialmente sequenciais, que caracterizem trechos homogêneos em relação ao traço, dada a análise das fichas técnicas provenientes do PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e do PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, desde que não haja evidências de diferenças de origem dos agregados que serão agrupados. Na impossibilidade desse agrupamento, os parâmetros serão obtidos para cada corpo de prova.

Neste método, a *DMT* é determinada pela ponderação entre as massas específicas de todos os elementos constituintes da mistura asfáltica (agregados e ligante), conforme indicado na fórmula a seguir:

$$DMT = \frac{100}{\frac{\%a}{G_a} + \frac{\%A_g}{G_{Ag}} + \frac{\%A_m}{G_{Am}} + \frac{\%f}{G_f}}$$

Onde:

$\% a$ é o teor de ligante asfáltico, expresso em relação à massa total da mistura asfáltica;

$\% A_g$, $\% A_m$ e $\% f$ são as porcentagens do agregado graúdo (retido acumulado na peneira nº 4, ou seja, material com diâmetro maior que 4,8 mm), do agregado miúdo (retido acumulado passando na peneira nº 4 até a peneira nº 200, ou seja, material com diâmetro menor que 4,8 mm e superior a 0,075 mm) e do *filler* (passando na peneira nº 200, ou seja, material com diâmetro menor que 0,075 mm), respectivamente, expressas em relação à massa total da mistura asfáltica; e

G_a , G_{Ag} , G_{Am} e G_f são as massas específicas reais do ligante asfáltico, do agregado graúdo, do agregado miúdo e do *filler* mineral, respectivamente.

O teor de ligante ($\% a$) é o registrado nas fichas de aferição dos teores de ligante de cada corpo de prova, conforme PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, ou a média dos teores dos corpos de prova, em caso de agrupamento.

Em relação aos percentuais dos agregados ($\% A_g$ e $\% A_m$) de cada corpo de prova, os parâmetros de cálculo são obtidos das fichas de ensaios do PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, quanto às massas retidas em cada peneira, e do PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, quanto à massa de cada corpo de prova (M_{cp}). A M_{cp} é a subtração do Peso Bruto Inicial (P_{bi}) pela tara do recipiente côncavo do rotarex (T) ou é proveniente do relatório do forno NCAT.

Em caso de agrupamento, as massas retidas em cada peneira, obtidas das fichas de ensaios mencionadas no parágrafo anterior, são somadas e o M_{cp} passa a ser a soma das massas de cada corpo de prova agrupado.

O $\% A_g$ é a divisão da soma das massas retidas até a peneira nº 4 por M_{cp} . Já o $\% A_m$ é a divisão da soma das massas que passam na peneira nº 4 e ficam retidas na peneira nº 200 por M_{cp} .

Para o cálculo do $\% f$, utiliza-se a fórmula a seguir:

$$\% f = 100\% - (\% A_g + \% A_m + \% a)$$

A massa específica real do ligante asfáltico (G_a) pode ser obtida por meio da ficha técnica referente à aquisição deste insumo ou pela realização do ensaio do material ligante obtido *in loco* durante a execução da obra, conforme a Norma ABNT NBR 6296/2012 – Produtos betuminosos semissólidos – determinação da massa específica e densidade relativa.

Os ensaios para determinação das massas específicas reais dos agregados (G_{Ag} , G_{Am} e G_f) seguem como referência as Normas DNER-ME 81/98 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado graúdo, DNER-ME 84/95 – Agregado Miúdo – determinação da densidade real e DNER-ME 85/94 – Material Finamente Pulverizado – determinação da massa específica real, com as adaptações ao caso concreto.

Vale observar que os percentuais de agregados miúdos e graúdos podem não corresponder aos percentuais individuais dos agregados que compõem o traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado.

3.2. RICE TEST

Caso a opção seja pela *DMM*, a densidade máxima será obtida para cada corpo de prova, podendo a Equipe de Auditoria agrupar o material de corpos de prova, preferencialmente sequenciais, que caracterizem trechos homogêneos em relação ao traço, caso não pesem, inicialmente, dúvidas sobre a validade material e documental das informações sobre o traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado.

Aplica-se a este ensaio a Norma ABNT NBR 15619/2016 – Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas ou a Norma ASTM D2041-03 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*, com as adaptações necessárias ao caso concreto.

No caso de pesagem ao ar, a *DMM* é calculada em conformidade com a seguinte fórmula:

$$DMM = \frac{A}{A + B - C}$$

Onde:

A é a massa da amostra seca ao ar;

B é a massa da tampa ou vidro somada ao recipiente com água destilada a 25°C; e

C é a massa da tampa ou vidro somada ao recipiente com água destilada a 25°C e com a amostra.

No caso de pesagem submersa, a *DMM* é calculada em conformidade com a seguinte fórmula:

$$DMM = \frac{A}{A - (E - D)}$$

Onde:

A é a massa da amostra seca ao ar;

D é a massa do recipiente submerso em água a 25°C; e

E é a massa do recipiente com a amostra, submersos em água a 25°C.

A opção por um ou outro tipo de ensaio do RICE TEST dependerá dos equipamentos disponíveis.

Vale ressaltar que, após a realização do ensaio, a Equipe de Auditoria deve tomar o cuidado de passar a amostra com a água na peneira nº 200 de forma a não perder o material fino dos agregados, necessário para a realização dos procedimentos PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

3.3. ANÁLISE DOS DADOS

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados das densidades máximas obtidas, deverá reavaliar os trechos homogêneos em relação ao traço que teria sido executado. Para cada trecho, deverá ser obtida a **média** das densidades, denominada de Densidade Máxima Teórica Auditada em Campo (*DMT_C*) ou Densidade Máxima Medida Auditada em Campo (*DMM_C*).

A densidade máxima a ser adotada (*DMT_A* ou *DMM_A*) pela Equipe de Auditoria será, em regra, a obtida no traço que teria sido elaborado para o concreto asfáltico executado ou dos resultados obtidos dos ensaios de controle da mistura realizado pela equipe de fiscalização ou supervisão da obra, caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, desde que esta medida não seja superior ou inferior a 0,5% das *DMT_C* ou *DMM_C*.

A tolerância de 0,5% pode ser majorada ou minorada a depender da quantidade e precisão dos dados obtidos pela Equipe de Auditoria no caso concreto.

A adoção pela Equipe de Auditoria da DMT_C ou da DMM_C indica que o traço informado não corresponde ao executado, já caracterizando a sua não confiabilidade, situação também tratada no procedimento PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Traço informado não corresponde ao concreto asfáltico executado, contrariando o artigo 66 da Lei n.º 8.666/1993.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço informado;
- b) Fichas de aferição das densidades máximas.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- ABNT NBR 6296/2012 – Produtos betuminosos semissólidos – determinação da massa específica e densidade relativa;
- DNER-ME 81/98 – Agregados – determinação da absorção e da densidade de agregado gráudo;
- DNER-ME 84/95 – Agregado Miúdo – determinação da densidade real;
- DNER-ME 85/94 – Material Finamente Pulverizado – determinação da massa específica real;
- ABNT NBR 15619/2016 – Misturas asfálticas – Determinação da densidade máxima teórica e da massa específica máxima teórica em amostras não compactadas;
- ASTM D2041-03 – *Standard Test Method for Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures*;
- PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

- PROC-IBR-ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC-IBR-ROD 110/2018
Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo instruir a Equipe de Auditoria quanto à aferição do grau de compactação de camadas de concretos asfálticos.

A determinação do grau de compactação na pista servirá de subsídio para a avaliação da qualidade do concreto asfáltico executado (PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância desta aferição está na possibilidade de identificar evidências quanto à execução de camadas de concretos asfálticos com grau de compactação inadequado, podendo reduzir o desempenho e a vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e dispêndio precoce de recursos para a manutenção da via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria, primeiramente, deve verificar qual o traço adotado, conforme o resultado do PROC–IBR–ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria ou do PROC–IBR–ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

Na sequência, em relação ao traço adotado, deve tomar nota da densidade aparente, que passa a ser denominada de densidade aparente de projeto (*DAP*), e, alternativamente, tomar nota da densidade máxima teórica (*DMT*) ou da densidade máxima medida (*DMM*), obtida por meio do Rice Test.

A Equipe de Auditoria deve considerar as densidades aparentes dos corpos de prova extraídos (*d*), conforme PROC–IBR–ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

O grau de compactação da camada asfáltica deve ser calculado, para cada corpo de prova, conforme a fórmula a seguir:

$$GC_1 = \left(\frac{d}{DAP} \right) \times 100$$

Onde *d* é a densidade aparente de cada corpo de prova da amostra adotada, que pode ser decorrente da auditoria ou do controle tecnológico, conforme o PROC–IBR–ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, e *DAP* é a densidade aparente do projeto da mistura asfáltica referente ao traço adotado.

Caso sejam obtidos valores atípicos de grau de compactação, por exemplo, menor que 85% ou maior que 105%, é recomendável que seja reavaliada a consistência da *DAP* utilizada, ou, até mesmo, dos valores de *d* considerados.

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados dos graus de compactação dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular a média do grau de compactação dos corpos de prova daquele trecho, denominado Grau de Compactação Médio adotado (*GC_{1A}*).

Se no cálculo do grau de compactação tiverem sido adotadas as densidades aparentes do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, a comparação com o grau de compactação definido no contrato ou na Norma DNIT 031/2006 – ES deve considerar o tratamento previsto no item 7.5 dessa norma, ou, ainda, de uma outra norma pertinente ao caso concreto.

Caso contrário, o GC_{1A} deve ser diretamente comparado com as referências indicadas no parágrafo anterior.

São considerados não-conformes os trechos que possuam valores de GC_{1A} inferiores a 97% ou superiores a 101%, de acordo com o item 7.2.2 da Norma DNIT 031/2006 – ES, ou ainda, fora dos limites previstos em uma outra norma pertinente ao caso concreto ou no contrato.

Alternativamente, a Equipe de Auditoria pode obter o grau de compactação, para cada corpo de prova, a partir da seguinte fórmula:

$$GC_2 = \left(\frac{d}{DMT_A} \right) \times 100 \text{ ou } GC_2 = \left(\frac{d}{DMM_A} \right) \times 100$$

Onde d é a densidade aparente definida anteriormente, DMT_A é a densidade máxima teórica do traço adotado e a DMM_A é a densidade máxima medida do traço adotado, obtidas por meio do PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise da Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Caso sejam obtidos valores atípicos de grau de compactação, por exemplo, menor que 80% ou maior que 100%, é recomendável que seja reavaliada a consistência da DMT_A utilizada, ou, até mesmo, dos valores de d considerados.

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados dos graus de compactação dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular a média do grau de compactação dos corpos de prova daquele trecho, denominado Grau de Compactação Médio Auditado adotado (GC_{2A}).

Se no cálculo do grau de compactação tiverem sido adotadas as densidades aparentes do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, a comparação com o grau de compactação definido no contrato ou na Especificação Técnica DER/SP ET-DE-P00/027 – Concreto Asfáltico deve considerar o tratamento definido no item 7.3.1 dessa especificação, ou, ainda, de uma outra norma pertinente ao caso concreto.

Caso contrário, GC_{2A} deve ser diretamente comparado com as referências indicadas no parágrafo anterior.

Nesse caso, são considerados não-conformes os trechos que possuam valores de GC_{2A} inferiores a 92%, conforme o item 7.3.1 da Especificação Técnica DER/SP ET-DE-P00/027 – Concreto Asfáltico, ou outro parâmetro estabelecido em norma pertinente ao caso concreto.

A constatação de trechos não-conformes no que tange ao grau de compactação pode impactar a conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Camada de concreto asfáltico com grau de compactação não-conforme em relação ao contrato e/ou às normas técnicas, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93;
- b) Medição contratual da camada de concreto asfáltico com grau de compactação em desacordo com o contrato e/ou com as normas técnicas, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei nº 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço apresentado;
- b) Fichas de aferição do grau de compactação da camada de concreto asfáltico;
- c) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico, respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais.

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Especificação Técnica DER/SP ET-DE-P00/027 – Concreto Asfáltico;
- PROC–IBR–ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 108/2018 – Análise da Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 112/2019
Análise de Conformidade Qualitativa de Camadas de
Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à análise da qualidade das camadas de concreto asfáltico.

A análise qualitativa também servirá de subsídio para a avaliação:

- a) do quantitativo de concreto asfáltico a ser considerado no PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- b) do quantitativo de ligante asfáltico a ser considerado no PROC–IBR–ROD 114/2017 – Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A importância desta aferição está na possibilidade de identificar evidências quanto à execução de concretos asfálticos inadequados, podendo reduzir o desempenho e a vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, dispor dos resultados adotados na auditoria quanto aos parâmetros que influenciam na avaliação da qualidade das camadas de concreto asfáltico, referentes aos ensaios amostrais e análise de confiabilidade de traço e controle tecnológico, conforme PROC–IBR–ROD 100/2017 - Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico, analisados por meio dos seguintes procedimentos:

- PROC–IBR–ROD 102/2016 – Análise de Espessura de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 104/2017 – Análise de Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- PROC–IBR–ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além desses resultados, também podem ser utilizados aqueles referentes ao PROC-IBR-ROD 115/2019 – Levantamento Visual de Defeitos de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e ao PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

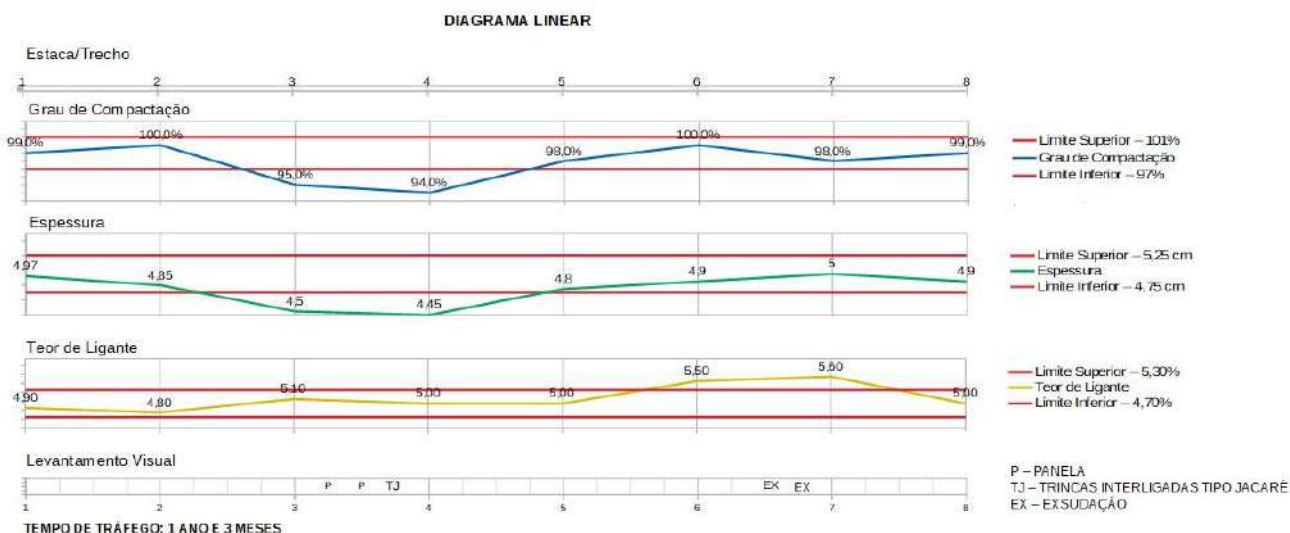
Conforme a disponibilidade, a Equipe de Auditoria também pode considerar os resultados obtidos por meio de outros tipos de levantamentos, em geral, realizados pela fiscalização e/ou supervisão da obra, em trechos já executados, tais como:

- Análises defletoométricas e raio de curvatura, por meio da utilização de equipamentos como *Falling Weight Deflectometer* (FWD) ou Viga Benkelman;
- Avaliação da textura superficial por meio do ensaio de mancha de areia ou do pêndulo britânico;
- *International Roughness Index* (IRI) ou Quociente de Irregularidade (QI); e
- Flecha de trilha de roda.

Para avaliar a qualidade, a Equipe de Auditoria pode, então, consolidar os dados disponíveis, antes elencados, elaborando, por exemplo, um diagrama linear de cada parâmetro obtido, com a indicação:

- dos trechos auditados;
- dos resultados observados;
- dos limites superiores e inferiores previstos em norma/projeto para cada parâmetro auditado; e
- do tempo de exposição ao tráfego.

Alinhando-se os respectivos diagramas, a Equipe de Auditoria pode, então, quanto às não-conformidades, verificar eventual simultaneidade de ocorrência por trecho, bem como a interação e relevância dessas ocorrências, conforme exemplo a seguir:



A Equipe de Auditoria pode analisar a correspondência entre os defeitos observados na pista com eventuais não-conformidades apresentadas nos ensaios de caracterização da mistura, da espessura, das propriedades físicas e mecânicas da camada de concreto asfáltico. A tabela abaixo indica manifestações patológicas mais frequentes que podem decorrer de eventuais não-conformidades dos parâmetros da camada asfáltica:

Indicador de deficiência	Prováveis manifestações patológicas mais frequentes
Espessura insuficiente	fissuras/trincas longitudinais, tipo Jacaré, borda e de reflexão; trilha de roda; afundamentos localizados; escorregamento; painéis e remendos; bombeamento de finos
Quantidade excessiva de ligante asfáltico	trilha de roda; afundamentos localizados; escorregamento; ondulação; exsudação; atrito superficial insuficiente
Quantidade insuficiente de ligante asfáltico	fissuras/trincas longitudinais, tipo Jacaré e de borda; desgaste, desagregação
Compactação insuficiente	fissuras/trincas longitudinais, tipo Jacaré, borda e bloco; trilha de roda; afundamentos localizados; desgaste, desagregação
Compactação excessiva	trilha de roda; afundamentos localizados; corrugação; exsudação.
Granulometria inadequada dos agregados	fissuras/trincas dos diversos tipos; desgaste; desagregação, escorregamento; ondulação; atrito superficial deficiente
Concreto asfáltico com baixa resistência à tração ou baixa estabilidade	fissuras/trincas longitudinais e tipo Jacaré; trilha de roda; afundamentos localizados; escorregamento; ondulação; painéis e remendos

É importante ressaltar que um defeito pode ter várias causas e também surgir apenas quando o pavimento estiver submetido por certo tempo ao tráfego, o que deve ser ponderado pela Equipe de Auditoria.

Em relação aos resultados referentes a outros tipos de levantamentos realizados além dos ensaios amostrais, a Equipe de Auditoria pode, se aplicável ao caso concreto, avaliar, para cada trecho homogêneo, as referências previstas na Instrução de Serviço DNIT nº 13, de 04 de novembro de 2013. Esta instrução indica que diversos parâmetros não devem sofrer alterações significativas, por razões de ordem construtiva, em um prazo de cinco anos desde o encerramento do contrato, conforme os padrões indicados a seguir:

Indicador	Padrões exigidos
Flecha nas trilhas de roda	$F \leq 5,0$ mm em 100 % das medidas obtidas
Trincas classes 2 e 3	0,0 % de frequência relativa ou área
Exsudação	0,0 % de frequência relativa ou área
Ondulação/Corrugação e Escorregamento	0,0 % de frequência relativa ou área
ALP, ATP, ALC e ATC	0,0 % de frequência relativa ou área
Deflexão recuperável, Dp	$Dp \leq 1,1 D_{adm}$
Raio de curvatura, Rc	$R_c > 100$
QI	$QI \leq 30$ contagens/km para pavimentos novos e $QI \leq 35$ contagens/km para pavimentos restaurados
IRI	$IRI \leq 2,3$ m/km para pavimentos novos e $IRI \leq 2,7$ m/km para pavimentos restaurados
Mancha de areia, HS	$0,4 \text{ mm} \leq HS \leq 0,6 \text{ mm}$

Onde: ALP – afundamento local plástico
ATP – afundamento de trilha plástico
ALC – afundamento local de consolidação
ATC – afundamento de trilha de consolidação
Dadm – Deformação admissível

De posse do conjunto ou parte dessas informações, conforme o escopo do trabalho, a Equipe de Auditoria pode classificar cada trecho como conforme ou não-conforme. São considerados não-conformes os trechos que possuam indicadores de qualidade incompatíveis com o tempo de vida útil e de uso do pavimento, o que deve ser avaliado sob o ponto de vista de superfaturamento por qualidade, conforme a OT-IBR nº 005/2012 – Apuração de sobrepreço e superfaturamento em obras públicas.

Destaca-se que a não-conformidade da camada de concreto asfáltico pode ter como causa eventuais deficiências da pintura de ligação, da base, da sub-base, das camadas inferiores ao pavimento, da drenagem, entre outros fatores, o que também deve ser ponderado pela Equipe de Auditoria.

A Equipe de Auditoria deve verificar se foram adotados eventuais fatores de penalização em relação à medição de camadas asfálticas conforme o valor obtido de cada parâmetro, caso as condições contratuais assim estabeleçam. Como exemplo, menciona-se a tabela abaixo, adaptada da *Standard Specifications 2018 – Caltrans*, com fatores de dedução a serem aplicados na medição e pagamento quando os vazios da camada de concreto asfáltico executada são maiores que 9% ou menores que 3%:

Vazios maiores que 9 %		Vazios menores que 3 %	
Vv (%)	Fator de dedução do pagamento	Vv (%)	Fator de dedução do pagamento
9	0	3	0
9,1	0,0125	2,9	0,0125
9,2	0,025	2,8	0,025
9,3	0,0375	2,7	0,0375
9,4	0,05	2,6	0,05
9,5	0,0625	2,5	0,0625
9,6	0,075	2,4	0,075
9,7	0,0875	2,3	0,0875
9,8	0,1	2,2	0,1
9,9	0,1125	2,1	0,1125
10	0,125	2	0,125
10,1	0,1375	1,9	0,1375
10,2	0,15	1,8	0,15
10,3	0,1625	1,7	0,1625
10,4	0,175	1,6	0,175
10,5	0,1875	1,5	0,1875
10,6	0,2	1,4	0,2
10,7	0,2125	1,3	0,2125
10,8	0,225	1,2	0,225
10,9	0,2375	1,1	0,2375
11	0,25	1	0,25
>11%	Remove a camada e reexecuta	<1%	Remove a camada e reexecuta

No caso da conclusão pela rejeição total ou parcial da camada de concreto asfáltico, a Equipe de Auditoria deve verificar o impacto dessa informação nos procedimentos PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 114/2017 – Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria,

A Equipe de Auditoria deve verificar se a norma pertinente ao caso concreto vincula a medição a um relatório de qualidade, tal como estabelecido no item 8 da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, que prescreve que os serviços que não tenham anexado um relatório de controle da qualidade contendo os resultados dos ensaios e determinações devidamente interpretados, caracterizando a qualidade do serviço executado, não devem ser objeto de medição,

Essa insuficiência de informações pode ser caracterizada a partir dos resultados dos procedimentos referentes aos ensaios amostrais da auditoria e da conclusão concernente a PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, Nessa situação, também podem ser afetadas as análises referentes aos procedimentos PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC–IBR–ROD 114/2017 – Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria,

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática,

4, DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Camadas de concreto asfáltico que possuam indicadores de qualidade incompatíveis com o seu tempo de vida útil e de uso, em afronta ao disposto nos artigos 69 e 70 da Lei nº 8,666/93;
- b) Medição contratual com ausência de comprovação de qualidade, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei nº 8,666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei nº 4,320/1964; e
- c) Superfaturamento por qualidade caracterizado por deficiência na execução do concreto asfáltico que resulte na diminuição da qualidade, vida útil ou segurança do pavimento, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei nº 8,666/1993 c/c os artigos 62 e 63 da Lei nº 4,320/1964,

5, DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações de serviço do órgão jurisdicionado fiscalizado;
- b) Cópia do Projeto de Pavimentação;
- c) Cópia dos processos de medição e pagamento;
- d) Cópia dos Termos de Recebimento provisório e definitivo,
- e) Notificações e expedientes emitidos e recebidos;
- f) Cópia dos Relatórios de inspeções periódicas, após o recebimento da obra;
- g) Cópia dos Relatórios mensais de acompanhamento da obra;
- h) Fichas de aferição dos parâmetros ensaiados; e
- i) Cópia dos Relatórios e atestados do Controle Interno, após o recebimento da obra,

6, NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;

- Instrução de Serviço DNIT/DG nº 13, de 04 de novembro de 2013, que define e padroniza os procedimentos técnicos e administrativos para o recebimento de obras rodoviárias de pavimentação de pavimentos novos e restaurados – que foram objeto de intervenções de caráter estrutural;
- *Standard Specifications 2018, Department of Transportation, California State Transportation Agency – Caltrans*;
- PROC–IBR–ROD 100/2017 - Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico;
- PROC–IBR–ROD 102/2016 – Análise de Espessura de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 104/2017 – Análise de Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 111/2018 – Análise de Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 114/2017 – Análise de Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 115/2019 – Levantamento Visual de Defeitos de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- OT-IBR nº 005/2012 – Apuração de sobrepreço e superfaturamento em obras públicas,

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 103/2021
Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Edição válida a partir de:

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto ao processo de cálculo das densidades aparentes dos concretos asfálticos executados.

A determinação das densidades na pista servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da compatibilidade entre o concreto asfáltico efetivamente executado e o traço apresentado, conforme PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade e de Adequabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- b) da qualidade do concreto asfáltico executado através do grau de compactação, conforme PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, e do percentual de vazios da pista, conforme PROC-IBR-ROD 111/2018 Análise do Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- c) do quantitativo de concreto asfáltico a ser considerado no PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- d) da confiabilidade do controle tecnológico, conforme PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A importância dessa aferição está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por quantidade e/ou qualidade pela execução de camadas de concreto asfáltico com densidades diversas daquelas especificadas em projeto e/ou indicadas em medição contratual, assim como na possibilidade de redução do desempenho e da vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

Caso o procedimento se utilize da Norma DNER-ME 117/94 – Densidade Aparente CBUQ – Método de ensaio, os equipamentos/instrumentos necessários são:

- Balança com capacidade mínima de 5000g, sensível a 0,1g e com gancho que permita pesagem hidrostática, preferencialmente eletrônica;
- Recipiente cilíndrico para imersão de corpo de prova, com dimensões mínimas de 30cm de diâmetro e 40cm de altura (balde);
- Cesto para pesagem hidrostática, com diâmetro mínimo de 15cm;
- Fio de nylon; e
- Conjunto de pesos padrões para avaliação da aferição da balança.

Se o procedimento se pautar na Norma DNIT 428/2020 - ME - Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados - Método de ensaio, os equipamentos/instrumentos necessários, além daqueles indicados anteriormente, são:

- Banho de água com controle de temperatura ($25 \pm 1,0$) °C, com capacidade mínima para três corpos de prova, de modo a garantir uma lâmina de água de no mínimo 25mm acima do corpo de prova;
- Estufa com controle de temperatura ($110 \pm 5,0$) °C;
- Paquímetro;
- Cronômetro;
- Termômetro capaz de medir entre 20,0 e $30,0 \pm 0,1$ °C;
- Filme de PVC;
- Placas de Poliuretano com espessura aproximada de 12,5 mm;
- Cilindro de alumínio maciço com superfícies lisas e dimensões aproximadas de 100 mm de diâmetro e 60 mm de altura; e

- Sistema de circulação forçada, como, por exemplo, um ventilador.

3. PROCEDIMENTO

Inicialmente, destaca-se que a aferição das densidades pode ser realizada com extração de amostras ou por outros meios, tais como dados laboratoriais da empresa executora do serviço ou da empresa supervisora.

Este procedimento abordará a aferição da densidade aparente do concreto asfáltico a partir da extração de amostras por extratora (sonda) rotativa, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, bem como a comparação dos dados decorrentes dessa extração com as especificações de projeto e as medições contratuais. Caso seja utilizado outro método amostral, como por exemplo a abertura de janela, devem ser realizadas as adaptações necessárias.

A Equipe de Auditoria, primeiramente, deve tomar nota das densidades aparentes indicadas nas medições e nos ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora. A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

Após extraídos os corpos de prova da camada de concreto asfáltico, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, a Equipe de Auditoria deverá determinar suas densidades aparentes por meio dos ensaios previstos na norma utilizada no projeto da mistura.

Caso a referência seja a Norma DNER-ME 117/94 – Densidade Aparente CBUQ – Método de ensaio (determinação da densidade aparente de misturas betuminosas), a Equipe de Auditoria deve se certificar de que cada corpo de prova:

- a) represente tão somente o material asfáltico de apenas uma camada (a que está sendo auditada);
- b) esteja isento de qualquer impureza estranha ao material asfáltico; e
- c) esteja seco (com apenas a umidade do ambiente).

Para as pesagens imersas, faz-se necessária a colocação dos corpos de prova no interior de cestos apropriados para tal fim, tomando-se, antes, o cuidado de zerar a balança com o peso próprio do cesto. Caso o laboratório utilizado pela Equipe de Auditoria seja o da própria obra e não disponha do cesto para essas pesagens, a Equipe de Auditoria deve providenciar a amarração dos corpos de prova em um fio de nylon, tomando-se, antes, o cuidado de zerar a balança com o peso próprio desse fio.

A balança a ser utilizada pela Equipe de Auditoria deve ter sua calibração aferida por certificação ou, de maneira expedita, utilizando-se um objeto de peso previamente conhecido.

Como a Norma DNER-ME 117/94 prevê três diferentes procedimentos de ensaios para a obtenção da densidade aparente, inicialmente, a Equipe de Auditoria deve escolher o procedimento correspondente ao percentual de vazios indicados no projeto da mistura, obtendo-se a densidade aparente a partir da respectiva fórmula de cálculo. Na ausência deste projeto, sugere-se realizar o ensaio correspondente ao percentual de vazios inferior a 7%.

Para cada corpo de prova, é preciso calcular o percentual de vazios de maneira a avaliar se o procedimento adotado anteriormente na obtenção da densidade aparente estava adequado. Para fins de cálculo do percentual de vazios, utilizam-se as seguintes fórmulas:

- quando a DMT for o parâmetro adotado na auditoria:

$$Vv = (1 - \frac{d}{DMT}) \times 100$$

- quando a DMM for o parâmetro adotado na auditoria:

$$Vv = (1 - \frac{d}{DMM}) \times 100$$

Onde:

Vv é o volume de vazios;

d é a densidade aparente;

DMT é a densidade máxima teórica; e

DMM é a densidade máxima medida.

Se for necessário, a Equipe de Auditoria deverá refazer o ensaio até se obter a densidade aparente de acordo com a fórmula apropriada aos vazios obtidos.

No caso de a referência ser a Norma DNIT 428/2020 - ME - Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados - Método de ensaio, a Equipe de Auditoria deve realizar os procedimentos nela indicados, bem como tomar os mesmos cuidados acerca dos corpos de prova e da balança anteriormente mencionados, à exceção da exigência de o corpo de prova estar seco, pois isso dependerá de como se realizará o ensaio para a obtenção da densidade.

O cálculo da densidade aparente de cada corpo de prova deve ser registrado em ficha elaborada pela Equipe de Auditoria.

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados das densidades aparentes dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular ainda a Densidade Aparente Média Auditada em Campo (d_C).

Comparam-se os valores de d_C com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (d_A). A densidade adotada pela Equipe de Auditoria (d_A) será, em regra, a obtida do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, conforme o PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que esta medida não seja superior ou inferior a 1,5% da Densidade Aparente Média Auditada em Campo (d_C). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Na definição da densidade adotada pela Equipe de Auditoria d_A , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Para fins de avaliação dos quantitativos dos serviços executados, conforme procedimento PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, a densidade adotada pela Equipe de Auditoria (d_A), para cada trecho homogêneo, observará o critério de medição definido em edital, contrato ou norma pertinente.

Por fim, cabe mencionar que a densidade adotada (d_A) obtida neste procedimento pode servir de subsídio para os procedimentos PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade e de Adequabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de

Auditoria, PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC–IBR–ROD 111/2018 – Análise do Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Medição contratual com densidade aparente não-conforme em relação à densidade aparente adotada (d_A) pela Equipe de Auditoria, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço apresentado;
- b) Fichas de aferição das densidades aparentes médias dos corpos de prova extraídos da pista; e
- c) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico (dos trechos detectados com densidades desconformes), respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNER-ME 117/94 – Densidade Aparente CBUQ – Método de ensaio;
- Norma DNIT 428/2020 - ME - Determinação da densidade relativa aparente e da massa específica aparente de corpos de prova compactados - Método de ensaio;
- PROC–IBR–ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade e de Adequabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 111/2018 – Análise do Percentual de Vazios de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 105/2024
Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: __/__/____

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à avaliação do teor de ligante de camadas de concretos asfálticos.

A determinação do teor de ligante servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da compatibilidade entre o concreto asfáltico efetivamente executado e o traço apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- b) da qualidade do concreto asfáltico executado (PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- c) da conformidade dos quantitativos medidos de ligante asfáltico para o concreto asfáltico executado (PROC-IBR-ROD 114/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Ligante Asfáltico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância dessa aferição está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por quantidade em razão da execução de camadas asfálticas com teor de ligante inferior àquele utilizado para fins de medições. Também pelo fato de que a execução de camada asfáltica com teores de ligante em percentuais que ultrapassam as tolerâncias admitidas em norma ou projeto pode ocasionar a redução do desempenho e da vida útil do pavimento, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Aparelho extrator de ligante asfáltico, que pode ser, por exemplo, fornos de ignição como NCAT ou Mufla Digital Microprocessada, Rotarex ou Soxhlet, além de outros equipamentos produzidos para o mesmo fim;
- Balança com capacidade mínima de 2 kg, com precisão de 0,1g; e
- Estufa capaz de manter a temperatura de aquecimento em 110 ± 5 °C;

Caso o procedimento se utilize de Soxhlet, são necessários também os seguintes equipamentos/instrumentos:

- Condensador de vidro resistente ao calor do tipo Allihn, com bulbos e com junta esmerilhada de 55/50, para conexão ao extrator;
- Balão de vidro termorresistente, com capacidade de 1000 ml e com junta esmerilhada;
- Extrator Soxhlet, de vidro termorresistente, com capacidade compatível com a do balão;
- Papel de filtro qualitativo, com dimensões de 50 x 50 cm, com gramatura de 250 g/m², espessura de 0,52 a 0,58 mm e peso específico de 0,40 a 0,50 g/cm³;
- Balança com capacidade de 5 kg, com precisão de 0,1 g;
- Colher de metal com capacidade de 30 a 50 ml e cabo com cerca de 25 cm;
- Béquer de vidro com capacidade de 1000 ml;
- Manta aquecedora para balão de 1000 ml;
- Bandeja em aço estampado, com dimensões condizentes com a quantidade de amostra;
- Suporte metálico.

Caso o procedimento se utilize de Rotarex, são necessários também os seguintes equipamentos/instrumentos:

- Papel de filtro, gramatura 250 g/m² e diâmetro de 24,8 cm;
- Solvente adequado ao ensaio, sugerindo-se o uso do tricloroetileno ou percloroetileno;
- Proveta ou becker (preferencialmente de vidro), com capacidade mínima de 250 ml;

Caso o procedimento se utilize de forno tipo Mufla, são necessários também os seguintes equipamentos/instrumentos:

- Forno tipo Mufla com ar forçado para queima da amostra por qualquer método, convecção ou irradiação direta. O forno do tipo convecção deve ter capacidade de manter a temperatura de 578 °C. A dimensão da câmara da Mufla deve ser adequada para acomodar uma amostra de até 3500g.
- Conjunto de cesta para amostras

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria, de posse das especificações do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, deve, primeiramente, tomar nota do valor do teor de ligante da camada de concreto asfáltico especificado, geralmente indicado no traço apresentado e que teria sido executado.

De posse das medições contratuais e respectivas memórias de cálculo e/ou dos controles tecnológicos, a Equipe de Auditoria, sempre que possível, deve tomar nota do método de ensaio utilizado e dos teores de ligante medidos pela fiscalização, supervisora ou empresa executora.

A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra, por exemplo, aqueles obtidos de notas fiscais, certificado de ensaios e especificações do produto e controle tecnológico.

3.1. Determinação dos fatores de calibração ou correção

Considerando a possibilidade de ser utilizado equipamento de ensaio diferente daquele utilizado pelo Controle Tecnológico, a Equipe de Auditoria deve obter o fator de calibração relacionado à massa asfáltica ou fator de correção relacionado aos tipos de equipamentos.

Conhecido o projeto da mistura, a Equipe de Auditoria poderá moldar uma massa asfáltica com as mesmas características (percentual de agregados de mesma origem e teor de ligante de igual especificação), obtendo, preferencialmente, o fator multiplicador de calibração em relação à massa asfáltica moldada, conforme equação a seguir:

$$F_{cal} = \frac{TL_{traço}}{TL_{eqp.aud}}$$

Onde:

F_{cal} : Fator multiplicador de calibração;

$TL_{traço}$: teor de ligante do traço de projeto; e

$TL_{eqp.aud}$: teor de ligante obtido do equipamento da Equipe de Auditoria.

É importante observar que, nos casos dos métodos por ignição, o procedimento de calibração já é definido na própria norma, sendo também aplicável o cálculo do fator de calibração da equação acima.

Alternativamente, a Equipe de Auditoria poderá calcular o fator multiplicador de correção entre equipamentos de diferentes tipos, de modo a ajustar os resultados decorrentes de variáveis intrínsecas aos equipamentos utilizados. Para tanto, deve ser obtida a média dos teores de ligante de três massas asfálticas com 1 kg cada nos equipamentos utilizados, calculando o fator de correção conforme equação a seguir:

$$F_{corr} = \frac{TL_{eqp}}{TL_{eqp.aud}}$$

Onde:

F_{corr} : Fator multiplicador de correção;

TL_{eqp} : teor de ligante obtido do equipamento do mesmo tipo do controle tecnológico; e

$TL_{eqp.aud}$: teor de ligante obtido do equipamento utilizado pela Equipe de Auditoria.

Quando obtido o fator de calibração ou de correção, a Equipe de Auditoria deve aplicá-lo aos valores referentes aos teores de ligantes obtidos a partir do ensaio que for selecionado para os trabalhos de campo, tomando-se o cuidado de realizar a sua estimativa a partir do cálculo mais adequado ao caso concreto da auditoria, conforme indicado anteriormente.

3.2. Análise do teor de ligante da camada de concreto asfáltico para fins de auditoria

Para fins de auditoria, a massa utilizada no ensaio de extração de ligante pode ser menor que a indicada na norma específica adotada. A massa poderá ser proveniente de um único corpo de prova ou, a depender da situação fática de auditoria, da união do material destorroado de corpos de prova distintos, desde que eles tenham sido retirados de uma mesma seção transversal (estaca) e distantes não mais do que 30 cm.

Após extraídos os corpos de prova da camada de concreto asfáltico, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, e uma vez realizados os ensaios que demandam a existência do corpo de prova íntegro (ainda não destruído), bem como, se for o caso, o ensaio de determinação da Densidade Máxima Medida da massa asfáltica (Rice Test), a Equipe de Auditoria deverá obter os valores dos teores de ligante adotando um dos seguintes métodos de ensaio: por ignição (forno NCAT e forno Mufla), por refluxo duplo (Soxhlet) ou centrifugação (Rotarex), detalhados a seguir.

3.3. Por ignição (NCAT)

O ensaio, descrito sucintamente a seguir, está definido na Norma ASTM D6307 – *Standard Test Method for Asphalt Content of Hot Mix Asphalt by Ignition*.

No que tange à realização do ensaio propriamente dito, a Equipe de Auditoria deve aquecer a amostra na estufa a 110 +/- 5°C até que possa ser destorroada e seja obtida a constância de massa, indicando a retirada da umidade da amostra.

Em seguida, deve colocar o material no cesto perfurado em aço inox, pesá-lo e digitar o resultado no forno NCAT.

O material, já previamente aquecido a aproximadamente 110°C (+/- 5°C), deve ser inserido no forno. Uma vez evaporado todo o ligante, o forno identificará o momento da estabilização no peso e encerrará automaticamente o ensaio, indicando o percentual de ligante asfáltico na mistura.

A Equipe de Auditoria deve, então, transcrever todos os resultados determinados para cada corpo de prova em ficha elaborada para tal fim.

A Equipe de Auditoria poderá determinar o fator de calibração conforme a norma deste método de ensaio. Para tanto, poderá obter os insumos ou a massa asfáltica durante a inspeção *in loco* e utilizar-se do PROC-IBR-ROD 109/2019 Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria ou da norma DNER – ME 043/95 – Mistura betuminosa a quente – ensaio Marshall para a obtenção da mistura da massa.

3.4. Por ignição (forno Mufla)

O ensaio descrito a seguir baseia-se na Norma AASHTO T 308 - *Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Oven Method - Test method B*, referente a fornos sem balança incorporada.

No que tange à realização do ensaio propriamente dito, a Equipe de Auditoria deve aquecer a amostra na estufa a 110 +/- 5°C até que possa ser destorroada e seja obtida a constância de massa, indicando a retirada da umidade da amostra.

Em seguida, deve colocar o material no cesto metálico pré-aquecido, realizar as pesagens e tomar nota dos valores.

O material deve ser inserido no forno, já previamente aquecido.

A operação de queima deve ser repetida até que se verifique a estabilização da massa, indicando a finalização do ensaio.

A Equipe de Auditoria deve, então, transcrever todos os resultados determinados para cada corpo de prova em ficha elaborada para tal fim.

A Equipe de Auditoria poderá determinar o fator de calibração conforme a norma deste método de ensaio. Para tanto, poderá obter os insumos ou a massa asfáltica durante a inspeção *in loco* e utilizar-se do PROC-IBR-ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria ou da norma DNER – ME 043/95 – Mistura betuminosa a quente – ensaio Marshall para a obtenção da mistura da massa.

3.5. Por centrifugação (Rotarex) e refluxo duplo (Soxhlet)

A extração do betume contido na massa asfáltica pode ser realizada tomando-se por base a Norma ABNT NBR 16208/2013 – Misturas Asfálticas – Determinação do Teor de Betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex ou pelo Refluxo Duplo, ou Norma DNER-ME 053/94 – Percentagem de Betume – Método de ensaio.

3.5.1. Procedimento baseado na Norma ABNT NBR 16208/2013 – Determinação do Teor de Betume pelo Soxhlet

A Equipe de Auditoria deve aquecer a amostra na estufa a 110 °C, até a obtenção de massa constante, com variação máxima de 1 g entre duas pesagens sucessivas, e desagregar as partículas da mistura asfáltica.

Os papéis de filtro a serem utilizados devem ser secos em estufa, a (60 ± 5) °C, até constância de massa.

Em seguida, a Equipe de Auditoria deve pesar o prato extrator, juntamente com o papel de filtro seco, e anotar como massa (A).

Deve também pesar a amostra dentro do prato extrator, juntamente com o papel de filtro seco, e anotar como massa (B).

A mistura asfáltica deve ser conduzida ao aparelho extrator de ligante, onde se farão sucessivas centrifugações com adições de solvente, até que a cor do líquido drenado indique que não há mais ligante na mistura, restando apenas o agregado.

Esgotada a última descarga, o prato com o agregado limpo e o papel de filtro, sem a tampa, são colocados na estufa, até a obtenção de massa constante.

A Equipe de Auditoria deve, então, pesar o conjunto (agregado limpo + prato + papel de filtro seco) e anotar como massa (C).

O percentual de betume será determinado mediante a seguinte equação:

$$\%betume = ((B - A) - (C - A))/((B - A)) \times 100$$

Onde:

A é a massa do prato mais papel de filtro seco, expressa em gramas (g);

B é a massa do prato mais papel de filtro seco mais amostra, expressa em gramas (g); e

C é a massa do prato mais papel de filtro mais agregado após extração e secagem, expressa em gramas (g).

Caso a Equipe de Auditoria pretenda realizar a análise granulométrica da massa asfáltica, conforme PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, deve tomar o cuidado de remover do filtro todo o material a ele aderido, juntando-o ao restante do agregado.

3.5.2. Procedimento baseado na Norma DNER-ME 053/94 – Determinação do Teor de Betume pelo Rotarex

A Equipe de Auditoria deve aquecer a amostra na estufa de 100 a 120°C por uma hora, até que possa ser destorroadada.

Deve, também, certificar-se que o papel filtro não apresente umidade que possa afetar significativamente os resultados dos ensaios.

Em seguida, a Equipe de Auditoria deve obter a massa inicial da mistura asfáltica (A) a ser colocada no recipiente côncavo do aparelho extrator de betume.

A mistura asfáltica deve ser conduzida ao aparelho extrator de ligante, onde se farão sucessivas centrifugações com adições de solvente, até que a cor do líquido drenado indique que não há mais ligante na mistura, restando apenas o agregado.

O agregado, depois de seco, deve ser pesado (B), tomando-se o cuidado de remover do papel de filtro todo o material a ele aderido e juntá-lo ao restante do agregado.

A massa inicial da mistura asfáltica (A) subtraída da massa do agregado seco (B) corresponde à massa do betume extraído (C).

O percentual de betume será determinado mediante a seguinte equação:

$$\%betume = (C)/(A) \times 100$$

Onde:

A é a massa inicial da mistura asfáltica, expressa em gramas (g);

B é a massa do agregado seco, expressa em gramas (g); e

C é a massa do betume extraído (C = A – B), expressa em gramas (g).

3.6. Utilização do equipamento do tipo Soxhlet

O ensaio descrito a seguir baseia-se na Norma DNIT 158/2011 - Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio.

A Equipe de Auditoria deve aquecer a amostra na estufa a 110 °C, até a obtenção de massa constante, com variação máxima de 1 g entre duas pesagens sucessivas, desagregando as partículas da mistura asfáltica.

Os papéis de filtro a serem utilizados devem ser secos em estufa até obter a constância de massa.

Em seguida, a Equipe de Auditoria deve pesar o béquer juntamente com o papel de filtro, estando ambos secos, e anotar o conjunto como massa (A).

Também deve pesar a amostra dentro do béquer juntamente com o papel de filtro, estando ambos secos, e anotar o conjunto como massa (B).

A mistura asfáltica deve ser conduzida ao aparelho extrator Soxhlet, onde se farão sucessivas descargas com solvente, até que a cor do líquido drenado indique que não há mais ligante na mistura, restando apenas o agregado.

Esgotada a última descarga, a Equipe de Auditoria deve resfriar o conjunto à temperatura ambiente, transferir o cartucho de papel de filtro contendo a amostra para o béquer utilizado, levando o conjunto à estufa a 110°C, até a obtenção de massa constante.

Por fim, a Equipe de Auditoria deve proceder à pesagem do béquer com o cartucho de papel de filtro mais a amostra (C).

O percentual de betume será determinado mediante a seguinte equação:

$$\%betume = ((B - A) - (C - A)) / ((B - A)) \times 100$$

Onde:

A é a massa do béquer com o cartucho de papel de filtro, estando ambos secos, expressa em gramas (g);

B é a massa do béquer com o cartucho de papel de filtro, estando ambos secos, e também com a amostra, expressa em gramas (g); e

C é a massa do béquer com o cartucho de papel de filtro e também com o agregado após extração e secagem, expressa em gramas (g).

Caso a Equipe de Auditoria pretenda realizar a análise granulométrica da massa asfáltica, conforme PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, deve tomar o cuidado de remover do cartucho do papel de filtro todo o material a ele aderido, juntando-o ao restante do agregado.

3.7. Análise dos dados

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados dos teores de ligante dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, deverá ser obtida a média dos teores de ligante dos corpos de prova daquele trecho, denominado de Teor de Ligante Médio Auditado em Campo (T_{LC}).

O teor de ligante a ser adotado (T_{LA}) pela Equipe de Auditoria será, em regra, o obtido do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, desde que a diferença entre o Teor Médio do Controle Tecnológico da obra e o Teor de Ligante Médio Auditado em Campo não supere 0,3 pontos percentuais. Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de escolha do T_{LA} , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Para os valores de T_{LA} , se decorrente do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, deve ser efetuado o tratamento estatístico previsto no item 7.5 na

Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto.

Se T_{LA} for decorrente de T_{LC} , esse valor pode, a depender do caso concreto, ser diretamente comparado com o valor especificado, sem tratamento estatístico, ou seja, considerar, de maneira conservadora, $ks = 0$, onde s é o desvio padrão da amostra e k , o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

A Equipe de Auditoria deve comparar o teor de ligante adotado (T_{LA}) com o teor de ligante definido em projeto ou indicado no traço apresentado e que teria sido executado.

Sob o enfoque qualitativo, são considerados não-conformes os trechos que possuam valores de $T_{LA} \pm ks$ fora das faixas estabelecidas em contrato e na norma pertinente ao caso concreto. No caso da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, as variações, para mais ou para menos, não podem ser superiores a 0,3 pontos percentuais em relação ao percentual do teor de ligante de projeto, conforme item 7.2.1, alínea ‘a’ da referida norma.

Para fins de avaliação dos quantitativos dos serviços executados, o teor de ligante adotado (T_{LA}), que corresponde ao valor médio dos ensaios adotados pela Equipe de Auditoria, deve subsidiar o procedimento PROC-IBR-ROD 114/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Ligante Asfáltico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Os cálculos do teor de ligante também devem ser considerados pela Equipe de Auditoria para fins de utilização no Procedimento PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, situação em que uma eventual desconformidade qualitativa pode ser reforçada.

A não-conformidade também pode impactar a qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Camada de concreto asfáltico com teor de ligante não-conforme em relação ao contrato, projeto, traço apresentado (e que teria sido executado) e/ou às normas técnicas, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93, ou artigo 76 da Lei nº 13.303/2016, ou artigo 115 e § 1º do artigo 140 da Lei nº 14.133/2021.

b) Medições contratuais com apropriação de teor de ligante não-conforme em relação ao teor de ligante adotado (T_{LA}) pela Equipe de Auditoria, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/1993, ou artigo 76 da Lei nº 13.303/2016, ou artigo 115 e § 1º do artigo 140 da Lei nº 14.133/2021, bem como artigos 62 e 63 da Lei nº 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação, bem como do traço apresentado e que teria sido executado;

b) Fichas de aferição dos teores de ligante médios dos corpos de prova extraídos da pista;

c) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico (dos trechos detectados com teores médios desconformes), respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora;

d) Certificado de ensaios e especificações dos ligantes asfálticos.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

a) Norma ASTM D6307 – *Standard Test Method for Asphalt Content of Hot Mix Asphalt by Ignition*;

b) Norma AASHTO T 308 - *Determining the Asphalt Binder Content of Hot Mix Asphalt (HMA) by the Ignition Oven Method - Test method B*;

c) Norma DNER-ME 053/94 – Percentagem de Betume – Método de ensaio;

d) Norma DNIT 158/2011 - Mistura asfáltica – Determinação da porcentagem de betume em mistura asfáltica utilizando o extrator Soxhlet – Método de ensaio;

e) Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;

f) Norma ABNT NBR 16208/2013 – Misturas Asfálticas – Determinação do Teor de Betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex ou pelo Refluxo Duplo;

g) PROC–IBR–ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;

h) PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

i) PROC–IBR–ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

j) PROC–IBR–ROD 114/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Ligante Asfáltico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC-IBR-ROD 106/2016
Análise da Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos
para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: __/__/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à verificação da adequação da granulometria constituinte do concreto asfáltico executado, em relação ao projeto, aos limites especificados e às composições de preços de referência.

A verificação se justifica porque a granulometria exerce influência significativa no comportamento geral das misturas asfálticas, afetando suas propriedades físicas e o comportamento mecânico da mistura, principalmente em relação à deformação permanente, trincamento e outros defeitos.

Também existe a possibilidade de superfaturamento pelo pagamento do concreto asfáltico a partir de composição de preço unitário diversa da composição executada.

Este procedimento abordará a análise da granulometria a partir da obtenção de amostras por extratora rotativa, bem como a comparação com os dados de projeto e medição contratual. Caso as amostras tenham sido obtidas de outra forma, como as indicadas no PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, devem ser realizadas as adaptações necessárias.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Conjunto de peneiras de malhas quadradas (aberturas 76; 63; 50; 38; 25; 19; 12,5; 9,5; 6,3; 4,8; 2,4; 2 e 1,7; 0,42; 0,18 e 0,075 em mm);
- Balança sensível a 1 g;
- Estufa elétrica ou fogareiro para secagem do material;
- Escovas apropriadas para limpeza de peneiras;
- Repartidores de amostra;
- Tabuleiros metálicos adequados para a armazenagem do material.

3. PROCEDIMENTO

Preliminarmente, faz-se importante destacar que este procedimento difere daquele proposto no Método de Ensaio DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio. Enquanto o DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio, utiliza amostras colhidas em campo antes da compactação (amostras indeformadas), o presente procedimento utiliza amostras de agregados resultantes do processo de extração de ligante explicitado no PROC-IBR-105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria. O método de referência para ensaio, contudo, continua sendo o Método de Ensaio DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio.

A Equipe de Auditoria, de posse do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, deve, primeiramente, tomar nota da faixa granulométrica indicada no traço apresentado e que teria sido executado, bem como da especificada em licitação.

Na sequência, a Equipe de Auditoria deve realizar os procedimentos de peneiramento indicados no Método de Ensaio DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio.

O conjunto todo de peneiras será agitado de modo que todo o material passe pela peneira mais acima. O material retido na peneira superior será removido juntamente com a porção que porventura ficar presa à malha (usando escova apropriada para limpeza das peneiras), levado à balança e pesado. O resultado da pesagem é transcrito para ficha de ensaio própria. A peneira superior cujo material foi pesado é então removida e retoma-se o procedimento, tornando-se a agitar o conjunto todo de peneiras remanescente até o material passar pela peneira mais acima. O material retido na peneira superior será

removido, levado à balança e pesado. O procedimento é repetido sucessivamente até a última peneira, preenchendo-se as fichas de ensaios de granulometria com os resultados obtidos.

A quantidade de material retido em cada peneira será dividido pelo peso total da amostra, refletindo-se, em percentagem e revelando a composição granulométrica do concreto asfáltico levado à pista.

O ensaio será dado como satisfatório (validado), quando o somatório de todas as massas retidas não diferir de 0,3% da massa inicial introduzida no conjunto de peneiras.

Nas amostras retiradas conforme o procedimento PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, a granulometria do agregado graúdo (material com dimensões maiores do que 2,0 mm, ou seja, retido na peneira nº 10) pode sofrer alteração quando comparado à composição granulométrica do projeto de mistura asfáltica, mas deve enquadrar-se nos limites mínimos e máximos da especificação Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço e da faixa de trabalho. O desvio na curva granulométrica do ensaio pode ocorrer devido à quebra do agregado, durante o processo de retirada dos corpos de prova de concreto asfáltico usando Sonda Rotativa. Em função dessa e de outras imprecisões, é recomendável a adoção de tolerâncias nas análises.

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados das granulometrias dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, deverá ser obtida a média dos resultados da granulometria dos corpos de prova daquele trecho, denominado de Granulometria Média Auditada em Campo.

A granulometria a ser adotada pela Equipe de Auditoria será, em regra, a obtida do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, desde que o percentual passando em cada peneira varie em até 5%, em valores absolutos, da Granulometria Média Auditada em Campo.

Essa tolerância pode ser majorada ou minorada a depender da quantidade e precisão dos dados obtidos pela Equipe de Auditoria no caso concreto.

A granulometria adotada pela Equipe de Auditoria deverá ser comparada com a faixa indicada no traço apresentado e que teria sido executado ou, em caso de ausência dessa, com a faixa especificada em licitação.

Podem ser considerados não-conformes os trechos homogêneos que apresentarem granulometria fora da faixa indicada no traço apresentado ou da faixa especificada em licitação, conforme o caso. Tal constatação pode gerar perda de vida útil do pavimento, valendo-se, para eventual cálculo de sobrepreço ou superfaturamento por qualidade, do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria. A Equipe de Auditoria deve avaliar o impacto de uma não-conformidade da granulometria do concreto asfáltico executado na composição de preços unitário utilizada para a sua medição e apontar eventual superfaturamento se as discrepâncias observadas forem significativas.

Caso seja relevante para a auditoria, deverá ser feita a verificação das densidades dos agregados graúdos e miúdos, bem como do material de enchimento (*filler*), para fins de cálculo da densidade máxima teórica do concreto asfáltico executado e identificação de jazida, conforme PROC-IBR-ROD 108/2017 – Análise da Densidade Máxima Teórica de Camadas de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, devendo-se atentar para o adequado armazenamento do material.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Aceitação do concreto asfáltico executado com granulometria fora da faixa indicada no traço apresentado ou da faixa especificada em licitação, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93;
- b) Medição contratual do concreto asfáltico executado com granulometria e tipo de agregados divergentes da composição de preços unitários utilizada para a sua medição, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Fichas de ensaios de granulometria;
- b) Cópia de faixas granulométricas sugeridas em normas e ou especificações expedidas por entidades rodoviárias reconhecidas;
- c) Faixas e traços do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, bem como do traço apresentado;
- d) Composição de preço unitário da mistura asfáltica utilizada na medição.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- DNER-ME 083/98 – Agregados – análise granulométrica – Método de ensaio;
- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- PROC–IBR–ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 108/2017 – Análise da Densidade Máxima Teórica de Camadas de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 107/2019
Análise de Confiabilidade e de Adequabilidade do Traço
Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para
Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: __/__/____

www.ibraop.org.br www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à avaliação da confiabilidade do traço apresentado para as camadas de concreto asfáltico executado, de modo a servir de subsídio para decidir sobre a sua utilização, ou não, como critério de verificação dos diversos parâmetros da camada de concreto asfáltico executado. Para tanto, será considerada sua validade material, documental e compatibilidade com a mistura asfáltica executada, fundamentando essa avaliação na reprodução do traço, no controle tecnológico e/ou nos ensaios amostrais realizados na auditoria.

O procedimento ainda tem por finalidade a verificação da adequabilidade, à norma técnica pertinente, do traço sobre o qual inexistem indícios de não confiabilidade.

A avaliação do traço possui influência na análise:

- a) do grau de compactação, conforme PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concreto Asfálticos para Fins de Auditoria;
- b) da qualidade do concreto asfáltico executado, conforme PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- c) da confiabilidade do controle tecnológico, conforme PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Vale mencionar que este procedimento poderá se utilizar das informações indicadas no item 3.1 do PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise da Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, no caso de obras com trechos já executados.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

Para fins deste procedimento, traço é o documento que expressa as proporções e características dos materiais, bem como as propriedades da massa asfáltica, decorrente do seu respectivo projeto da mistura.

Um traço é considerado confiável quando não existirem indícios que desqualifiquem a sua validade material e documental (análise inicial), bem como a sua compatibilidade com a mistura asfáltica executada (análise posterior aos ensaios amostrais).

Um traço sobre o qual inexistem indícios de não confiabilidade é considerado adequado quando atende aos requisitos das normas técnicas pertinentes.

3.1. Confiabilidade do Traço

A avaliação da confiabilidade se divide em dois momentos.

Inicialmente, procede-se à avaliação documental do traço e da sua compatibilidade com o controle tecnológico da obra. Nessa etapa, também poderá ser feita uma eventual reprodução do traço em laboratório.

Num outro momento, posterior aos ensaios amostrais da auditoria, a Equipe de Auditoria pode avaliar se o que foi executado é compatível com o traço em análise.

3.1.1. Análise Inicial

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, verificar a existência documental do projeto da mistura asfáltica que originou o traço que teria sido executado, bem como a norma ou especificação que referenciou esse estudo.

Caso o traço não esteja documentado ou não tenha sido apresentado, já se configura uma não conformidade com a Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou outra pertinente ao caso, evidenciando a não confiabilidade do traço.

Nessa situação, a Equipe de Auditoria poderá realizar o PROC–IBR–ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria, precedido dos ensaios amostrais da auditoria conforme a necessidade.

Caso o traço tenha sido apresentado, a Equipe de Auditoria pode realizar a conferência de cálculos, objetivando verificar a sua validade material, bem como identificar eventuais valores atípicos, como, por exemplo, valores de densidade ou resistências discrepantes dos esperados para aquela situação em auditoria, que possam não refletir os insumos da região geográfica da obra ou os parâmetros indicados na literatura técnica.

Nesse contexto, esses valores também devem ser comparados com aqueles do controle tecnológico da obra, de maneira que, se houver incoerências, pode se caracterizar indício de falta de confiabilidade do traço.

Essas discrepâncias ou incoerências configuram indícios de não confiabilidade, podendo ser evidência da não confiabilidade a depender da magnitude do erro.

Caso o traço tenha sido apresentado sem o projeto da mistura, configura-se outro indício de falta de confiabilidade.

A Equipe de Auditoria, a depender da situação fática ou dos recursos disponíveis, poderá fazer a reprodução desse traço em laboratório, conforme a Norma DNER-043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall, se houver disponibilidade da massa ou dos insumos utilizados na obra. Caso contrário, a Equipe de Auditoria poderá obter os parâmetros de auditoria conforme detalhado no item 3.1.2.

Se os resultados obtidos a partir da reprodução do traço não forem compatíveis com o traço apresentado, evidencia-se a não confiabilidade do traço, podendo a Equipe de Auditoria realizar o PROC–IBR–ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria, precedido dos ensaios amostrais da auditoria conforme a necessidade.

Se os resultados obtidos a partir da reprodução do traço forem compatíveis com o traço apresentado, a Equipe de Auditoria poderá aprofundar a análise de confiabilidade por meio do procedimento constante do item 3.1.2, de maneira a confrontar as propriedades da camada asfáltica executada e o traço.

3.1.2. Análise Posterior aos Ensaios Amostrais da Auditoria

A Equipe de Auditoria poderá verificar a compatibilidade entre o traço apresentado e o concreto asfáltico executado a partir do PROC–IBR–ROD 108/2018 – Análise da Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A Equipe de Auditoria pode também identificar distorções no teor de ligante ou na composição granulométrica a partir da comparação do traço apresentado com os dados obtidos pelos procedimentos PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Se os resultados obtidos a partir dos ensaios amostrais da auditoria não forem compatíveis com o traço apresentado, evidencia-se a não confiabilidade do traço, podendo a Equipe de Auditoria realizar o PROC-IBR-ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

Vale ressaltar que a evidência da não confiabilidade do traço indica a ausência de referência confiável para a verificação do grau de compactação da camada asfáltica, bem como do seu controle tecnológico, impactando diretamente nas análises constantes, respectivamente, do PROC-IBR-ROD 110/2018 - Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e do PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria.

3.2. Adequabilidade do Traço

Inexistindo indícios de não confiabilidade, a Equipe de Auditoria pode verificar se o traço apresentado é adequado à norma pertinente.

A Equipe de Auditoria poderá verificar, por exemplo, as seguintes características:

- dos agregados: granulometria, abrasão Los Angeles, índice de forma, durabilidade, equivalente de areia;
- do ligante asfáltico: ponto de amolecimento, ponto de fulgor, penetração, viscosidade versus temperatura, densidade do material betuminoso; e
- da mistura: definição da composição granulométrica e o enquadramento da mistura de agregados aos limites da faixa especificada, bem como a determinação da faixa de trabalho; memória de cálculo do estudo para obtenção do teor ótimo de ligante; porcentagem de vazios; vazios do agregado mineral; relação betume-vazios; estabilidade; resistência à tração.

Se o traço for considerado não adequado, será preciso avaliar o impacto disso na conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Inexistência do traço do concreto asfáltico, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 12, inc. VI, 66 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- b) Discrepâncias observadas na análise documental do traço e/ou incoerências em relação ao controle tecnológico da obra, evidenciando a não confiabilidade do traço, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 12, inc. VI, 66 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- c) Incompatibilidade entre o traço apresentado e a sua reprodução em laboratório, evidenciando a não confiabilidade do traço, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 12, inc. VI, 66 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;

- d) Incompatibilidade entre o traço apresentado e os resultados dos ensaios amostrais da auditoria, evidenciando a não confiabilidade do traço, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 12, inc. VI, 66 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- e) Inadequação do traço em relação às normas técnicas pertinentes, em afronta aos arts. 12, inc. VI, 66 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- f) Medição contratual com traço não confiável e/ou inadequado, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei nº 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações de serviço e de ensaios do órgão jurisdicionado fiscalizado;
- b) Cópia do Projeto de Pavimentação;
- c) Cópia do Projeto de Mistura Asfáltica (contendo o traço da mistura) apresentado pelo Contratado;
- d) Fichas de aferição dos parâmetros ensaiados;
- e) Cópia dos processos de medição e pagamento e
- f) Cópia do Controle Tecnológico da obra.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Norma DNER-043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall;
- PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 109/2019 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 109/2019
Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da
Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à obtenção de parâmetros do concreto asfáltico, por meio da moldagem de corpos de prova padronizados, auxiliando a realização de auditoria do pavimento asfáltico quando inexistir traço ou há indícios de sua não confiabilidade, conforme PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para:

- a) a avaliação do grau de compactação, conforme PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria; e
- b) a análise da qualidade do concreto asfáltico executado, conforme PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise de Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A importância desta aferição está na possibilidade de identificar evidências quanto à execução de concretos asfálticos inadequados, podendo reduzir o desempenho e a vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e dispêndio precoce de recursos para a manutenção da via.

Este procedimento abordará a aferição dos parâmetros do concreto asfáltico por meio da preparação e compactação de misturas asfálticas em laboratório pela utilização do material proveniente dos corpos de prova extraídos conforme o PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

Vale mencionar que este procedimento se utilizará das informações indicadas no item 3.1 do PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Estufa capaz de manter a temperatura até 200° C;
- Balança com capacidade mínima de 5000g, sensível a 0,1g, e com dispositivo que permita pesagem hidrostática, preferencialmente eletrônica;
- Termômetro, preferencialmente, de vidro com graduação até 200° C e resolução de 1° C;
- Paquímetro, preferencialmente eletrônico;
- Papel filtro com diâmetro de 10 cm para uso entre a mistura betuminosa e o molde, evitando sua aderência durante o processo de compactação; alternativamente, pode-se utilizar discos de outros tipos de papel com gramatura elevada;
- Bandejas ou recipientes para aquecer os agregados e o material asfáltico;
- Utensílios para manipulação da mistura (espátulas com pontas arredondadas (10 x 2 cm) e concha/colher com cabo longo);
- Utensílios para identificação dos corpos de prova moldados (giz de cera, corretivo, tinta resistente ao calor, ou fita adesiva e pincel);
- Molde para compactação tipo Marshall completo;
- Soquete de compactação manual ou elétrico de aço, com base ou pedestal;
- Preferencialmente, misturador mecânico com função de aquecimento controlável, adequado para a moldagem de menores quantidades de massa; alternativamente, recipiente metálico com capacidade adequada para produzir a mistura manualmente sobre uma placa aquecedora;
- Viscosímetro Saybolt-Furol;
- Cronômetro;
- Prensa Marshall/CBR, preferencialmente digital microprocessada (automatizada);
- Moldes para compressão Marshall (placa de ruptura) e para tração indireta (pórtico de Lottman);

- Banho-maria para amostras Marshall;
- Sistema de climatização que permita manter a temperatura ambiente em 25°C;
- Recipiente cilíndrico para imersão de corpo de prova, com dimensões mínimas de 30 cm de diâmetro e 40 cm de altura (balde);
- Cesto para pesagem hidrostática, com diâmetro mínimo de 15cm;
- Fio de nylon; e
- Conjunto de pesos padrões para avaliação da aferição da balança.

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria, após definir as proporções dos materiais indicadas no item 3.1 do PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, poderá obter a curva da viscosidade do ligante asfáltico por meio da Norma DNER – ME 004/94 – Material betuminoso, determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura, método da película delgada. Alternativamente, essas informações podem ser obtidas a partir das fichas técnicas do fabricante do ligante asfáltico.

Na sequência, para a realização dos ensaios Marshall, devem também ser determinadas as temperaturas do ligante e dos agregados no momento da mistura, bem como a temperatura de compactação da massa asfáltica, conforme a Norma DNER – ME 043/95 – Mistura betuminosa a quente – ensaio Marshall.

A Equipe de Auditoria deve preparar os agregados e moldar os corpos de prova conforme a mencionada norma DNER-ME 043/95, observando as peculiaridades expressas neste documento.

O ligante a ser utilizado na moldagem deve ser do mesmo tipo do indicado no projeto ou nas fichas técnicas de aquisição do produto.

A Equipe de Auditoria deve pesar os agregados e o ligante conforme as proporções obtidas por meio do item 3.1 do PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, e em quantidade suficiente para moldar, pelo menos, 6 (seis) corpos de prova, por trecho homogêneo, com massa de cerca de 1200g cada, de maneira que a espessura do corpo de prova atenda ao especificado nas referidas normas.

Recomenda-se a lubrificação da parte interna dos moldes aquecidos, antes do preenchimento com a mistura, utilizando-se vaselina ou similar.

As temperaturas do ligante e dos agregados no momento da mistura, bem como a temperatura de compactação, devem observar a curva de viscosidade obtida anteriormente.

O controle das temperaturas deve ser realizado constantemente, a fim de garantir que a mistura esteja na temperatura correta no momento da compactação.

O molde preenchido com a massa asfáltica será colocado no compactador Marshall, cujos procedimentos de compactação e obtenção dos parâmetros (densidade aparente, porcentagem de vazios, relação betume/vazios, VAM, estabilidade e fluência, e resistência à tração) deverão seguir a norma DNER-ME 043/95 – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall.

No mínimo, 3 (três) corpos de prova serão destinados ao ensaio de estabilidade e fluência e outros 3 (três) ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral.

São considerados não-conformes os trechos executados com o traço contendo pelo menos um parâmetro que não se enquadre na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou, ainda, numa outra norma pertinente ao caso concreto.

A constatação de trechos não-conformes no que tange aos elementos tratados neste procedimento pode impactar a conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise de Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A Equipe de Auditoria poderá utilizar o PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria para calcular o grau de compactação a partir da densidade aparente de cada trecho homogêneo obtida neste procedimento.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Traço executado não compatível com os parâmetros de norma, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Fichas de aferição dos parâmetros ensaiados.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNER – ME 004/94 – Material betuminoso, determinação da viscosidade Saybolt-Furol a alta temperatura, método da película delgada;
- Norma DNER – 043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall;
- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 108/2018 – Análise de Densidade Máxima Teórica e Medida de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise de Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC-IBR-ROD 111/2018
Análise do Percentual de Vazios de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo instruir a Equipe de Auditoria quanto à aferição do percentual de vazios das camadas de concretos asfálticos.

A determinação do percentual de vazios na pista servirá de subsídio para a avaliação da qualidade do concreto asfáltico executado (PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância desta aferição está na possibilidade de identificar evidências quanto à execução de camadas de concretos asfálticos com percentual de vazios inadequado, podendo reduzir o desempenho e a vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e dispêndio precoce de recursos para a manutenção da via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria, primeiramente, deve tomar nota do Grau de Compactação Médio adotado GC_{2A} , conforme PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Para cada trecho homogêneo determinado no PROC–IBR–ROD 110/2018, o percentual de vazios (V_v) deve ser calculado conforme a fórmula a seguir:

$$V_v = 100 - GC_{2A}$$

Nesse caso, são considerados não-conformes os trechos que possuam V_v :

- superiores a 8%, conforme o item 7.3.1 da Especificação Técnica DER/SP ET-DE-P00/027 – Concreto Asfáltico; ou
- inferiores a 2% ou superiores a 8%, que representa o intervalo compatível com os limites de vazios para o projeto da mistura (de 3% a 5%) e de grau de compactação (de 97% a 101%) previstos nos itens 5.2.a e 7.2.2, respectivamente, da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço; ou
- fora dos padrões exigidos no contrato ou em outra norma pertinente ao caso concreto.

A constatação de trechos não-conformes no que tange ao percentual de vazios da camada asfáltica pode impactar a conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Camada de concreto asfáltico com percentual de vazios não-conforme em relação ao contrato e/ou às normas técnicas, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93;

b) Medição contratual da camada de concreto asfáltico com percentual de vazios em desacordo com o contrato e/ou com as normas técnicas, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço apresentado;
- b) Fichas de aferição do grau de compactação da camada de concreto asfáltico;
- c) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico, respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais.

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Especificação Técnica DER/SP ET-DE-P00/027 – Concreto Asfáltico;
- PROC–IBR–ROD 110/2018 – Análise do Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC-IBR-ROD 113/2016
Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: __/__/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo verificar a conformidade do quantitativo medido de concreto asfáltico para fins de pagamento.

A importância desta aferição está na possibilidade de superfaturamento pelo pagamento da quantidade do referido serviço quando se observa na medição a adoção de:

- a) Espessuras médias de revestimento superiores àquelas especificadas em projeto e/ou às adotadas pela Equipe de Auditoria (PROC-IBR-ROD 102/2016 – Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- b) Densidades aparentes superiores à densidade máxima aparente definida no traço do concreto asfáltico apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2017 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria) e/ou àquelas adotadas pela Equipe de Auditoria (PROC-IBR-ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria);
- c) Medidas incorretas da extensão e/ou da largura da via.

A aferição pode ser realizada com extração de amostras, ou por outros meios, tais como: quantitativos obtidos de notas fiscais, dados laboratoriais da empresa executora do serviço ou da empresa supervisora, ensaios não destrutivos (como a utilização de radar de solo – GPR) ou levantamento topográfico.

Este procedimento abordará a aferição do quantitativo de concreto asfáltico a partir da extração de amostras, bem como a comparação com os dados de projeto e medição contratual.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Trena de fibra, preferencialmente de 50 metros;
- Trena metálica, preferencialmente de 7 metros;
- Trena com roda;
- Aparelho de GPS ou similar.

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria deve calcular o quantitativo de Concreto Asfáltico de cada trecho de uma obra, a partir dos seus parâmetros de referência, pela seguinte equação:

$$Q = C \times L \times E \times D$$

Onde:

Q = Quantitativo do concreto asfáltico (expresso em toneladas);

C = Comprimento (expresso em metros);

L = Largura (expressa em metros);

E = Espessura (expressa em metros);

D = Densidade aparente (expressa em t/m³).

No que tange aos comprimentos e às larguras, a Equipe de Auditoria deve verificar a compatibilidade existente entre o Projeto de Pavimentação e os levantamentos realizados em campo, e entre estes e as dispostas nas memórias de cálculo dos boletins de medição. Assim, os comprimentos (C) e as larguras (L) a serem considerados na equação acima devem ser os efetivamente executados, salvo divergências não justificadas em relação ao projeto, considerando uma tolerância de 5% na área de referência adotada pela Equipe de Auditoria ($C \times L$) em relação à área apropriada na medição.

A tolerância de 5% pode ser majorada ou minorada a depender do caso concreto, situação em que se sugere a apresentação de cálculos complementares.

A espessura de referência da Equipe de Auditoria (E), para cada trecho, será a menor entre a espessura adotada (E_A) proveniente do procedimento PROC-IBR-ROD 102/2016 – Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e a espessura prevista em projeto acrescida de 5%.

A tolerância de 5% pode ser majorada ou minorada a depender do caso concreto, situação em que se sugere a apresentação de cálculos complementares.

A densidade aparente de referência da Equipe de Auditoria (D), para cada trecho, será a menor entre a densidade aparente adotada (d_A) proveniente do procedimento PROC-IBR-ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e a densidade aparente prevista em projeto acrescida de 3%.

A tolerância de 3% pode ser majorada ou minorada a depender do caso concreto, situação em que se sugere a apresentação de cálculos complementares.

Deve ser considerada não-conforme a medição de quantitativo de concreto asfáltico superior ao quantitativo de referência da Equipe de Auditoria. As diferenças de quantitativo provenientes de discrepâncias superiores em relação ao especificado no projeto também devem ser avaliadas sobre o ponto de vista de superfaturamento por superdimensionamento, conforme a OT-IBR nº 005/2012 – Apuração de sobrepreço e superfaturamento em obras públicas.

Se a avaliação da qualidade, feita por intermédio do Procedimento de Auditoria PROC-IBR-ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, indicar uma deficiência no trecho analisado, o quantitativo de concreto asfáltico deverá ser reavaliado, podendo ser considerado total ou parcialmente indevido.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Medição contratual com comprimento e/ou largura não-conforme em relação às quantidades adotadas pela Equipe de Auditoria, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964;

b) Superfaturamento pela medição de quantitativo de concreto asfáltico superior ao efetivamente executado, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 c/c os artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964;

c) Superfaturamento pela medição de quantitativo de concreto asfáltico superior ao especificado em projeto, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 c/c os artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia do Projeto de Pavimentação e *As Built*, bem como do Projeto Geométrico e *As Built*;
- b) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico, respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora;
- c) Ficha de cálculos das quantidades (toneladas) de CBUQ;
- d) Demais documentos dos procedimentos relacionados a este.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- PROC-IBR-ROD 102/2016 – Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 103/2016 – Análise das Densidades Aparentes de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 107/2017 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- OT-IBR nº 005/2012 – Apuração de sobrepreço e superfaturamento em obras públicas.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 115/2019
Levantamento Visual de Defeitos de Camadas de Concretos
Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto ao levantamento visual de defeitos de camadas de concreto asfáltico executado, de forma a possibilitar a conceituação da condição da superfície do pavimento.

O levantamento visual de defeitos servirá de subsídio para a avaliação:

- a) do plano de amostragem previsto no PROC–IBR–ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria; e
- b) da qualidade do concreto asfáltico executado, conforme PROC–IBR–ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A importância desta aferição está na possibilidade de identificar evidências quanto à execução de concretos asfálticos inadequados, podendo reduzir o desempenho e a vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Veículo equipado com velocímetro/odômetro;
- GPS;
- Câmera fotográfica/filmadora;
- Equipamentos e sistemas associados, como os de escaneamento contínuo ou aeronave remotamente pilotada (RPA), a depender da disponibilidade;
- Equipamento para o ensaio de mancha de areia (trena, pincel, disco com base emborrachada e microesferas de vidro), a depender da disponibilidade;
- Treliça de alumínio conforme Anexo A da Norma DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimentos, a depender da disponibilidade; e
- Pêndulo Britânico, a depender da disponibilidade.

3. PROCEDIMENTO

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, investigar o histórico de construção, o uso e a vida útil da rodovia (consultando, por exemplo, projeto básico/executivo, livro de ordem, boletins de medições e termo de recebimento dos diversos segmentos da via), bem como eventuais intervenções posteriores.

Também pode a Equipe de Auditoria verificar a norma de avaliação de defeitos pertinente ao caso concreto para adotar a codificação das possíveis manifestações patológicas que ocorrerem nas camadas de concreto asfáltico, como, por exemplo, a Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia, e, para o caso de uma avaliação objetiva, a Norma DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimentos, ou, para o caso de uma avaliação expedita, a Norma DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

Esse procedimento deve ser realizado, preferencialmente, na primeira metade da vida útil do pavimento e dentro do período de garantia quinquenal, de maneira a permitir uma avaliação tempestiva do pavimento para fins de auditoria, salvo situações excepcionais que devem ser analisadas e adequadas ao caso concreto.

O levantamento visual poderá ser precedido de uma análise preliminar, conforme descrição no item 3.1 deste procedimento.

A Equipe de Auditoria pode realizar o levantamento visual em um só momento quando o escopo da auditoria assim demandar ou, por exemplo, se dispuser de:

- equipamentos e sistemas associados capazes de fazer a detecção automatizada de defeitos, como aqueles que promovam o escaneamento do pavimento de forma contínua;
- aeronaves remotamente pilotadas (RPA), desde que a resolução e o tratamento das ortofotos permitam a identificação dos pontos de interesse da geometria da via e a visualização dos defeitos na superfície do pavimento; é importante, por exemplo, observar as condições climáticas, de tráfego e eventuais obstáculos que possam afetar as imagens da via, bem como os normativos da Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC; e
- câmeras digital com estabilização acopladas a um automóvel que também permitam a identificação antes mencionada (da via e dos defeitos); é importante, nesse caso, que as imagens sejam referenciadas por meio de GPS.

Em todos os casos, a Equipe de Auditoria deve observar a devida segurança viária para a realização da auditoria.

3.1. Análise Preliminar

A Equipe de Auditoria pode realizar um reconhecimento preliminar da via, percorrendo toda a sua extensão, a fim de se obter uma percepção inicial sobre a eventual ocorrência dos defeitos e respectivas magnitudes, avaliando a condição geral do pavimento e definindo os trechos cujos levantamentos visuais serão mais detalhados na análise posterior.

Esse reconhecimento deve ser feito preferencialmente por dois ou mais técnicos, percorrendo-se a extensão da via em um automóvel com velocidade média aproximada de 50 km/h, identificando-se os pontos de início e fim do levantamento, utilizando-se, para tanto, da leitura do odômetro do veículo nos respectivos pontos e/ou de aferições de coordenadas geográficas por meio de GPS, bem como registrando-se o sentido da via percorrida.

A Equipe de Auditoria pode fazer registro fotográfico das manifestações patológicas, em especial daquelas que se apresentam em maior gravidade, identificando-se o local da ocorrência do defeito registrado. Pode-se, também, realizar a filmagem do levantamento, utilizando-se, preferencialmente, ferramenta que permita referenciar o trecho levantado.

Esse levantamento preliminar pode servir de subsídio para a definição do plano de amostragem previsto no PROC–IBR–ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

A depender da elevada frequência de defeitos e/ou da gravidade com que se apresentam, de forma a tornar impraticável a aplicação de qualquer norma de avaliação de superfície, a Equipe de Auditoria pode entender não ser necessário realizar o levantamento visual de defeitos posterior e conceituar o pavimento como de péssima condição de superfície de rolamento, configurando-se uma não-conformidade.

Na situação oposta, ou seja, sem indicativo de defeitos significativos, a Equipe de Auditoria também pode entender não ser necessário realizar o levantamento visual de defeitos posterior.

3.2. Análise Posterior

Definidos os trechos na análise preliminar, a Equipe de Auditoria pode adotar uma metodologia de avaliação da superfície do pavimento escolhendo uma norma aplicável ao caso concreto, considerando o escopo, os recursos e as limitações da auditoria.

Neste procedimento, essa análise será exemplificada tendo por base a Norma DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento.

A Equipe de Auditoria pode realizar o levantamento visual de defeitos, preferencialmente por dois ou mais técnicos, percorrendo a extensão da via em um automóvel com velocidade média aproximada de 40 km/h, identificando-se os pontos de início e fim do levantamento, utilizando-se, para tanto, da leitura do odômetro do veículo nos respectivos pontos e/ou de aferições de coordenadas geográficas por meio de GPS, bem como registrando-se o sentido da via percorrida.

A Equipe de Auditoria, concomitantemente ao levantamento visual de defeitos, pode fazer registro fotográfico ou filmagem das manifestações patológicas, em especial daquelas que se apresentam em maior gravidade, identificando-se o local da ocorrência do defeito registrado.

Na sequência, a Equipe de Auditoria preenche os formulários indicados na norma e procede os cálculos para a obtenção dos índices e correspondente conceito da superfície do pavimento, conforme a Norma DNIT 008/2003 – PRO.

Como critério de aceitabilidade do trecho em relação às possíveis manifestações patológicas, a Equipe de Auditoria pode, se aplicável ao caso concreto, avaliar, para cada trecho homogêneo, as referências previstas na Instrução de Serviço DNIT nº 13, de 04 de novembro de 2013. Essa instrução prescreve, para trechos novos, não ser aceitável a presença de defeitos como trincas com abertura superior a 1,0mm, exsudação, ondulação, corrugação e escorregamento, bem como afundamentos locais e de trilha, sejam eles plásticos ou de consolidação, parâmetros esses que não devem sofrer alterações significativas, por razões de ordem construtiva, em um prazo de cinco anos desde o encerramento do contrato.

Portanto, são considerados não-conformes os trechos que possuam defeitos e/ou conceitos incompatíveis com o tempo de vida útil e de uso do pavimento.

A constatação de trechos não-conformes no que tange aos elementos tratados neste procedimento pode impactar a conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Adicionalmente, a Equipe de Auditoria pode indicar no levantamento outros defeitos importantes como, por exemplo, a existência de raízes de árvores, empoçamentos e dispositivos de drenagem inadequados. Tais defeitos configuram não-conformidades, embora não façam parte do cálculo do conceito do pavimento.

Também podem ser observados outras não-conformidades quanto aos acabamentos da superfície do pavimento, bem como quanto às condições de segurança, no tocante à resistência à derrapagem, conforme menção nas alíneas “c” e “d” do item 7.3 da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou outra norma aplicável ao caso concreto.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Camadas de concreto asfáltico que possuam conceitos da superfície do pavimento incompatíveis com o seu tempo de vida útil e de uso, em afronta ao disposto nos artigos 69 e 70 da Lei nº 8.666/93;
- b) Camadas de concreto asfáltico com defeitos incompatíveis com o seu tempo de vida útil e de uso, em afronta ao disposto nos artigos 69 e 70 da Lei nº 8.666/93.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações de serviço do órgão jurisdicionado fiscalizado;
- b) Cópia do Projeto de Pavimentação;
- c) Cópia dos processos de medição e pagamento;
- d) Cópia dos Termos de Recebimento provisório e definitivo, acompanhados dos relatórios técnicos correspondentes;
- e) Fichas referentes ao levantamento visual realizado; e
- f) Cópia dos documentos autorizativos da ANAC para a utilização de aeronaves remotamente pilotadas (RPA).

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 005/2003 – TER – Defeitos nos pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Terminologia;
- Norma DNIT 006/2003 – PRO – Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimentos;
- Norma DNIT 008/2003 – PRO – Levantamento visual contínuo para avaliação da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos – Procedimento;
- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Instrução de Serviço DNIT/DG nº 13, de 04 de novembro de 2013, que define e padroniza os procedimentos técnicos e administrativos para o recebimento de obras rodoviárias de pavimentação de pavimentos novos e restaurados – que foram objeto de intervenções de caráter estrutural;
- PROC-IBR-ROD 101/2016 – Extração de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria; e
- PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 116/2019
**Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle
Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de
Auditoria**

Primeira edição válida a partir de: __/__/____

www.ibraop.org.br www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à avaliação da confiabilidade do controle tecnológico apresentado para as camadas de concreto asfáltico executado, a fim de servir de subsídio sobre a sua utilização total ou parcial como verificação dos diversos parâmetros da camada de concreto asfáltico executado. Para tanto, será considerada sua validade material, documental e compatibilidade com a mistura asfáltica executada, podendo fundamentar essa avaliação nos ensaios amostrais realizados na auditoria.

O procedimento ainda tem por finalidade a verificação da adequabilidade, à norma técnica pertinente, do controle tecnológico sobre o qual inexistem indícios de não confiabilidade.

A avaliação do controle tecnológico possui influência na análise da qualidade do concreto asfáltico executado, conforme PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

Para fins deste procedimento, o controle tecnológico é o conjunto de documentos elaborados, com base nos ensaios laboratoriais realizados pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra, com os respectivos tratamentos estatísticos, que visa caracterizar os materiais e serviços empregados na obra, bem como, conforme o caso, servir de parâmetro para aceitação ou rejeição de serviços e, ainda, para apropriação de quantidades de serviços executados.

Um controle tecnológico é considerado confiável quando não existirem indícios que desqualifiquem a sua validade material e documental (análise inicial), bem como a sua compatibilidade com a mistura asfáltica executada (análise posterior aos ensaios amostrais).

Um controle tecnológico sobre o qual inexistem indícios de não confiabilidade é considerado adequado quando atende aos requisitos das normas técnicas pertinentes, notadamente, quanto à quantidade de amostras, ao respectivo tratamento estatístico e à efetiva comunicação dos resultados para a tomada de decisão.

Vale mencionar que a conclusão desse procedimento pode ser pela confiabilidade e/ou adequabilidade parcial ou total dos controles tecnológicos analisados.

3.1. Confiabilidade do Controle Tecnológico

Essa análise se divide em dois momentos.

Inicialmente, procede-se à avaliação documental do controle tecnológico da obra e da sua compatibilidade com o projeto da mistura asfáltica que teria sido executada.

Em outro momento, posterior a cada ensaio amostral da auditoria, a Equipe de Auditoria pode avaliar se o controle tecnológico apresentado para o respectivo ensaio é compatível com os resultados obtidos nos ensaios amostrais.

3.1.1. Análise Inicial

A Equipe de Auditoria deve, primeiramente, verificar a existência documental do controle tecnológico expresso em fichas de controle e acompanhamento, ensaios laboratoriais, relatórios de ensaios, entre outros, bem como as citações das normas ou especificações que disciplinam o controle que foi realizado.

Pode a Equipe de Auditoria também solicitar os certificados de calibração dos equipamentos utilizados, de maneira a verificar se o erro dos equipamentos pode impactar negativamente nos resultados obtidos no controle tecnológico.

Em relação à camada de concreto asfáltico, a Equipe de Auditoria pode verificar, dentre outras, as seguintes informações relativas ao controle tecnológico da obra, nos termos da Norma DNIT 031/2006

– ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outra norma pertinente:

- projeto da mistura asfáltica, analisado conforme o PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- mapeamento dos furos realizados durante a execução da obra;
- identificação e dimensões dos corpos de prova extraídos;
- propriedades da camada asfáltica, como, por exemplo, espessura, densidade aparente, grau de compactação, teor de ligante dos corpos de prova extraídos e granulometria;
- características da mistura através dos ensaios Marshall e de resistência à tração por compressão diametral;
- temperaturas das etapas de usinagem e aplicação da camada asfáltica; e
- alinhamento, acabamento e condições de segurança da via.

Caso o controle tecnológico não esteja documentado ou não tenha sido apresentado, já se configura uma não conformidade com a Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou outra pertinente ao caso, evidenciando a não confiabilidade desse controle.

Caso o controle tenha sido apresentado, a Equipe de Auditoria pode realizar a conferência de cálculos, objetivando verificar a respectiva validade material, bem como identificar eventuais valores atípicos, dados enviesados, discrepâncias em relação ao diário de obra (livro de ordem) ou relatórios produzidos, incoerências entre datas, mapeamento deficiente dos furos realizados, ausência de rastreabilidade dos ensaios Marshall e de resistência à tração por compressão diametral em relação ao estaqueamento da via, entre outros.

Nesse contexto, os resultados do controle tecnológico também devem ser comparados com aqueles do traço da camada asfáltica que teria sido executado, de maneira que, se houver incoerências, pode se caracterizar indício de falta de confiabilidade desse controle. A ausência ou a não confiabilidade do traço também indica falta de confiabilidade do controle tecnológico.

Essas discrepâncias ou incoerências configuram indícios de não confiabilidade, podendo ser evidência da não confiabilidade a depender da magnitude do erro.

Cabe à Equipe de Auditoria avaliar a possibilidade de utilização parcial do controle tecnológico nas situações em que os resultados dos ensaios laboratoriais mostrarem-se confiáveis, mas existirem análises técnicas ou cálculos incorretos que possam ser corrigidos.

3.1.2. Análise Posterior aos Ensaios Amostrais da Auditoria

A análise da confiabilidade é realizada por meio de cada procedimento específico, como, por exemplo, em relação à espessura, à densidade aparente, ao teor de ligante, ao grau de compactação, dentre outros,

resultando na tomada de decisão quanto à adoção do controle tecnológico da obra ou dos ensaios amostrais da auditoria para cada ponto de controle.

A Equipe de Auditoria pode consolidar o resultado da análise de confiabilidade de cada procedimento, possibilitando uma avaliação global acerca da qualidade do controle tecnológico da obra.

3.2. Adequabilidade do Controle Tecnológico

Inexistindo indícios de não confiabilidade, a Equipe de Auditoria pode verificar se o controle tecnológico apresentado é adequado às normas pertinentes, principalmente quanto à suficiência de ensaios e aos tratamentos estatísticos.

Caso o controle tecnológico não atenda as especificações da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou outra norma pertinente ao caso, já se configura uma não conformidade, evidenciando a não adequabilidade desse controle.

A Equipe de Auditoria deve avaliar se os resultados dos ensaios foram devidamente interpretados e considerados na tomada de decisão do órgão contratante em relação à aceitação, à rejeição ou ao pagamento dos serviços prestados, conforme item 8.d da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, ou item 5.4.1.12 da Norma DNIT 011/2004 – Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento, ou outra norma pertinente ao caso.

Também pode a Equipe de Auditoria verificar se há incoerências entre o controle tecnológico considerado confiável e adequado em relação às respectivas medições, como, por exemplo, diferenças nas densidades aparentes do concreto asfáltico ou ainda do teor de ligante, em desacordo com o critério de medição estabelecido.

Vale mencionar que o controle tecnológico pode impactar a conclusão acerca da qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Inexistência do controle tecnológico da obra, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 66, 75 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- b) Discrepâncias observadas na análise documental do controle tecnológico e/ou incoerências em relação a outros documentos da obra, evidenciando a não confiabilidade do controle, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 66, 75 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- c) Incompatibilidade entre o controle tecnológico apresentado e os resultados dos ensaios amostrais da auditoria, evidenciando a não confiabilidade do controle tecnológico, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos arts. 66, 75 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- d) Inadequação do controle tecnológico em relação às normas técnicas pertinentes, em afronta aos arts. 66, 75 e 76 da Lei Federal nº 8.666/1993;
- e) Medição contratual com controle não confiável e/ou inadequado, contrariando os arts. 66, 75 e 76 da Lei nº 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei nº 4.320/1964;
- f) Ausência de efetiva comunicação das inconformidades observadas por meio do controle tecnológico, em afronta às normas técnicas pertinentes e aos parágrafos 1º e 2º do art. 67 da Lei nº 8.666/1993;

g) Medição contratual incoerente com o controle confiável e adequado e em desacordo com o critério de medição estabelecido, contrariando os arts. 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações de serviço e de ensaios do órgão jurisdicionado fiscalizado;
- b) Cópia do Projeto de Pavimentação;
- c) Cópia do Projeto de Mistura Asfáltica (contendo o traço da mistura) apresentado pelo Contratado;
- d) Fichas de aferição dos parâmetros ensaiados;
- e) Cópia dos processos de medição e pagamento; e
- f) Cópia do Controle Tecnológico da obra.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Norma DNIT 011/2004 – Gestão da qualidade em obras rodoviárias – Procedimento;
- Norma DNER-043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall;
- PROC–IBR–ROD 102/2016 – Análise de Espessura de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 103/2016 – Análise de Densidade Aparente de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 104/2017 – Análise de Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 105/2016 – Análise de Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 106/2016 – Análise de Granulometria de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC-IBR-ROD 110/2018 – Análise de Grau de Compactação de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 104/2021
Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à
Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para
Fins de Auditoria

Edição válida a partir de:

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à avaliação da estabilidade, fluência e resistência à tração de camadas de concretos asfálticos.

A determinação desses parâmetros servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da qualidade do concreto asfáltico executado (PROC-IBR-ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria); e
- b) da compatibilidade entre o concreto asfáltico efetivamente executado e o traço apresentado (PROC-IBR-ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria).

A importância dessa aferição está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por qualidade pela execução de camadas de concreto asfáltico de qualidade inferior àquela especificada em projeto, assim como na possibilidade de redução do desempenho e da vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Prensa para os ensaios Marshall, preferencialmente digital microprocessada (automatizada);
- Medidores de deslocamento, com capacidade de registrar os deslocamentos do corpo de prova durante todo o carregamento com precisão de 0,05 mm, caso esta informação seja necessária para a avaliação dos ensaios;
- Moldes para compressão Marshall (placa de ruptura) e para tração indireta (pórtico de Lottman);
- Paquímetro ou régua milimetrada;
- Banho-maria para amostras Marshall;
- Estufa com controle de temperatura;
- Sistema de climatização que permita manter a temperatura ambiente em 25°C;
- Moldes de compactação, com base, corpo e colar, com encaixes perfeitos;
- Extrator de corpo de prova de aço em forma de disco;
- Base para compactação instalada em nível, estável, livre de vibração e trepidação;
- Soquete de compactação ou compactador, com peso e altura de queda padronizados;
- Balança com capacidade mínima de 5000 g, sensível a 0,1g, preferencialmente eletrônica.

3. PROCEDIMENTO

Este procedimento abordará a aferição dos parâmetros de estabilidade, fluência e resistência à tração de camadas de concreto asfáltico por meio das seguintes formas de amostragem: moldagem de corpos de prova utilizando insumos e/ou massa asfáltica coletados na obra; extração de amostras por extratora rotativa, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria; e moldagem de corpos de prova, conforme PROC-IBR-ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

Para a realização dos ensaios de auditoria da estabilidade e fluência, preferencialmente, moldam-se os corpos de prova a partir da mistura asfáltica obtida em campo ou a partir da reprodução em laboratório da mistura com os materiais obtidos na obra.

Já para a realização dos ensaios de resistência à tração, conforme a situação fática de auditoria, os corpos de prova podem ser moldados ou retirados da pista.

Se oportuno, os corpos de prova também poderão ser preparados a partir da moldagem de corpos de prova indicada no PROC-IBR-ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria.

No caso de amostras retiradas do pavimento com sondas rotativas, os resultados desses ensaios devem ser avaliados em conjunto com os ensaios de compactação Marshall.

Além disso, no caso da estabilidade e a fluência, os corpos de prova extraídos da pista que eventualmente tenham as faces a serem carregadas no ensaio visualmente rugosas e/ou com forma significativamente diferente da cilíndrica não devem ser considerados nessa análise.

Se possível, para realização dos ensaios, a Equipe de Auditoria deve utilizar Prensa Marshall digital microprocessada (automatizada), para permitir o controle automático da velocidade do ensaio, da carga de rompimento do corpo de prova e da deformação correspondente.

A Equipe de Auditoria, de posse das especificações do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, deve, primeiramente, tomar nota dos valores de estabilidade, fluência e resistência à tração da camada de concreto asfáltico especificada.

Devem também ser observados os ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora. A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

Como os ensaios são destrutivos, a Equipe de Auditoria deve programar a quantidade de corpos de prova que serão utilizados para os ensaios de estabilidade e fluência e de resistência à tração, considerando que não é possível fazer os dois ensaios em um mesmo corpo de prova.

A espessura e o diâmetro a serem considerados para cada corpo de prova serão determinados pela média aritmética simples de quatro medidas equidistantes para a espessura e de quatro posições distintas para o diâmetro, por meio da utilização de paquímetro ou régua milimetrada, resultando nos seguintes valores médios: h , em milímetros para o ensaio de estabilidade e fluência; H e D , em centímetros para o ensaio de resistência à tração.

3.1. ESTABILIDADE E FLUÊNCIA

A Equipe de Auditoria deve determinar a estabilidade e fluência das camadas de concretos asfálticos conforme a Norma DNER – 043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall ou outra norma pertinente ao caso concreto.

A carga, em N(kgf), necessária para produzir o rompimento do corpo de prova deve ser anotada como “estabilidade lida”. No caso de prensas cuja aplicação de carga é realizada por meio de anel dinamométrico, deve-se atentar para que essa medida seja multiplicada pela constante de aferição da prensa. Em seguida, o valor calculado deve ser corrigido de acordo com a espessura do corpo de prova ensaiado (h) a partir da sua multiplicação pelo fator correspondente (f), conforme fórmulas indicadas a seguir:

Espessura Média (h)	Fórmula do fator de correção (f)
$25,4 \text{ mm} \leq h \leq 34,9 \text{ mm}$	$f = 1010,6 \times h^{-1,61}$
$34,9 \text{ mm} < h \leq 44,4 \text{ mm}$	$f = 14904 \times h^{-2,361}$
$44,4 \text{ mm} < h \leq 54 \text{ mm}$	$f = 2597,7 \times h^{-1,903}$
$54 \text{ mm} < h \leq 63,5 \text{ mm}$	$f = 1094,6 \times h^{-1,686}$
$63,5 \text{ mm} < h \leq 76,2 \text{ mm}$	$f = 515,81 \times h^{-1,506}$

Caso haja corpos de prova extraídos na pista com espessura média (h) maior que 76,2 mm, é possível cortá-los, conforme as recomendações constantes do PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

3.1.1. Análise dos dados

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados da estabilidade e fluência dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular as médias da estabilidade e da fluência dos corpos de prova daquele trecho homogêneo, denominada Estabilidade e Fluência Médias Auditadas em Campo (e_C e f_C).

Os valores médios desses parâmetros poderão ser comparados diretamente com os informados no controle tecnológico, sem necessidade de levar em conta os ensaios de compactação Marshall, quando ambos foram oriundos de moldagem de corpos de prova. Nesse caso, comparam-se os valores de e_C e f_C com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (e_A e f_A).

A estabilidade e a fluência adotadas (e_A e f_A) serão, em regra, as obtidas do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre as suas validades material e documental, conforme o PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que a variação entre as médias de campo e as médias do controle tecnológico não superem, respectivamente, $\pm 20\%$ da estabilidade e da fluência médias auditadas em campo (e_C e f_C). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de definição de e_A e f_A , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Nos casos em que a auditoria utilizou corpos de prova extraídos da pista, a comparação de médias entre as amostras de campo e as do controle tecnológico pode ser feita como indicado no caso anterior, mas levando em conta os dados dos ensaios de compactação Marshall. Isto porque é preciso observar uma eventual influência dos vazios nos corpos de prova de concreto asfáltico, uma vez que, por exemplo, é possível que amostras retiradas da pista submetidas ao tráfego apresentem valores de estabilidade superiores aos dos corpos de prova moldados em laboratório.

Para os valores de e_A e f_A deve ser efetuado o tratamento estatístico previsto no item 7.5 na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto.

Se e_A e f_A forem decorrentes das medições em campo (e_C e f_C), esses valores podem, a depender do caso concreto, serem diretamente comparados com os valores especificados, sem tratamento estatístico, ou seja, considerar, de maneira conservadora, $k_s = 0$, onde s é o desvio padrão da amostra e k , o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

São considerados não-conformes os trechos que possuam valores de $e_A \pm k_s$ e $f_A \pm k_s$ fora das faixas estabelecidas em contrato e na norma pertinente ao caso concreto.

3.2. RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

A Equipe de Auditoria deverá determinar a resistência à tração por compressão diametral das camadas de concretos asfálticos conforme previsto na Norma DNIT 136/2018 – Pavimentação asfáltica –

Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio ou outra norma pertinente ao caso concreto.

As espessuras do corpo de prova (H) devem estar entre 3,5 e 6,5 cm, o que, da mesma forma do mencionado para o ensaio de estabilidade e fluência, pode ser adequado a partir do corte das amostras para posterior ensaio, conforme as recomendações para o corte constantes do PROC–IBR–ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

De posse dos corpos de prova e anotadas suas respectivas espessuras (H) e diâmetros (D), a Equipe de Auditoria deverá processar o ensaio conforme a já mencionada Norma DNIT 136/2018, adotando-se a temperatura de ensaio de 25°C, de modo a possibilitar a comparação com os critérios da Norma DNIT 031/2006.

Para cada corpo de prova, deverá ser anotada a resistência à tração diametral correspondente (σ_R), em MPa, mediante a utilização da seguinte equação:

$$\sigma_R = \frac{2 (9,81 F)}{100 \pi D H}$$

Onde F é a carga de ruptura em Kgf, D é o diâmetro em centímetros e H é a espessura também em centímetros.

No caso de prensas cuja aplicação de carga é realizada por meio de anel dinamométrico, deve-se atentar para que a leitura da carga seja multiplicada pela constante de aferição da prensa.

3.2.1. Análise dos dados

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados de resistência à tração dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, a Equipe de Auditoria deverá calcular a média da resistência à tração dos corpos de prova daquele trecho homogêneo, denominada de Resistência à Tração Média Auditada em Campo (R_C).

Os valores médios de resistência à tração poderão ser comparados diretamente com os informados no controle tecnológico, sem necessidade de levar em conta os ensaios de compactação Marshall, quando ambos foram oriundos de moldagem de corpos de prova. Nesse caso, comparam-se os valores de R_C com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (R_A).

A resistência à tração (R_A) será, em regra, a obtida do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre as suas validades material e documental, conforme o PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que a variação entre a média de campo e a média do controle tecnológico não supere $\pm 20\%$ da Resistência à Tração Média Auditada em Campo (R_C). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de definição de R_A , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

Nos casos em que a auditoria utilizou corpos de prova extraídos da pista, a comparação de médias entre as amostras de campo e as do controle tecnológico pode ser feita como indicado no caso anterior, mas levando em conta os dados dos ensaios de compactação Marshall. Isto porque é preciso observar

uma eventual influência dos vazios nos corpos de prova de concreto asfáltico, uma vez que, por exemplo, é possível que amostras retiradas da pista submetidas ao tráfego apresentem valores de resistência à tração superiores aos dos corpos de prova moldados em laboratório.

Para os valores de R_A deve ser efetuado o tratamento estatístico previsto no item 7.5 na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto.

Se R_A for decorrente das medições em campo (R_C), esse valor pode, a depender do caso concreto, ser diretamente comparado com o valor especificado, sem tratamento estatístico, ou seja, considerar, de maneira conservadora, $k_s = 0$, onde s é o desvio padrão da amostra e k , o coeficiente tabelado em função do número de determinações.

São considerados não-conformes os trechos que possuam valores de $R_A \pm k_s$ fora das faixas estabelecidas em contrato e na norma pertinente ao caso concreto.

A constatação de resultados dos ensaios no que tange aos elementos tratados neste procedimento discrepantes em relação aos parâmetros informados no traço apresentado pode impactar a conclusão acerca da confiabilidade do traço, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC–IBR–ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A não-conformidade também pode impactar a qualidade do pavimento, o que merece avaliação no âmbito do procedimento PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Camada de concreto asfáltico com estabilidade, fluência e/ou resistência à tração não-conforme em relação ao contrato e/ou às normas técnicas, em afronta ao disposto nos artigos 66 e 76 da Lei nº 8.666/93.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das especificações do Projeto de Pavimentação e traço apresentado;
- b) Fichas de aferição dos ensaios de estabilidade, fluência e resistência à tração;
- c) Controle tecnológico contendo os ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- Norma DNER – 043/95 – ME – Misturas Betuminosas à Quente – Ensaio Marshall;

- Norma DNIT 136/2018 – Pavimentação asfáltica – Misturas asfálticas – Determinação da resistência à tração por compressão diametral – Método de ensaio;
- PROC–IBR–ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 107/2018 – Análise da Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 109/2018 – Obtenção dos Parâmetros do Concreto Asfáltico por meio da Moldagem de Corpos de Prova para Fins de Auditoria;
- PROC-PROC–IBR–ROD 112/2018 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 101/2020
Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Amostras de
Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria

Edição válida a partir de:

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à obtenção de amostras representativas do concreto asfáltico das camadas executadas mediante a elaboração de um plano de amostragem, de forma que se possa obter parâmetros de qualidade e quantidade da camada asfáltica e confrontá-los com os dados do projeto, do controle tecnológico e dos boletins de medição.

As amostras de concreto asfáltico são utilizadas para verificação do serviço executado, obtendo-se dados de espessuras, densidades aparentes, teor de ligante, entre outros, que servirão de subsídio para a utilização dos diversos procedimentos referidos no PROC-IBR-ROD 100/2017 - Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

- Extratora (Sonda) Rotativa com coroa de 4”;
- Giz de cera ou fita crepe para identificação dos corpos de prova;
- Paquímetro ou régua metálica milimetrada;
- Escova de aço para limpeza dos corpos de prova;
- Facão e marreta;
- Serra policorte;
- Caixa rígida para armazenamento e transporte dos corpos de prova;
- Instrumentos de georreferenciamento e registro fotográfico.

3. PROCEDIMENTO

Inicialmente, destaca-se que este procedimento abordará a obtenção de amostras por extratora rotativa, podendo ser adaptado para outros meios de extração (por exemplo, abertura de janelas ou coleta na usina ou vibroacabadora), realizando-se as adaptações necessárias.

A Equipe de Auditoria, de posse das memórias de cálculo dos itens referentes à execução do concreto asfáltico, deve tomar nota das extensões e larguras das vias já executadas e calcular as áreas correspondentes.

Em seguida, conforme orientação contida no PROC-IBR-ROD 100/2017 – Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico, a Equipe de Auditoria deve avaliar, quando possível, os resultados, decorrentes dos procedimentos PROC-IBR-ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, PROC-IBR-ROD 115/2019 - Levantamento Visual de Defeitos de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria e PROC-IBR-ROD 116/2019 - Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, de maneira a decidir pela necessidade de extrair amostras da camada asfáltica executada e ter indicativos de possíveis locais de amostragem.

Caso seja necessária a extração de amostras, deve ser estabelecido um Plano de Amostragem, de acordo com os objetivos e meios disponíveis à auditoria e a partir das recomendações indicadas neste procedimento, para definir: os segmentos da camada asfáltica com características semelhantes (trechos homogêneos); os tipos de ensaios; o critério de amostragem; o quantitativo de furos e os locais de extração de amostras.

Na elaboração desse Plano de Amostragem, a Equipe de Auditoria pode considerar os dados de projeto, as informações obtidas do controle tecnológico (resultados dos ensaios e divisão dos segmentos homogêneos), bem como os registros do levantamento visual decorrentes dos procedimentos já mencionados.

Para verificar a consistência da divisão dos segmentos homogêneos adotada pelo controle tecnológico, a Equipe de Auditoria pode, por exemplo, fazer a plotagem dos dados disponíveis e a verificação visual da homogeneidade dos resultados (carta controle), ou ainda aplicar o Método das Diferenças Acumuladas, conforme o anexo J da publicação *Guide for design of pavement structure* da *American Association of State Highway and Transportation Officials* – AASHTO.

Se a divisão de segmentos homogêneos do controle tecnológico for consistente e os dados dos segmentos apresentarem características semelhantes para os parâmetros definidos no escopo da auditoria, a Equipe de Auditoria pode adotar essa mesma divisão no seu Plano de Amostragem.

Caso contrário, o Plano de Amostragem pode ser elaborado a partir de uma nova divisão de segmentos homogêneos adequada ao escopo da auditoria, utilizando-se os dados disponíveis, bem como uma metodologia previamente estabelecida, como as de plotagem ou das diferenças acumuladas antes mencionadas.

Como exemplo de critério de amostragem, pode-se optar pela extração de corpos de prova nas mesmas estacas e bordos adotados pela fiscalização, supervisora ou empresa executora, distanciando-se os furos em pelo menos 30 cm, tendo em vista uma validação material dos resultados obtidos no controle tecnológico da obra. Outros exemplos de critérios de amostragem são a escolha da localização dos furos de maneira aleatória ou ainda nas regiões cujos levantamento visual e controle tecnológico indiquem viabilidade de investigação, diante da situação fática e a critério do Auditor.

Sugere-se a extração de ao menos um corpo de prova para cada 7.000 m² de concreto asfáltico, com uma quantidade mínima de 6 extrações por trecho homogêneo, intercalando-se a extração de corpos de prova nos diferentes segmentos da via, sendo estes: o bordo esquerdo, o eixo da pista e o bordo direito, com pelo menos duas extrações em cada bordo e no centro e segmentos de trechos homogêneos com extensão entre 500 m e 7.000 m.

É desejável que a amostragem garanta uma quantidade mínima de 6 avaliações para cada característica constante do escopo de auditoria, levando em conta os parâmetros previstos na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço (por exemplo, espessuras, densidade, resistência à compressão etc.) ou em outra pertinente ao caso concreto.

Eventualmente pode ser necessária a realização de extrações adicionais para reforçar as conclusões da auditoria ou para substituir algum corpo de prova danificado. Nesse caso, principalmente se houver dificuldade de retornar ao local da obra para novas extrações, a Equipe de Auditoria pode ampliar o quantitativo de amostras no Plano de Amostragem.

A adoção de um Plano de Amostragem com critérios diferentes dos ora sugeridos não inviabiliza a identificação de achados com base em dados de menor abrangência, conforme a situação fática da auditoria.

A Equipe de Auditoria deve registrar os detalhes do Plano de Amostragem que estabelecer, de maneira a permitir o rastreamento da localização dos furos.

É recomendável que a Equipe de Auditoria comunique o início da fase de extração das amostras à fiscalização, supervisora e/ou empresa executora, concedendo a oportunidade de que seus representantes acompanhem essa fase.

A extração das amostras deve ser procedida com a devida observância da segurança viária, de maneira a evitar acidentes durante a realização da auditoria.

Caso haja uma inclinação significativa no segmento onde serão extraídas amostras, a Equipe de Auditoria deve realizar a extração acompanhando a inclinação da camada, posicionando a extratora (sonda) rotativa o mais próximo possível da direção normal ao plano do pavimento no local da extração.

Os corpos de prova devem ser identificados (numerados) logo que extraídos, ocasião em que também deve-se observar a eventual ocorrência de danos nas amostras em função do processo de extração e realizar o devido registro fotográfico.

A Equipe de Auditoria deverá elaborar uma Planilha de Mapeamento dos Corpos de Prova extraídos, onde serão relacionadas as referências numéricas de cada exemplar, com as datas de extração, suas respectivas localizações na pista (tais como, estaqueamento, georreferenciamento e posicionamento na seção transversal) e eventuais observações.

Em laboratório, os corpos de prova deverão ser tratados e limpos, eventualmente expurgando-se as camadas adjacentes de infraestrutura do pavimento, além de materiais estranhos ao concreto asfáltico a ser analisado, ocasião em que a Equipe de Auditoria pode inspecionar as amostras e identificar eventual presença de fissuras e contaminantes.

Devem ser tomadas quatro medidas de espessuras, de cada camada, ao longo de seus perímetros, em posições aproximadamente equidistantes, com utilização de paquímetro ou régua milimetrada, conforme indicado na figura a seguir:

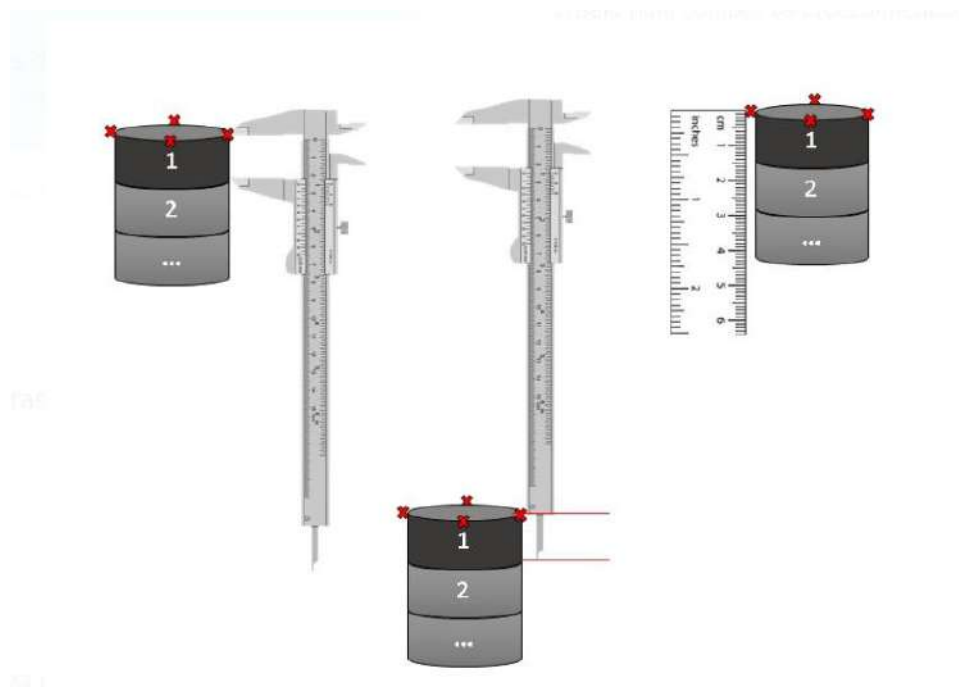


Figura 1: posicionamento das medidas

Se necessária a separação e/ou o nivelamento das camadas dos corpos de prova para a realização dos ensaios, o registro fotográfico e a verificação da espessura total e de cada camada devem ser empreendidos antes dessa separação, de modo a subsidiar o PROC-IBR-ROD 102/2016 – Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Em relação aos procedimentos de separação e/ou nivelamento, podem ser utilizados marreta e facão ou serra policorte. Caso a ruptura não ocorra em superfície regular, deve-se, a depender dos tipos de ensaios considerados no escopo de auditoria, nivelar a superfície, devolvendo ao corpo de prova sua forma aproximadamente cilíndrica. Para cada novo corpo de prova obtido, deve-se estabelecer uma nova referência numérica de identificação.

A Equipe de Auditoria adotará a medida obtida depois do corte de modo a subsidiar o PROC–IBR–ROD 104/2017 - Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria ou outros eventuais ensaios cujos resultados dependam da espessura do corpo de prova.

Os furos no revestimento asfálticos devem ser fechados, preferencialmente, pela jurisdicionada ou empresa executora, com material apropriado para tal fim, compactando-se de forma adequada.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Identificação de contaminantes (tais como material orgânico, torrões de argila) e/ou fissuras nas camadas de concreto asfáltico, podendo prejudicar a vida útil do pavimento, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Plano de Amostragem;
- b) Planilha de Mapeamento dos Corpos de Prova Extraídos;
- c) Registros fotográficos.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- *Guide for design of pavement structure* da American Association of State Highway and Transportation Officials - AASHTO, Washington, 1993.
- PROC–IBR–ROD 100/2017 – Diretrizes para Auditoria de Camadas de Concreto Asfáltico;
- PROC–IBR–ROD 102/2016 – Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 104/2017 - Análise da Estabilidade, Fluência e Resistência à Tração de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria
- PROC–IBR–ROD 107/2019 – Análise de Adequabilidade e de Confiabilidade do Traço Apresentado para as Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 115/2019 – Levantamento Visual de Defeitos de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 102/2020
Análise das Espessuras de Camadas de Concretos Asfálticos
para Fins de Auditoria

Edição válida a partir de:

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo orientar a Equipe de Auditoria quanto à aferição das espessuras executadas das camadas de concreto asfáltico em relação às definidas em projeto e/ou indicadas nas medições.

A análise da espessura servirá de subsídio para a avaliação:

- a) da qualidade do concreto asfáltico, conforme PROC-IBR-ROD 112/2019 – Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- b) do quantitativo de concreto asfáltico, conforme PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise de Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- c) do controle tecnológico de concreto asfáltico, conforme PROC-IBR-ROD 116/2019 – Análise da Confiabilidade e da Adequabilidade do Controle Tecnológico de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

A importância dessa aferição está na possibilidade de ocorrência de sobrepreço ou superfaturamento por quantidade e/ou qualidade pela execução de espessuras de camadas de concreto asfáltico inferiores às especificadas em projeto e/ou indicadas em medição contratual, assim como na possibilidade de redução do desempenho e da vida útil da camada asfáltica, com consequente desperdício de dinheiro público e necessidade de intervenções precoces na via.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

Inicialmente, destaca-se que a aferição das espessuras pode ser realizada com extração de amostras, ou por outros meios, tais como: quantitativos obtidos de notas fiscais, dados laboratoriais da empresa executora do serviço ou da empresa supervisora, ensaios não destrutivos (como a utilização de radar de solo – GPR) ou levantamento topográfico.

Este procedimento abordará a aferição das espessuras a partir da extração de amostras por extratora (sonda) rotativa, conforme PROC-IBR-ROD 101/2020 - Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria, bem como a comparação dos dados decorrentes dessa extração com as especificações de projeto e as medições contratuais. Caso seja utilizado outro método amostral, como por exemplo a abertura de janela, devem ser realizadas as adaptações necessárias.

A Equipe de Auditoria, de posse das seções tipo do Projeto Básico e/ou Executivo de Pavimentação, deve, primeiramente, tomar nota das espessuras das camadas de concreto asfáltico especificadas.

De posse das medições contratuais, a Equipe de Auditoria deve tomar nota das espessuras medidas. A análise da Equipe de Auditoria pode também levar em conta os demais dados disponíveis sobre a execução da obra.

Para fins de aferição da espessura, a Equipe de Auditoria deve obter a média aritmética simples dos quatro valores aferidos de cada corpo de prova extraído, conforme o PROC-IBR-ROD 101/2020 -

Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria.

A Equipe de Auditoria, em conformidade com os resultados das espessuras dos corpos de prova, deverá reavaliar os trechos homogêneos considerados no plano de amostragem, e, se for o caso, dividir novamente a via em diferentes trechos homogêneos. Para cada trecho homogêneo, deverá ser obtida a média das espessuras dos corpos de prova daquele trecho, denominada de espessura média auditada em campo (E_c).

Comparam-se os valores de E_c com aqueles obtidos do controle tecnológico realizado pela equipe de fiscalização, supervisão ou execução da obra para se avaliar qual medida será adotada pela Equipe de Auditoria (E_a). A espessura adotada pela Equipe de Auditoria (E_a) será, em regra, a obtida do controle tecnológico caso não pesem dúvidas sobre a sua validade material e documental, conforme o PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria, e desde que esta medida não seja superior ou inferior a 5% da espessura média auditada em campo (E_c). Esse percentual de tolerância pode ser minorado ou majorado, a depender do caso concreto.

Para fins de definição da E_a , a validação dos dados do controle tecnológico, levando em conta a amostra da auditoria, também pode ser feita por meio de outros testes estatísticos selecionados a critério da Equipe de Auditoria.

3.1. Análise qualitativa

A Equipe de Auditoria deve comparar a espessura adotada (E_a) com a espessura definida em projeto, considerando o tratamento estatístico definido na Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço (item 7.5) ou outra norma pertinente ao caso concreto.

Se espessura adotada (E_a) for a espessura média auditada em campo (E_c), esta medida pode, a depender do caso concreto e de maneira conservadora, ser diretamente comparada com a definida em projeto sem considerar o tratamento estatístico citado anteriormente.

Devem ser considerados não-conformes com a norma e com o projeto os trechos homogêneos que apresentarem E_a com variações, para mais ou para menos, superiores a 5% em relação às espessuras de projeto, conforme a Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço (item 7.3, alínea ‘a’) ou outro critério definido em norma pertinente ao caso concreto. Tal situação pode gerar perda de vida útil do pavimento, valendo-se, para eventual cálculo de sobrepreço ou superfaturamento por qualidade, do procedimento PROC–IBR–ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

3.2. Análise da espessura apropriada na medição

Para fins de avaliação dos quantitativos dos serviços executados, a espessura de referência da Equipe de Auditoria (E), para cada trecho homogêneo, a ser utilizada no procedimento PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, deve ser analisada conforme o critério de medição definido em edital.

Como exemplo, caso o texto do edital implique a adoção das disposições gerais do item 8 da Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço, a espessura de referência da Equipe de Auditoria (E), para cada trecho homogêneo, será o menor valor entre a espessura adotada (E_a) e a espessura prevista em projeto acrescida de 5%.

Deve ser considerada não-conforme a medição que apresentar uma espessura superior à espessura de referência da Equipe de Auditoria (E) para cada trecho homogêneo, valendo-se, para eventual cálculo

de sobrepreço ou superfaturamento por quantidade, do procedimento PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

- a) Camada de concreto asfáltico com espessura não-conforme em relação à estabelecida no projeto, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993;
- b) Medição contratual com espessura não-conforme em relação à espessura de referência (*E*) da Equipe de Auditoria, contrariando os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 e artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

- a) Cópia das folhas das seções tipo de pavimentação do Projeto de Pavimentação;
- b) Fichas de aferição das espessuras médias dos corpos de prova extraídos da pista, com respectivo registro fotográfico;
- c) Boletins de Medição dos serviços de concreto asfáltico (dos trechos detectados com espessuras desconformes), respectivas memórias de cálculo e controle tecnológico da fiscalização, supervisora ou empresa executora.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais:

- a) Norma DNIT 031/2006 – ES – Pavimentos flexíveis – Concreto asfáltico – Especificação de serviço;
- b) PROC–IBR–ROD 101/2020 – Plano de Amostragem, Extração e Preparação de Corpos de Prova de Concreto Asfáltico para Fins de Auditoria;
- c) PROC–IBR–ROD 112/2019 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- d) PROC–IBR–ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;
- e) PROC–IBR–ROD 116/2019 – Análise de Confiabilidade do Controle Tecnológico para Fins de Auditoria.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AUDITORIA DE OBRAS PÚBLICAS - IBRAOP

INSTITUTO RUI BARBOSA – IRB / COMITÊ OBRAS PÚBLICAS

PROC–IBR–ROD 114/2017
Análise do Quantitativo de Ligante Aplicado em Camadas de
Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria

Primeira edição válida a partir de: ____/____/____

www.ibraop.org.br

www.irbcontas.org.br

1. OBJETIVOS/JUSTIFICATIVAS

O procedimento tem por objetivo verificar a conformidade do quantitativo medido de ligante nas camadas de concreto asfáltico executadas.

A importância desta aferição está na possibilidade de superfaturamento quando se observa na medição contratual a adoção de quantidade de ligante superior à aplicada nas camadas de concreto asfáltico executadas.

2. EQUIPAMENTOS/INSTRUMENTOS NECESSÁRIOS

-

3. PROCEDIMENTO

Inicialmente, a Equipe de Auditoria deve observar a forma de contratação e o objetivo da auditoria para a aferição dos serviços medidos, uma vez que a aquisição e o transporte do ligante podem se dar por meio de itens independentes ou estarem inseridos na composição do serviço de concreto asfáltico.

A Equipe de Auditoria deve dispor do teor de ligante adotado (T_{LA}), obtido do procedimento PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, bem como do quantitativo de concreto asfáltico (Q), oriundo do procedimento PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.

Para o cálculo do quantitativo de ligante, a obra poderá ser dividida com base em segmentos homogêneos compatíveis com os definidos nos procedimentos acima referidos.

O quantitativo de ligante adotado pela Equipe de Auditoria (Q_{LA}), em cada segmento homogêneo, será igual ao teor de ligante adotado (T_{LA}) multiplicado pelo quantitativo de concreto asfáltico (Q).

Caso a aquisição e o transporte sejam itens independentes no orçamento, o resultado obtido será confrontado com as quantidades constantes dos boletins de medição. Deve ser considerada não-conforme a medição de quantitativo de ligante asfáltico superior ao quantitativo de ligante adotado pela Equipe de Auditoria (Q_{LA}).

Quando o ligante asfáltico for insumo da composição do serviço de concreto asfáltico, o teor de ligante adotado pela Equipe de Auditoria (T_{LA}) deverá ser confrontado com aquele constante dessa composição. Deverá ser avaliado o impacto decorrente da aplicação de ligante asfáltico na obra em quantidade inferior à prevista na composição de preço unitário do serviço de concreto.

Se a avaliação da qualidade, feita por intermédio do Procedimento de Auditoria PROC-IBR-ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria, indicar uma deficiência no trecho analisado, o quantitativo de ligante asfáltico deverá ser reavaliado, podendo ser considerado total ou parcialmente indevido.

Além dos procedimentos indicados acima, cabe à Equipe de Auditoria verificar a aplicabilidade de normas técnicas específicas e efetuar análises complementares segundo sua experiência profissional e situação fática.

4. DOS POSSÍVEIS ACHADOS DE AUDITORIA

a) Superfaturamento pela medição de quantitativo de aquisição e transporte de ligante asfáltico maior do que o aplicado na obra, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 c/c os artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964;

b) Superfaturamento decorrente da aplicação de ligante asfáltico na obra em quantidade inferior à prevista na composição de preço unitário do serviço de concreto asfáltico, em desacordo com os artigos 66 e 76 da Lei n.º 8.666/1993 c/c os artigos 62 e 63 da Lei n.º 4.320/1964.

5. DOCUMENTOS PARA INSTRUÇÃO PROCESSUAL

a) Fichas do cálculo da quantidade de ligante asfáltico aplicado na obra;

b) Composições de preço unitário;

c) Boletins de medição, respectivas memórias de cálculo e ensaios laboratoriais da fiscalização, supervisora ou empresa executora;

c) Demais documentos dos procedimentos relacionados a este.

6. NORMAS TÉCNICAS RELACIONADAS

A relação apresentada a seguir não é exaustiva, sendo necessário que a Equipe de Auditoria considere as atualizações, revisões, exclusões e inclusões de novas orientações, normas e aspectos legais.

a) PROC-IBR-ROD 105/2016 – Análise do Teor de Ligante de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

b) PROC-IBR-ROD 112/2017 – Análise da Conformidade Qualitativa de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria;

c) PROC-IBR-ROD 113/2016 – Análise do Quantitativo Executado de Camadas de Concretos Asfálticos para Fins de Auditoria.